

1 Presshärntwerkzeug (Stempel) mit generativ gefertigtem Mittelsegment

**Fraunhofer-Institut für
Werkzeugmaschinen und
Umformtechnik IWU**

Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz

**Gruppe
Generative Fertigungsverfahren**
Nöthnitzer Straße 44
01187 Dresden

Dr.-Ing. Bernhard Müller
Telefon +49 351 4772-2136
bernhard.mueller@iwu.fraunhofer.de

www.iwu.fraunhofer.de
www.greencarbody.de



KONTURNAHE TEMPERIERUNG BEIM PRESSHÄRTEN

Presshärten

Die Wirtschaftlichkeit von Leichtbaulösungen im Karosseriebau ist hinsichtlich des Ressourceneinsatzes von zentraler Bedeutung. Derzeit werden Karosseriebauteile überwiegend aus konventionellem Stahlblech in hoch automatisierten Presswerken durch mehrstufige Kaltumformung gefertigt. Im Vergleich dazu können Bauteile aus höherfesten Stählen bei gleicher Festigkeit wesentlich dünnwandiger ausgeführt werden und bieten demzufolge ein enormes Leichtbaupotenzial.

Für die Herstellung von Karosseriebauteilen aus hochfestem Stahl wird das Presshärten eingesetzt. Dabei werden Bauteile oberhalb der Austenitisierungstemperatur (über 950°C) erwärmt und während des Umformens rapide unter 200 °C abgekühlt, wodurch ein hochfestes, martensitisches Gefüge entsteht.

Problemstellung

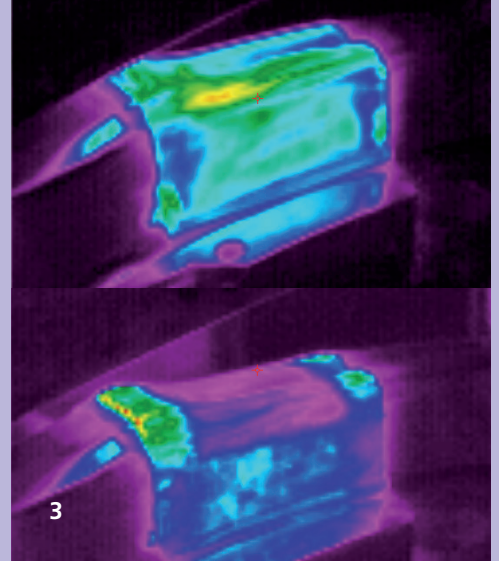
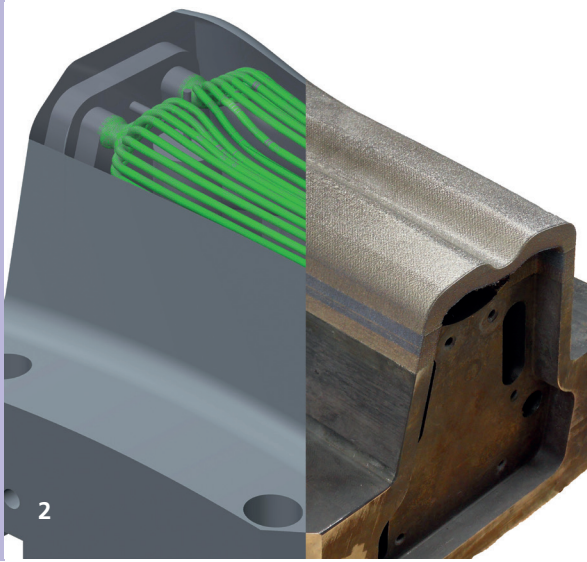
Der Aufbau eines Presshärntwerkzeugs ist im Vergleich zu einem konventionellen Kaltumformwerkzeug wesentlich komplexer, da in Stempel und Matrize Kühlkanäle eingearbeitet werden müssen. Das Einbringen der Kanäle erfolgt dabei durch Tieflochbohren oder eine Segmentierung der Werkzeuge. Eine gezielte Temperierung einzelner Bereiche nahe und konform zur Werkzeugkontur ist damit nur sehr aufwändig und eingeschränkt realisierbar. Daraus resultieren ein hoher Energieeinsatz für das Kühlmedium und lange Zykluszeiten, um die für die martensitische Gefügeausbildung im Pressteil notwendigen Bedingungen im Werkzeug zu schaffen. Die Zykluszeit im Presshärntprozess wird zu ca. 30 Prozent durch die Bauteilabkühlung (Haltezeit der geschlossenen Form nach der Umformung vor der erneuten Öffnung zur Bauteilentnahme) bestimmt.

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**





Zielstellung

Ziel eines Forschungsprojekts war die Entwicklung und Fertigung von Presshärwerkzeugen mit einem optimierten Kühlsystem unter Nutzung thermo-fluidischer Simulation und der Laserstrahlschmelztechnologie, um die Ressourceneffizienz in der Blechwarmumformung zu verbessern. Die Werkzeugtemperatursteuerung sollte dabei durch eine komplexe, großflächig vernetzte Kühlkanalgeometrie erfolgen. Um die beste Synthese von größtem Mehrwert, kurzen Fertigungszeiten und geringen Kosten zu erreichen, sollten die Werkzeugeinsätze in der sogenannten Hybridbauweise gefertigt werden. Dabei handelt es sich um eine Kombination aus einem herkömmlich durch spanende Bearbeitung gefertigtem Grundkörper und einer direkt darauf generativ aufgebauten Funktionsgeometrie mit Kühlung.

Lösungsweg

Die Werkzeugkonstruktion sowie die Gestaltung der Kühlgeometrie erfolgten unter dem Gesichtspunkt der Werkzeugfertigung bei Anwendung konventioneller Verfahren wie Fräsen und Tieflochbohren. Parallel dazu begann die Gestaltung der innovativen, konturnahen Werkzeugkühlung. Dazu wurden verschiedene Varianten der Werkzeugkühlung entwickelt und mit Hilfe der numerischen Simulation miteinander verglichen. Anhand der Simulationsergebnisse und unter Berücksichtigung der fertigungstechnischen Besonderheiten des Laserstrahlschmelzens konnte die optimale

Kühlkanalgeometrie für die Werkzeugfertigung abgeleitet werden. Die komplexen Kühlkanäle mit einem Durchmesser von nur 4 Millimetern wurden netzartig mit gleichmäßig geringem Abstand zur Werkzeugoberfläche angeordnet.

Zur Bestätigung der Simulationsergebnisse wurden Umformversuche auf einer Standard-Warmumformpresse unter produktionsnahen Bedingungen durchgeführt. Die Fertigungs- und Maschinenparameter wurden dabei, ausgehend von Standardwerten aus der Serienfertigung, kontinuierlich angepasst und optimiert. Mit Hilfe neuester Messtechnik wie Temperatursensoren, Thermografie und computergestützter Analyse wurden alle relevanten Daten der Versuche aufgezeichnet und anschließend analysiert.

Die Wärmeabfuhr in den generativ gefertigten Werkzeugeinsätzen mit optimiertem Kühlsystem erfolgte 6-mal schneller als in den Werkzeugeinsätzen mit konventionell gebohrten Kühlkanälen. In weiteren Versuchen mit Werkstück und Pressvorgang wurden verschiedene Haltezeiten mit unterschiedlichen Volumenströmen des Kühlwassers gefahren. Hier wurden sowohl der Temperaturverlauf im Werkzeug als auch die Temperatur des Werkstücks vor, während und nach der Umformung aufgezeichnet und analysiert.

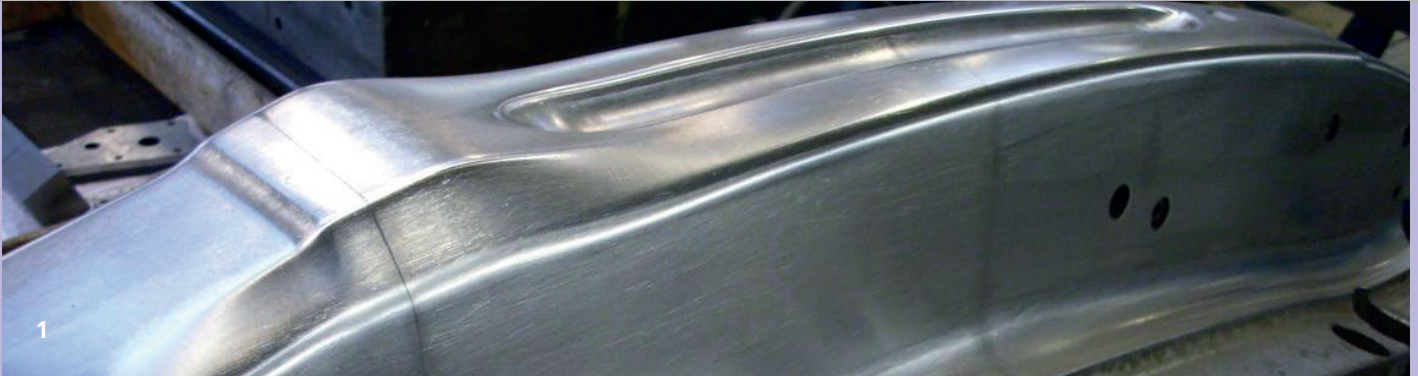
Ergebnisse

Der Nachweis des positiven Effekts der optimierten, konturnahen Werkzeugtemperierung wurde im Realversuch erbracht. Die erfolgversprechenden Simulationsergebnisse konnten bestätigt werden.

Im Ergebnis wurde nachgewiesen, dass unter Nutzung der optimierten, generativ gefertigten Werkzeugeinsätze die Haltezeit (Kühlzeit) um 50 Prozent (von 10 Sekunden auf 5 Sekunden) reduziert werden kann. Beim betrachteten Bauteil entspricht dies einer Gesamtzykluszeitreduzierung von 20 Prozent und einer Energieeinsparung von 248 Megawattstunden pro Jahr im Presswerk.

2 *Werkzeugeinsatz mit konturnaher, generativ gefertigter Temperierung (links: CAD, rechts: Realwerkzeug)*

3 *Thermografieaufnahme des Stempels (oben: mit konventioneller Kühlung – Temperatur im Konturbereich des Werkzeugs 142 °C; unten: mit generativ gefertigter Kühlung – Temperatur im Konturbereich des Werkzeugs 68 °C)*



1 tool for hot sheet metal forming (punch) with additive manufactured insert

**Fraunhofer Institute for
Machine Tools and
Forming Technology IWU**

Reichenhainer Strasse 88
09126 Chemnitz, Germany



**Group Additive Manufacturing
Technologies**

Nöthnitzer Strasse 44
01187 Dresden

Dr.-Ing. Bernhard Müller
Phone +49 351 4772-2136
bernhard.mueller@iwu.fraunhofer.de

www.iwu.fraunhofer.de
www.greencarbody.de

COMMISSIONED BY



**The Federal Ministry
of Education
and Research**



ADDITIVE MANUFACTURING IN TOOLING FOR HOT SHEET METAL FORMING

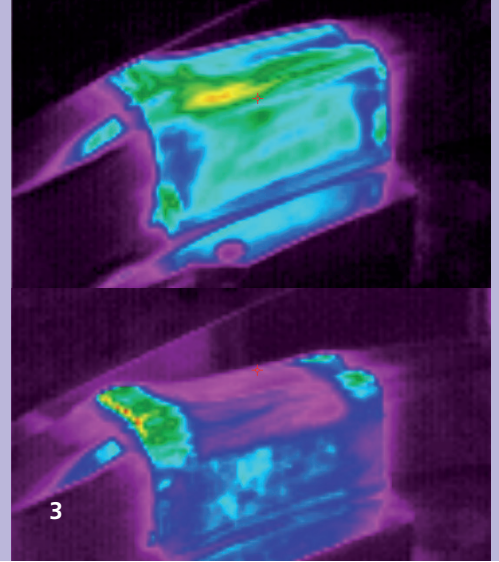
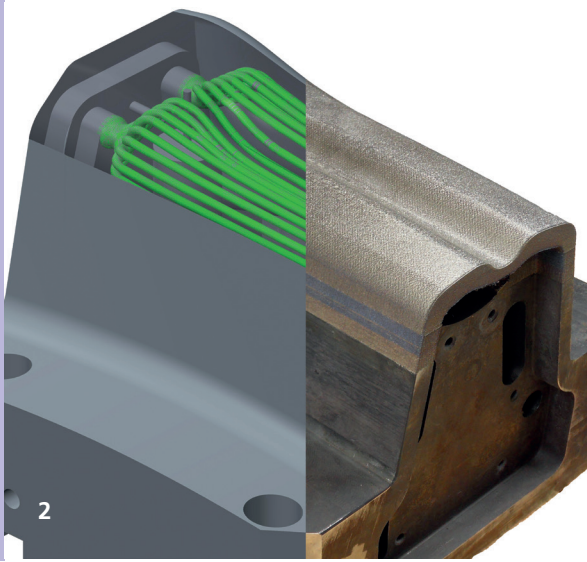
Hot sheet metal forming

For the automotive industry, the efficiency of lightweight solutions is of central importance in terms of resource conservation. The reduction of material in use is therefore probably the most important factor.

Currently, the production of car body structure parts is done in highly automated stamping plants by multi-stage cold forming. But the use of high-strength steels offers enormous potential for lightweight design. To implement high-strength steel parts in car bodies, hot sheet metal forming gets applied. The sheet metal is heated above the austenitizing temperature (more than 900 °C) and rapidly cooled down during the forming process to about 200 °C, whereby a hard, martensitic microstructure is created. Thanks to this method a reduced component weight due to lesser wall thickness can be achieved.

State of the art

The cycle time in hot sheet metal forming (press hardening) is determined to as much as 30 percent by the cooling time (holding time of closed die after forming before re-opening for part extraction). The setup of a hot forming tool is more complex than that of a conventional one. Mainly this is due to the fact that cooling channels must be implemented into punch and die. The implementation of the channels is usually done by deep drilling or a segmentation of the tools. Due to complex geometry of the tools, cooling system design is especially demanding for the tool manufacturer. The added complexity of cooling bores increases the expenses for hot forming tools. Current production effort is estimated with about one hour per meter borehole and a high consumption of resources (energy, drilling oil, compressed air, etc.).



Project goals

The aim of the project was the development and manufacturing of tool inserts with an innovative cooling system to improve resource efficiency in hot sheet metal forming. Therefore, thermo-fluidic simulation and laser beam melting were used. In order to achieve the best synthesis of greatest value, short production time and low cost, it was decided to manufacture the tooling insert by so-called hybrid tooling, a combination of conventional manufacturing technologies like milling, drilling, turning with additive manufacturing like laser beam melting. In this case, the laser beam melted functional structure with optimized cooling channels was applied on a conventionally milled base body.

Implementation

The tool design and the cooling system design were done based on conventional manufacturing methods such as milling and deep drilling. Parallel to this, the development of the innovative, conformal cooling system began. Various iterations of the cooling system were designed. First proof of positive effects of the optimized die temperature control was provided by numerical simulation. In the project, thermal behavior of the tool as well as coolant flow was analyzed and different cooling geometries were compared. In order to assure the comparability of simulation results with reality, thermal conductivity of specific materials in use were determined experimentally. The ideal cooling channel

geometry was designed based on the simulation results, considering technical characteristics of the laser beam melting technology. The result was a wide mesh of small channels with a distance of only 4 mm to the surface (see Figure 2).

To confirm simulation results, extensive forming trials were done. The trials took place on a standard hot forming press, under production-like conditions and applying a variety of different parameter settings. With the help of latest equipment like thermal imaging camera, temperature sensors and computer-assisted analysis, all relevant data from the trials were recorded and afterwards analyzed.

In a first test series, the tool was heated to an initial temperature of 200 °C and subsequently, after starting the cooling, the temperature curve during re-cooling was recorded by thermal sensors and a thermal imaging camera. In this case, the additively manufactured tool with the innovative cooling system cooled down six times faster than the conventional tool with drilled cooling channels (see Figure 3).

In further experimental trials real parts were formed. Therefore different holding/cooling times were run with varying coolant flow. For temperature recording, once again thermocouples were used in the tool and thermography for the formed component.

Results

An enormous improvement of temperature distribution within the tool as well as in the sheet metal component could be achieved. Thanks to laser beam melting, process cycle times in hot sheet metal forming could be reduced significantly and therefore it is possible to increase the resource efficiency of the entire process as well as to reduce the amount of energy used to manufacture each part. Within the project, using the optimized, additively manufactured tool inserts, the holding/cooling time was reduced by 50 percent (from 10 s down to 5 s). In this particular case, this corresponds to a total cycle time reduction of 20 percent and energy savings of 248 megawatt hours per year.

2 tool insert with additive manufactured, optimized cooling system (left: CAD model, right: actual tool)
3 thermal image of the die, 5 seconds after starting the cooling with the conventional cooling system (temperature in the top section of the tool 142 °C, left) and with the additive manufactured tempering system (68 °C, right)