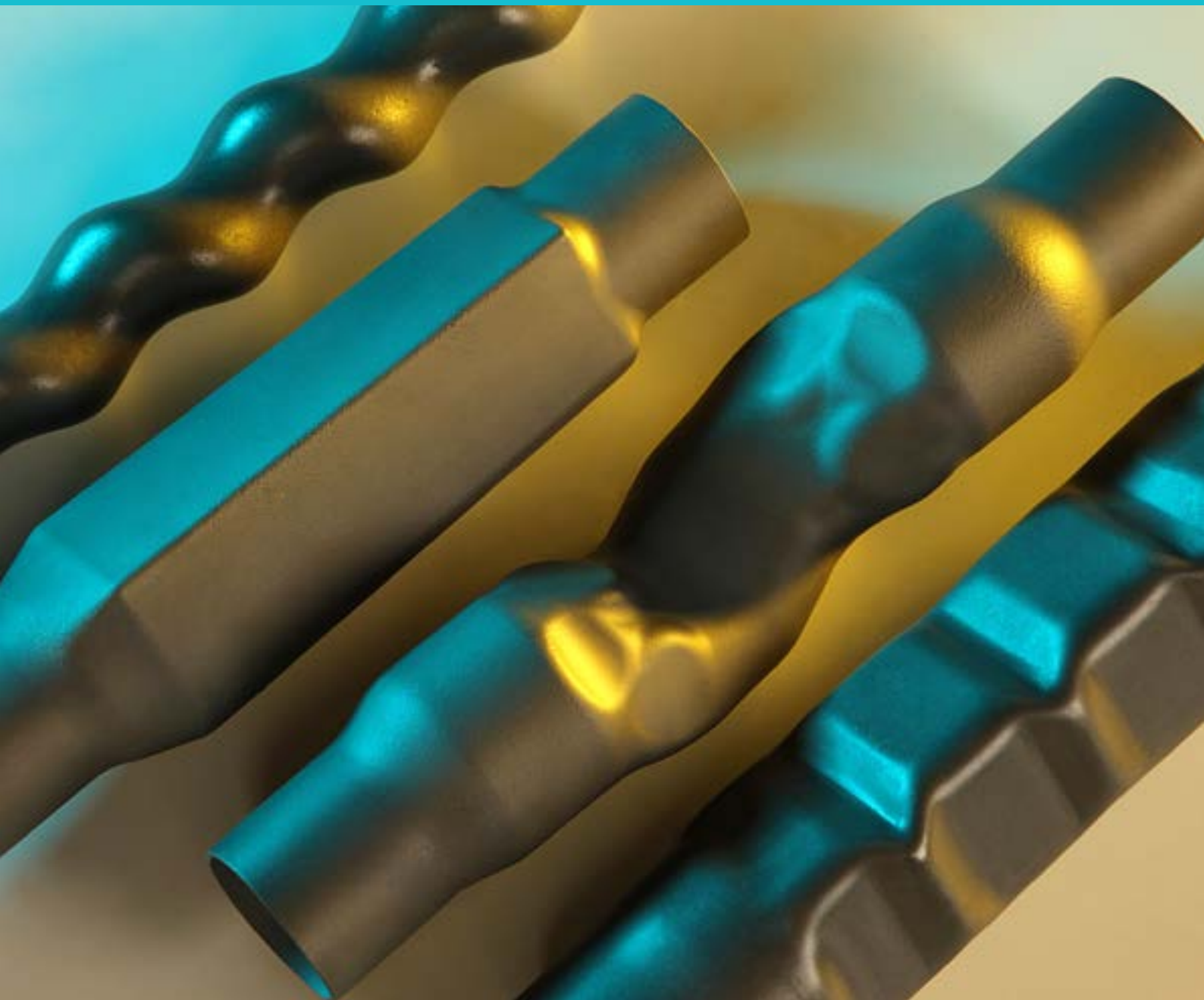


WIRKMEDIENBASIERTE UMFORMUNG





WIRTSCHAFTLICHE REALISIERUNG VON FUNKTION UND ANSPRUCHSVOLLEM DESIGN

Die wirkmedienbasierte Umformung hat sich bei der industriellen Fertigung von Bauteilen im Automobilbau, aber auch in der Möbelindustrie oder in der Heizungs- und Sanitärtechnik etabliert. Industriegüter können mit diesem Verfahren unter Nutzung flüssiger oder gasförmiger Medien rationell aus Rohren, Profilen und Blechen hergestellt werden.

Speziell die Innenhochdruck-Umformung von Rohren und Hohlprofilen und die Innenhochdruck-Umformung von Blechen sind seit vielen Jahren erfolgreich betriebene Forschungsgebiete am Fraunhofer IWU. Seit mehr als zwanzig Jahren entwickeln wir auf diesem Gebiet innovative Ideen und setzen diese gemeinsam mit Industriepartnern in seriennahe Lösungen um. Derzeit liegt unser Fokus auf der Weiterentwicklung von Verfahrenskombinationen wie z. B. Innenhochdruck-Umformung und Presshärten sowie Innenhochdruck-Umformung in Verbindung mit Spritzgießen.

Unsere hervorragende technische Ausstattung ermöglicht die Verarbeitung einer großen Materialvielfalt. Neben Nockenwellen oder Abgas- und Strukturbauteilen für die Automobilindustrie erschließen wir neue Märkte in der Möbelindustrie und im Bereich regenerativer Energien. Dazu zählen Wärmetauscher und Absorber für die Solarthermie mit bionischer Kanalführung wie auch Rotorblätter aus Stahl für kleine Vertikalachs-Windkraftanlagen.

1 *Querschnitte möglicher Bauteilgeometrien*

2 *Prozesskette eines IHU-Knotens*

Verfahrensprinzip Innenhochdruck-Umformung von Rohren und Profilen (IHU)

Im IHU-Verfahren werden geschlossene Profile mithilfe eines allseitig wirkenden Innendrucks an eine Werkzeugkavität angelegt und so kontrolliert umgeformt. Die Werkzeuge bestehen in der Regel aus einem Ober- und Unterteil mit entsprechender Trennebene. Die Einleitung des Wirkmediums erfolgt über axiale Dichtstempel, die das Bauteil mithilfe eines Axialdrucks zur Umgebung hin prozesssicher abdichten. Je nach Bauteilform und Abdichtkonzept kann zusätzlich über die Dichtstempel Werkstoff in die Umformzone nachgeschoben werden, um das geometrisch umsetzbare Spektrum an Bauteilgeometrien zu erweitern. Mit diesem Verfahren lassen sich einzigartige Bauteilgeometrien erzeugen, die mit anderen Fertigungsverfahren nicht oder nur unter erheblichem Aufwand herstellbar sind. Die Möglichkeit, das Halbzeug von außen mit Druck des Wirkmediums auf ein Innenwerkzeug zu formen, kommt selten zur Anwendung, bietet aber interessante Perspektiven für den Leichtbau komplexer Geometrien.

Verfahrensprinzip Innenhochdruck-Blechumformung (IHB)

Bei der IHB, einer Abwandlung des IHU, wird entweder eine einzelne Platine oder eine Doppelplatine zwischen zwei Werkzeughälften geklemmt und einseitig bzw. von innen mit Hochdruck beaufschlagt. Entsprechend der Werkzeugform wird die Platine in die gegenüberliegende Kavität gedrückt und über die Schließkraft der beiden Werkzeughälften zur Umgebung hin abgedichtet. Das Verfahren kann als Alternative zum Tief- und Streckziehen angesehen werden, wobei die Werkzeugaktivteile deutlich einfacher gestaltet sind.



Die IHB besitzt ein hohes wirtschaftliches Potenzial vor allem bei kleinen Stückzahlen, da für die Fertigung nur eine bauteilspezifische Matrize erforderlich ist und kein Stempel zur Formgebung benötigt wird. Durch Kombination mit weiteren Verfahren und insbesondere durch die Integration von Fügeoperationen lassen sich Bauteile und Baugruppen wirtschaftlicher denn je fertigen.

Wirkmedium

Die Auswahl des Wirkmediums richtet sich in erster Linie nach der Umformtemperatur und den zur Umformung erforderlichen Kräften, respektive Innendrücken. Bei der Kaltumformung werden meist Wasser-Öl-Emulsionen eingesetzt. Mit unserer Anlagentechnik lassen sich Innendrücke bis zu 400 MPa, für Sonderanwendungen auch bis zu 700 MPa realisieren. Bei der Halbwarm- und Warmumformung können Umformtemperaturen bis zu 1100 °C genutzt werden. Als Wirkmedien kommen dabei Gase, vornehmlich Stickstoff, zum Einsatz. Die temperierte Innenhochdruck-Umformung mit gasförmigen Wirkmedien (T-IHU) hat die hydrothermale Umformung mit Thermalöl und Umformtemperaturen bis zu 300 °C abgelöst. Unsere mobile Gasdruckeinheit ermöglicht Innendrücke bis 120 MPa.

Verfahrensparameter

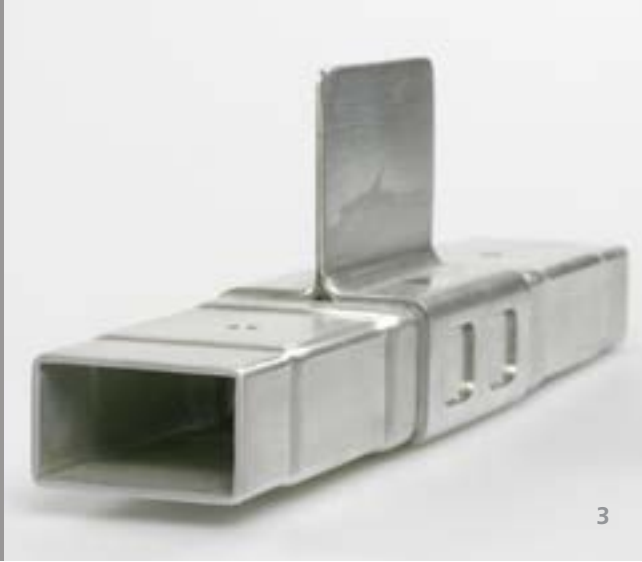
Neben dem eingesetzten Wirkmedium spielt die Temperatur bei der Umformung eine entscheidende Rolle. Je nach Anforderungsprofil von Bauteil und Werkstoff ist die Umformung entweder bei Raumtemperatur, vorzugsweise mit flüssigen Wirkmedien, oder im temperierten Zustand bei Temperaturen von bis zu 1100 °C unter Nutzung von Gasen als Wirkmedium möglich. Bei beiden Varianten kann ein breites Werkstoffspektrum schonend umgeformt werden. Ein gezieltes Thermomanagement ist insbesondere bei der Verfahrenskombination aus IHU und Presshärten notwendig, um hohe Abkühlraten zu erreichen. Beim T-IHU mit Umformvergüten werden die

Prozesse der Warmumformung und das gezielte Abschrecken des Materials in der kalten Werkzeuggravur kombiniert. Für die gewünschte Gefügewandlung sind Abkühlraten von bis zu 100 K/s erforderlich, was nur durch eine angepasste Wärmeabfuhr realisiert werden kann. Neben der Verkürzung der Prozesskette lässt sich damit der Verzug bei der üblichen Wärmebehandlung auf ein Minimum reduzieren.

Ein weiterer Verfahrensparameter, um die technologischen Grenzen und Einsatzgebiete zu erweitern, ist die Dehnrates. Geringe Dehnrates, wie sie beispielsweise bei der superplastischen Umformung auftreten, ermöglichen – verbunden mit hohen Umformtemperaturen – Umformgrade von mehreren hundert Prozent. Hohe Dehnrates wiederum werden durch die Hochgeschwindigkeitsumformung abgedeckt. Wir setzen dazu die Elektromagnetische Umformung (EMU) ein. Neben der Umformung ist auch das Trennen und Fügen mithilfe der EMU Gegenstand unserer Forschung.

Verfahrensvorteile

Sowohl das IHB als auch das IHU sind oberflächenschonende Umformverfahren, da das Wirkmedium reibungsfrei am Halbzeug angreift. Lediglich beim aktiven Nachschieben im IHU-Prozess als auch beim Blecheinzug im IHB-Prozess treten Relativbewegungen zwischen Werkzeug und Halbzeug auf. Die schonende Umformung lässt den Einsatz vorlackierter Halbzeuge zu, ohne dass das Beschichtungssystem reißt und bei Lacken der Glanzgrad reduziert wird. Ein weiterer wesentlicher Vorteil gegenüber dem klassischen Tiefziehen ist die gleichmäßige und großflächige Beanspruchung des Halbzeugmaterials. Dies führt in der Regel zu einer gleichmäßigeren Abstreckung und Ausdünnung im Gegensatz zur beispielsweise starken Ausdünnung im Zargenbereich von Tiefziehteilen. Letztendlich kann so die Wanddicke des Halbzeugs beim IHB reduziert und damit eine Material- und Gewichtseinsparung ermöglicht werden.



INNOVATIVE WERKZEUGTECHNIK

Werkzeugkonzepte für das T-IHU

Um die Grenzen der wirkmedienbasierten Umformung weiter auszuloten, sind neben einer anspruchsvollen Prozessführung vor allem innovative Werkzeuglösungen inklusive einer geeigneten Sensorik gefragt.

Zur Erweiterung der Umformgrenzen von Werkstoffen durch Warmumformung, aber auch zur Integration des Härtens in den Umformprozess muss der Thermohaushalt eines Werkzeugs betrachtet werden. Während günstige Temperaturregime relativ einfach ermittelt werden können, ist die Umsetzung im realen Werkzeug oft eine Herausforderung. Beim T-IHU mit Umformvergüten gibt es verschiedene Bauweisen, um die Wärme möglichst nah an der Werkzeugkontur abzuführen. Industrieller Standard sind gebohrte Kanalsysteme, mit denen jedoch nur eine eingeschränkte Kühlwirkung erreicht wird. Ein geeignetes und erfolgreich eingesetztes Konzept ist die Verwendung dicker Schalen als Werkzeugkontur, in denen rückseitig gefräste Kanäle die konturnahe Kühlung ermöglichen. Die Anwendung hohler Werkzeugsegmente in Form dünnwandiger Gusschalen wurde bereits erprobt.

Die Temperierung von Werkzeugen wird normalerweise mit Heizpatronen und/oder Heizmedien realisiert. Ebenso vielfältig sind die Varianten der Halbzeugerwärmung außerhalb des Werkzeugs. Eine energieeffiziente Alternative ist die lokale Temperierung des Halbzeugs innerhalb des Werkzeugs. Bei rohrförmigen Bauteilen eignet sich dafür die induktive Erwärmung, aber auch durch magnetischen Fluss lassen sich Halbzeuge bereichsweise erwärmen.

Als Werkzeugwerkstoffe kommen meist vergütete Werkzeugstähle zum Einsatz. Bei Werkzeugtemperaturen im Bereich von 800 °C sind warmfeste Sonderlegierungen erforderlich. Für kleine Stückzahlen bzw. zum Nachweis der Machbarkeit sind auch Werkzeuge aus Kunststoff, Holz und Grauguss geeignet.

IHU-Fügen

Der Vorteil, IHU-Bauteile mit anspruchsvollen Geometrien aus geschlossenen Profilen herstellen zu können, birgt auch Herausforderungen, wie das Beispiel einer aus einem Rohr gefertigten flanschlosen B-Säule zeigt. Es fehlen zum einen Flansche zur Befestigung von Dichtungen, zum anderen können konventionelle Fügeverfahren wie das Widerstandspunktschweißen nicht angewendet werden. In diesen Fällen kommen IHU-Fügeverfahren zum Einsatz.

Beim unmittelbaren Fügen werden keine zusätzlichen Fügelemente genutzt, die Lastübertragung erfolgt per Form- und/oder Kraftschluss. Ein Beispiel dafür sind die am Institut entwickelten Leichtbau-Nockenwellen. Der Vorteil liegt im Toleranzausgleich durch das innere Bauteil, das sich durch den Innendruck an die Geometrie des äußeren Fügepartners legt.

Mit den Fügeverfahren IHU-Stanznieten und IHU-Clinchen werden mittelbare Fügeverbindungen erzeugt. Beim IHU-Stanznieten wird zusätzlich zu den Fügepartnern der Stechniet im Prozess zugeführt und dieser gegen Innendruck gefügt. Das IHU-Clinchen kann passiv oder aktiv erfolgen. Bei der aktiven Variante wird durch eine zusätzliche Werkzeugbewegung ein besserer Hinterschnitt erzeugt und so eine höhere Verbindungsfestigkeit erreicht.



UMFORMEN VON PROFILEN UND FLACHPRODUKTEN BEI RAUMTEMPERATUR

Metall-Rotorblätter für Vertikalachs-Windturbinen

Die klassische Kaltumformung von Blechen und Profilen bei Raumtemperatur ist nach wie vor das am häufigsten eingesetzte Verfahren in der blechverarbeitenden Industrie. Dass dabei auch technologische Grenzen ausgelotet werden können, zeigt das von der AiF geförderte Projekt »HyBlade« zur IHU metallischer Rotorblätter für Vertikalachs-Windkraftanlagen. Um eine nachhaltige Produktion derartiger Anlagen sicherzustellen, müssen konventionelle Produktionsprozesse neu gedacht werden. Im Fokus stehen vor allem die Rotorblätter, die bisher meist aus faserverstärkten Kunststoffen gefertigt werden. Diese sind im Vergleich zu metallischen Werkstoffen in der Herstellung teurer und lassen sich nur bedingt recyceln.

Im Projekt »HyBlade« wurde ein konkurrenzfähiges metallisches Rotorblattprofil inklusive der Prozesskette für die Fertigung entwickelt. Ein Stahlblechstreifen wird zunächst mit einem Biegestempel abgekantet und erhält so die typische Blattform. Die Ränder werden mit einem Laser verschweißt, so dass ein geschlossenes Profil entsteht. Die so hergestellte Vorform wird in einem Werkzeug durch IHU ausgeformt. Durch dieses Kalibrieren werden Fertigungstoleranzen vorheriger Produktionsschritte ausgeglichen und das relevante Strömungsprofil präzise ausgeformt. Diese Vorgehensweise ist auch zur Herstellung komplizierter werdender Profilquerschnitte geeignet.

Die Vorteile von Rotorblättern aus Stahl sind enorm: Sie lassen sich nicht nur besser recyceln, auch die Kosten für die Serienfertigung sinken um bis zu 90 Prozent im Vergleich zu Blättern aus faserverstärktem Kunststoff. Darüber hinaus sind die erzielbaren Genauigkeiten bei der Rotorblattfertigung

erheblich besser, die Produktion ist deutlich schneller und zudem noch serientauglich.

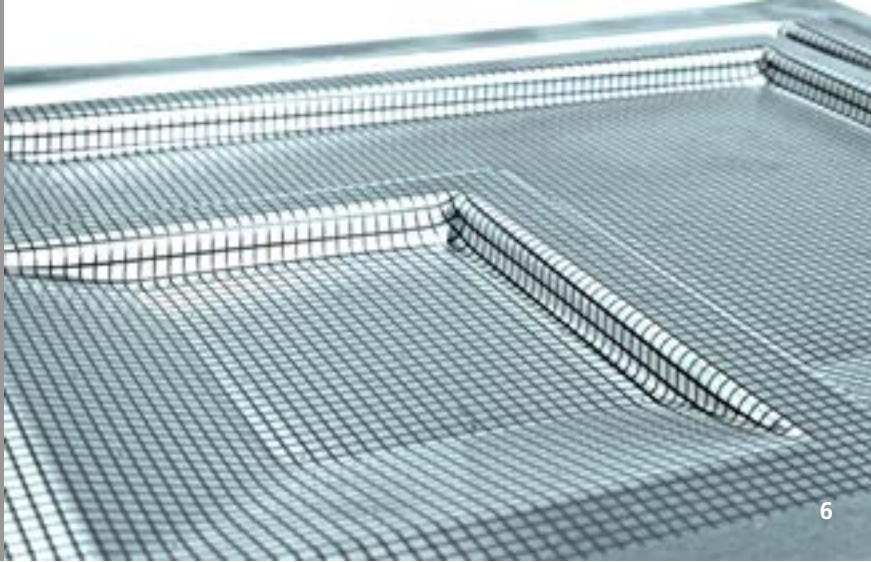
Das Projekt »HyBlade« wurde mit dem Sonderpreis des Stahl-Innovationspreises 2015 ausgezeichnet.

Beckenbodenauslauf für ein fischfreundliches Wehr

In Zusammenarbeit mit der Lausitzer Firma Käßler und Pausch GmbH entstand das »fischfreundliche Wehr«. Es dient dem Erhalt der natürlichen Lebensbedingungen von Fischen, indem es ihnen die Wanderung durch Bäche und Flüsse ermöglicht. Herzstück der Anlage ist eine Profil-Beckenkonstruktion, in der sich über einem Abflussloch ein kraftvoller Wasserwirbel ausbildet. Entscheidend für den Wirkungsgrad ist das Zusammenspiel von Turbine und Strömungsführung am Auslauf. Aus diesem Grund und zur wirtschaftlichen Fertigung kleiner Stückzahlen wurde der Beckenbodenauslauf aus Edelstahl durch IHB ausgeformt. Bei der Entwicklung sind drei Innovationen umgesetzt worden: Um die Ziehtiefe gering zu halten, wurde die Werkzeugteilung doppeltgekrümmt ausgeführt. Zur Validierung der Simulationsmodelle ist ein skaliertes Bauteil mit Werkzeugen aus Holz durch IHB umgeformt worden, während für die Herstellung des Realbauteils Werkzeuge aus Guss verwendet wurden.

Das fischfreundliche Wehr ist Preisträger im bundesweiten Wettbewerb »Ausgezeichnete Orte im Land der Ideen 2014/2015«.

- 3 *IHU-gefügtes Rahmenteil*
- 4 *IHU-gefügte Schaltgabel*
- 5 *Rotorblattprofil aus Metall*



ERWEITERUNG DER UMFORMGRENZEN DURCH TEMPERIERTE UMFORMUNG

Warmumformung von Abgasbauteilen aus Edelstahl

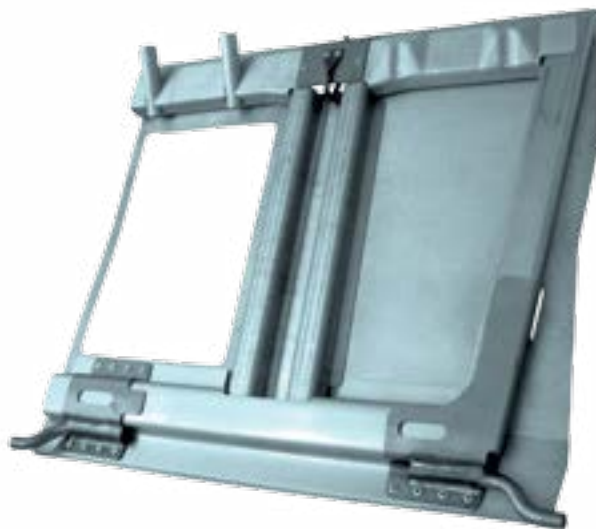
Komplexe IHU-Bauteile aus Edelstahllegierungen werden konventionell in mehreren Umformstufen mit zwischengeschalteten Glühprozessen hergestellt, da eine einstufige Umformung aufgrund der eingeschränkten Umformbarkeit nicht möglich ist. Diese mehrstufigen Prozessketten sind jedoch sehr kostenintensiv und fehleranfällig. Mithilfe eines temperierten Umformprozesses kann die Prozesskette kostenwirksam verkürzt werden. Zum einen verhindert die erhöhte Umformtemperatur die Kaltverfestigung des Materials, zum anderen wird das Umformvermögen der Werkstoffe durch eine Gefügeumwandlung maßgeblich verbessert, so dass IHU-Vorform- und Glühprozesse entfallen. Bei Verwendung eines gasförmigen Wirkmediums entfällt zudem der nachgeschaltete Waschvorgang. Aufgrund der niedrigeren Werkstofffestigkeit bei höheren Temperaturen sind die Umformkräfte gering. Somit können kleinere Pressen genutzt und, trotz der Zusatzkosten für die Bauteiltemperierung, die Fertigungskosten erheblich gesenkt werden.

Im Rahmen eines Industrieprojekts wurde gemeinsam mit der Salzgitter Hydroforming GmbH & Co. KG eine Prozesskette zur Herstellung eines seriennahen Abgasbauteils entwickelt. Konventionell wird das Bauteil in einem IHU-Werkzeug vorgeformt und anschließend einem Glühprozess unterzogen, bevor es in einem zweiten IHU-Schritt die finale Form erhält. In der neuen Prozesskette werden durch Erhöhung der Umformtemperatur der erste IHU-Schritt und das Glühen eingespart und direkt Gutteile mit der finalen Bauteilgeometrie hergestellt. Um die Taktzeit möglichst gering zu halten, erfolgte die Erwärmung außerhalb des Werkzeugs mit einer Induktionsanlage.

Superplastische Umformung von Bauteilen für die Unterhaltungselektronik

Wenn die klassische Warmumformung zur Realisierung eines anspruchsvollen Bauteildesigns nicht mehr ausreicht, werden Halbzeuge mit superplastischen Materialeigenschaften verwendet. Mit ihnen lassen sich extrem hohe Umformgrade bzw. Materialdehnungen und somit sehr komplexe Geometrien realisieren. Die zur superplastischen Umformung erforderlichen Temperaturen und die sehr langsamen Dehnraten zwischen 10^{-3} und 10^{-5} pro Sekunde bedingen einen hohen Energieaufwand und sehr lange Prozesszeiten. Obwohl durch die IHB-Technologie weniger bauteilspezifische Werkzeugtechnik benötigt wird, sind auf diese Weise hergestellte Bauteile verhältnismäßig teuer.

Noch wird diese Technologie vorwiegend für Kleinserienbauteile aus den Bereichen Luft- und Raumfahrt sowie Medizintechnik eingesetzt. Sie eignet sich aber auch für die Herstellung designgeprägter Blechbauteile in den Bereichen Weiße Ware und Unterhaltungselektronik, wie das Beispiel von Fernseherrahmen zeigt. Diese werden zunehmend aus Aluminiumlegierungen hergestellt, um eine bessere Wärmeableitung zu gewährleisten. Eine ressourceneffiziente und wirtschaftliche Fertigung ist dann gegeben, wenn möglichst viele Rahmen gleichzeitig durch IHB aus einer Platine geformt werden. Geringe Abstände zwischen den Rahmen sowie kleine Eckenradien führen jedoch zu einer starken Dehnung einzelner Blechbereiche, so dass eine reine Warmumformung nicht umsetzbar ist. Stattdessen werden Materialien mit superplastischen Eigenschaften verwendet. Für den wirtschaftlichen Einsatz dieser Technologie in der Serienfertigung müssen die Prozesszeiten jedoch weiter reduziert werden.



7

Exkurs Technologieplattform Magnesiumknetlegierungen

VON DER MACHBARKEITSANALYSE ZUM PROTOTYP

Magnesium-Knetlegierungen sind für den Leichtbau prädestiniert. Bauteile aus Magnesium sind bis zu 70 Prozent leichter als konventionelle Lösungen aus Stahl oder Aluminium. Um dieses Potenzial in serienreife Produkte überführen zu können, müssen die in der Automobilindustrie etablierten hocheffizienten Umformtechnologien auch für diesen Werkstoff erschlossen werden.

An dieser Zielstellung arbeitet das Fraunhofer IWU gemeinsam mit sächsischen Firmen und Forschungseinrichtungen innerhalb der Technologieplattform TeMaKplus.

Technologiedemonstrator Cabrio-Tür

Im ersten Verbundprojekt TeMaK wurden entlang der Prozesskette von der Magnesium-Massel bis zum Recycling alle relevanten Verfahren für die Fertigung einer Cabrio-Tür mit den in der Automobilindustrie üblichen Umformtechnologien untersucht. Da Magnesium-Knetlegierungen bei Raumtemperatur nur ein sehr geringes Umformvermögen besitzen, ist eine temperierte Umformung erforderlich. So wurden alle Prozesse in einem Temperaturbereich von 220 °C bis 300 °C ausgeführt.

Der Türrahmen besteht aus mehreren Teilen – einem gebogenen Rahmen aus einem stranggepressten Profil sowie einem IHU-Rahmenteil mit gefügten Scharnierverstärkungen. Um die notwendige Umformtemperatur zu erreichen und trotzdem möglichst energieeffizient zu arbeiten, erfolgt die Wärmezufuhr lokal im Werkzeug. Hierzu werden die Umform- und Fügebereiche induktiv bzw. magnetisch erwärmt. Neben der signifikanten Energieeinsparung gegenüber einem vollständig zu beheizenden und zu kühlenden Werkzeug liegt der wesentliche Vorteil im Handling, da die Bauteile kalt ins Werkzeug

eingelegt werden und auch die Zusammenbaugruppe nach der Umformung im kalten Zustand entnommen werden kann.

Technologiedemonstrator Rücksitzlehne

Eine typische Strukturkomponente im Automobil ist die Rücksitzlehne. Im Verbundprojekt TeMaKplus wurde ein Demonstrator konstruiert und gefertigt, der aufzeigt, wie im Vergleich zu einer Referenzbaugruppe ca. 50 Prozent des Gewichts eingespart werden können. Dazu wurde u. a. die Konstruktion den Spezifika des Werkstoffs Magnesium angepasst. Die Restriktionen hinsichtlich Bauraum im Fahrzeug, Anlenkpunkten und Packaging blieben gegenüber dem Serienteil unverändert. Die Strukturauslegung erfolgte nach ECE R17 und wurde durch eine Crashsimulation erfolgreich nachgewiesen. Neben dem IHU wurden die Technologien Strangpressen, Walzprofilieren, Schmieden und Fügen am Fraunhofer IWU weiterentwickelt und am Demonstrator abgebildet.

Forschungsschwerpunkte für den IHU-Prozess waren die simulationsgestützte Methodenplanung und Werkzeugauslegung inklusive Wärmehaushalt. Bei der Methodenplanung und den Umformversuchen lag der Fokus auf der Druckaufbaurrate, die entscheidenden Einfluss auf die Bauteilqualität hat. Darüber hinaus wurden verschiedene Schmiermittel und Werkzeugbeschichtungen getestet.

6 *Superplastisch geformtes
Rahmenteil aus Aluminium*

7 *Technologiedemonstrator
Rücksitzlehne*



Exkurs Leichtbau-Nockenwellen

EVOLUTIONSSTUFEN IN DER BAUTEILENTWICKLUNG

Am Fraunhofer IWU werden seit mehr als zehn Jahren Verfahren entwickelt, um Nockenwellen leichter und den Herstellungsprozess kostengünstiger zu gestalten. Durch konsequente Funktionstrennung entstand das Konzept gebauter Nockenwellen. Den Hub übernehmen Nockenringe und die Momentenleitung ein Rohr. Die Einzelteile werden durch IHU umgeformt und gefügt und so hohle Leichtbau-Nockenwellen gefertigt. Dem Entwicklungspfad der gebauten Nockenwellen folgten später die monolithischen Nockenwellen. Entwicklungstreiber hierfür waren die Kosten für die präzise zu fertigenden Nockenringe. Diese Einzelteile entfallen, sofern es gelingt, die Nockengeometrie aus dem Rohrrhalbzeug auszuformen. Allen Entwicklungen ist gemein, dass wesentliche Konstruktionschnittstellen zur Motorperipherie erhalten blieben und die Funktionsanforderungen des heutigen Serienfertigungsstandes erfüllt werden. Vorteile der hohlen Leichtbau-Nockenwellen sind das um mindestens 50 Prozent geringere Gewicht und die deutlich reduzierten Fertigungskosten.

Gebaute IHU-Nockenwellen

Gebaute Nockenwellen zeichnen sich durch ein rohrförmiges Halbzeug und separat gefertigte Nocken aus. Die Nocken werden mit geringem Fertigungsaufwand form- oder kraftschlüssig auf den Rohr-Grundkörper gefügt. Nockenwellen dieser Bauart werden in Serienmotoren erfolgreich eingesetzt.

8 *Monolithische Leichtbau-Nockenwellen*

9 *Demonstrator für die Verfahrrens-kombination aus IHU und Kunststoffspritzguss*

Monolithische IHU-Nockenwellen

Im Vergleich zur gebauten Nockenwelle entfallen bei der monolithischen Nockenwelle die zu fügenden Nocken als Einzelkomponente. Vielmehr wird die Nockengeometrie im IHU-Prozess komplett aus dem Rohr ausgeformt. Die notwendige Verschleißfestigkeit der Nockenfläche kann beispielsweise eine Hartmetallbeschichtung gewährleisten, die durch Flammsspritzen aufgetragen wird. Bei der nitrierten Nockenwelle wird im Anschluss an das IHU-Verfahren eine thermische Oberflächenbehandlung durchgeführt, um die erforderliche Verschleißfestigkeit zu erreichen.

IHU-Presshärten für pressgehärtete Nockenwellen

Die neueste Generation von Leichtbau-Nockenwellen ist – wie die nitrierte und beschichtete Nockenwelle – monolithisch gestaltet. Ausgangsmaterialien für die Nockenwelle sind manganbor-legierte Stähle, wie sie beim Presshärten für Karosseriebauteile eingesetzt werden. Beim IHU-Presshärten wird das Rohr auf etwa 1000 °C erwärmt, ins Werkzeug gelegt und mithilfe von Stickstoff umgeformt. Durch eine schnelle und gezielte Abkühlung des Werkstoffs wird eine Martensitbildung hervorgerufen, und die Grundfestigkeit von ca. 600 MPa lässt sich auf mehr als das Dreifache steigern. Im Umkehrschluss kann die Wanddicke deutlich reduziert und so Leichtbau mit Stahl betrieben werden. Die Vorteile der Warmumformung, wie geringe Rückfederung und hohe Formgenauigkeit, führen zudem zu einer Reduzierung der Schleifaufmaße an den Nockenwellen. Die Anwendung dieses Verfahrens bewirkt neben einer deutlichen Verkürzung der Prozesskette die weitere Senkung von Kosten und Gewicht.



Exkurs Verfahrenskombinationen

BLECH-/ROHRUMFORMUNG UND KUNSTSTOFFSPRITZGUSS VEREINT

Metall-Kunststoff-Hybridbauteile haben sich im Bereich des automobilen Leichtbaus in den letzten Jahren etabliert. Sie bestehen im Wesentlichen aus einer dünnwandigen Stahlblechstruktur in Verbindung mit geeignet gestalteten Kunststoffbereichen zur Verstärkung. Konventionell werden die Metallteile getrennt von den Kunststoffteilen hergestellt. Im Spritzgussprozess erfolgt lediglich das Urformen der Kunststoffteile und das Verbinden von Kunststoff- und Metallkomponenten. Die Herstellung derartiger Bauteile ist daher immer noch sehr arbeits- und kostenintensiv. Im Rahmen des Bundesexzellenzclusters »MERGE – Technologiefusion für multifunktionale Leichtbaustrukturen« wird an einstufigen Prozessen geforscht, die eine kostengünstigere Herstellung von Hybridkomponenten ermöglichen. Am Fraunhofer IWU werden dazu zwei Verfahrenskombinationen entwickelt.

Weitere Forschungsschwerpunkte sind die Untersuchung der Metall-Kunststoff-Mischverbindung für Stahl- und Aluminiumwerkstoffe in Kombination mit verschiedenen Thermoplasten. Dringliches Ziel hierbei ist die Substitution kostenintensiver Haftvermittler durch geeignete Oberflächenbehandlung und -strukturierung der Halbzeuge.

Verfahrenskombination Tiefziehen, Spritzgießen und Umformen mit der Schmelze

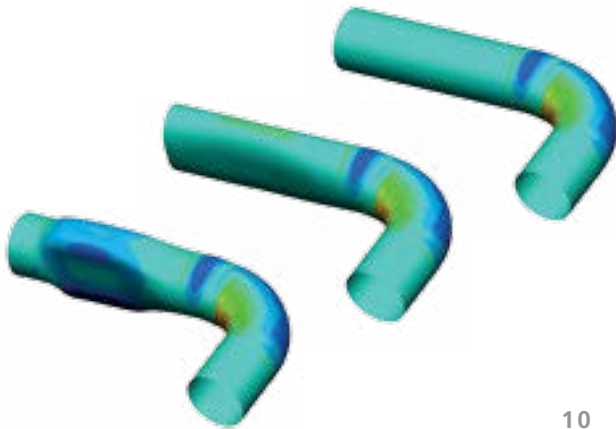
Das Verfahren verläuft in zwei aufeinanderfolgenden Prozessstufen im gleichen Werkzeug. Zunächst wird das Blech durch Tiefziehen umgeformt, im Anschluss erfolgt bei geschlossenem Werkzeug das Spritzgießen. Alleinstellungsmerkmal des am Fraunhofer IWU entwickelten Prozesses ist die gleichzeitige Nutzung der Kunststoffschmelze als IHB-Wirkmedium für die

erweiterte Metallumformung. Damit können Hinterschneidungen und andere Formelemente erzeugt werden, die beispielsweise einem zusätzlichen Formschluss dienen. Durch die Kombination aus Tiefziehen und IHB lassen sich die Vorteile beider Verfahren nutzen und komplexere Bauteilgeometrien ausformen als mit der üblichen Verfahrensweise. Da das Tiefziehen auf Kunststoffspritzgießmaschinen heutiger Bauart nicht vorgesehen ist, wurde die Verfahrenskombination auf einer konventionellen Tiefziehpresse mit angeschlossenem Bolt-On-Aggregat für den Kunststoffspritzguss realisiert.

Verfahrenskombination IHU und Spritzgießen

Geschlossene Profile bieten im Vergleich zu Blechbauteilen bei gleichem Gewicht höhere Steifigkeiten und somit ein höheres Leichtbaupotenzial. Im Gegensatz zu blechbasierten Metall-Kunststoff-Hybridbauteilen ist ein Umspritzen von dünnwandigen Hohlprofilen mit Kunststoff ohne innere Abstützung der Profile nicht möglich. Aufgrund des hohen Spritzdrucks würden die Profile kollabieren. Der Einsatz von Wirkmedien bewirkt nicht nur eine innere Abstützung, sondern wird gleichzeitig für eine zusätzliche Formgebung beim IHU genutzt. So lassen sich hochintegrierte profilbasierte Metall-Kunststoff-Hybridbauteile mit hohem Leichtbaufaktor in einem Schuss fertigen.

Bei beiden Verfahrenskombinationen liegt die Herausforderung in der Kombination zweier unterschiedlicher Verfahrensgruppen. Das betrifft sowohl die Prozessauslegung und -führung als auch die Gestaltung der Werkzeuge. Durch intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Kunststoffexperten wurden beide Verfahren anhand von Demonstratoren erfolgreich erprobt.



UNSER SERVICE – DIE PASSENDE LÖSUNG FÜR JEDEN ANWENDUNGSFALL

Machbarkeitsanalysen

Sowohl bei der Design-Findung für neue Bauteile als auch bei der Beurteilung bestehender Geometrien beraten wir Sie gern. Wir führen Machbarkeitsanalysen durch und beurteilen die technologischen Potenziale.

Methodenplanung

Die zentrale Aufgabe zur Gestaltung der Fertigungsprozesse ist die Methodenplanung. Hierbei greifen wir auf langjährige Erfahrungen aus zahlreichen Industrie- und Forschungsprojekten zurück und stützen uns auf die Möglichkeiten der FEM-Tools. Beides zusammen erlaubt es uns, Prozesse virtuell abzubilden und zu beurteilen, ohne Werkzeuge fertigen zu müssen.

Wirtschaftlichkeitsanalyse und -vergleich

Neben der technologischen Machbarkeit muss auch die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit eines Bauteildesigns und des entsprechenden Fertigungsprozesses geprüft werden. Mit unserer Erfahrung in der Auslegung und Kalkulation verschiedener Verfahrensvarianten sowie deren Vergleich untereinander können wir Sie dabei gezielt unterstützen. Wir finden den Prozess, der am besten zum Bauteil und Ihrem Produktionsumfeld passt.

Optimierung von Design und Prozess

Selten stellen der erste Bauteilentwurf und Methodenplan das Optimum dar. Aus diesem Grund optimieren wir beides, bis die gewünschten Forderungen und Ansprüche erreicht werden.

Je nach Anwendungsfall setzen wir kommerzielle Optimierungstools (opti-s-lang) ein oder nutzen eigene Methoden und Scripte, um den manuellen Aufwand gering zu halten.

Simulation

Die Simulation dient uns als wichtiges Werkzeug, um Verfahren und Bauteildesigns im Voraus untersuchen zu können. Neben spezialisierten Softwarepaketen (PAM2G, AutoForm) stehen all-purpose-Tools (Ansys, Abaqus, LS-DYNA) und erfahrene Mitarbeiter zur Verfügung, um die bisherigen Grenzen zu erweitern.

Werkzeugkonstruktion, -fertigung und Try-Out

Entsprechend Ihren Vorstellungen (Normen und Richtlinien) konstruieren wir für Sie sowohl Prototypen- als auch Serienwerkzeuge. Die Fertigung der Werkzeuge und deren Try-Out kann im Haus oder in Kooperationen mit ausgewählten externen Partner erfolgen.

Fertigung und Analyse von Prototypen

Auf Wunsch fertigen wir erste Prototypen auf unseren Anlagen und unterstützen Sie bis zur Serienfertigung der Bauteile.

Verfahrensentwicklung

Neue Anforderungen bedürfen der Entwicklung neuer Verfahren bzw. der Erweiterung bestehender Technologien. Einige Verfahren und ausgewählte Projektergebnisse werden in dieser Broschüre vorgestellt.



VERFÜGBARE ANLAGENTECHNIK

Am Fraunhofer IWU stehen zwei Hydraulikpressen für die wirkmedienbasierte Umformung und entsprechende Peripherie sowohl zum Bauteilhandling als auch zur Bauteil- und/oder Werkzeugtemperierung zur Verfügung. Damit lässt sich ein breites Bauteilspektrum realisieren, das von kleinen Bauteilen mit wenigen Gramm bis zu großen Bauteilen mit ca. fünfzig Kilogramm Gewicht reicht.

Verfügbare Pressen

IHU-Pressen DUNKES HS3-1500

- Schließkraft: 15 000 kN
- Stößelhub: 700 mm
- Arbeitsfläche: 2,00 x 1,00 m²
- Tischzylinder: 800 kN
- maximaler Wirkmediendruck:
 - 400 MPa HFA mit Standard-Druckübersetzer
 - 700 MPa HFA mit zusätzlichem Hochdruckübersetzer
 - 120 MPa Stickstoff mit Hochdruck-Gasanlage

Mit der Modernisierung der Dunkes HS3-1500 Tonnen IHU-Pressen durch die Firma AP&T im Jahr 2016 wurden am Fraunhofer IWU hervorragende maschinentechnische Voraussetzungen für zukünftige Forschungsprojekte geschaffen. Die flexible Hydroforminganlage verfügt über ein modulares Steuerungskonzept, das die Integration von vier Druckübersetzern (Umformung mit Wasser oder Stickstoff) und weiteren Zusatzeinrichtungen erlaubt. Darüber hinaus können auf der Anlage Schneid- oder Pressprozesse wiederholgenau umgesetzt werden. Tiefziehprozesse sind durch eine kraftgesteuerte Verdrängung der Tischachse (Ziehkissen) möglich, aber auch superplastische bzw. hybride Umformprozesse konnten

erfolgreich realisiert werden und sind Bestandteil aktueller Forschungsprojekte.

IHU-Pressen Schuler SHP 50 000

- Schließkraft: 50 000 kN
- Stößelhub: 1500 mm
- Pressentisch: 2,15 x 4,44 m²
- maximaler Wirkmediendruck:
 - 400 MPa HFA Standard (2 Druckübersetzer)
 - 120 MPa Stickstoff mit Hochdruck-Gasanlage

Verfügbare Peripherie

- Anlagen für induktive Erwärmung
- Werkzeugtemperierung durch Heizwasser
- Leistungsgerät für Heizpatronen
- verschiedene Strahlungsöfen
- Kühlaggregat
- Roboter
- mobile Hochdruck-Gasanlage:
 - 70 MPa Stickstoff 20 l Druckvolumen
 - 120 MPa Stickstoff und 10 l Druckvolumen
- mobile Gasdruckregleinheit:
 - 10 MPa Argon/Stickstoff

10 FEM-Simulation des T-IHU-Prozesses eines Titan-Abgasbauteils

11 Modernisierte IHU-Pressen

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz

Telefon +49 371 5397-0
Fax +49 371 5397-1404
info@iwu.fraunhofer.de
www.iwu.fraunhofer.de

**Abteilung Wirkmedienumformung und
Hochgeschwindigkeitstechnologien**

Dr.-Ing. Verena Psyk
Telefon +49 371 5397-1731
Fax +49 371 5397-6-1731
verena.psyk@iwu.fraunhofer.de

Titel

Durch T-IHU hergestellte Bauteile.

© Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen
und Umformtechnik IWU 2021