

Sonderteil

Energieeffizienz

- Stahl
 - weich
 - hochfest
 - modern hochfest
 - ultrahochfest
 - ultrahochfest (warm umgeformt)
- Aluminium
- Kunststoff

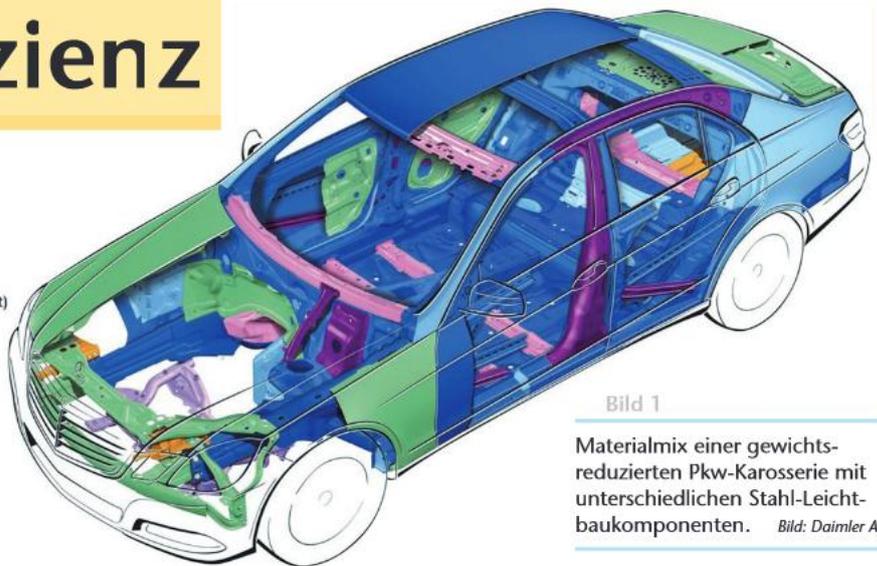


Bild 1

Materialmix einer gewichtsreduzierten Pkw-Karosserie mit unterschiedlichen Stahl-Leichtbaukomponenten. Bild: Daimler AG

Energieeffiziente Wärmebehandlung für „klimafreundliche“ Pkw

Maßgeschneiderte Leichtbaukomponenten aus Stahl

Vasily Ploshikhin, Bayreuth

Hochfeste Stähle eignen sich ideal zur Herstellung „intelligenter“ Bauteile, die zum Beispiel bei der Pkw-Fertigung eingesetzt werden. Dazu sind innovative Fertigungstechnologien gefragt. Die Partner des BMBF-Verbundprojekts „FlexWB“ haben eine neuartige Wärmebehandlung entwickelt, die eine hohe Prozessflexibilität bietet, weniger Energie verbraucht als das herkömmliche Verfahren und zudem vergleichsweise kostengünstig bei der Anlageninvestition ist.

Wenn es um Klimaschutz geht, steht der Straßenverkehr „ganz oben auf der Liste“ möglicher Ansatzpunkte. Zu den technischen Maßnahmen, die im Fahrzeugbau ergriffen werden, gehören neuartige Motoren, die weniger Kraftstoff verbrauchen als bisher, sowie der zunehmende Einsatz von Leichtbauweisen – denn leichtere Pkw benötigen weniger Treibstoff und sind damit umweltfreundlicher.

In den vergangenen Jahrzehnten ging der Trend jedoch in die entgegengesetzte Richtung: Jede neue Fahrzeuggeneration brachte mehr Gewicht auf die Waage. In

allen Fahrzeugklassen stiegen nicht nur die Abmaße der Modelle, sondern auch der Umfang der Ausstattung, die immer höheren Sicherheitsanforderungen gerecht werden muss; hinzu kommen „Extras“ wie elektrische Fensterheber, Bordcomputer, Thermoverglasung und Klimaanlage. Energiesparende Motoren wie Elektro- oder Hybridantrieb schlagen mit weiteren Kilogramm zu Buche.

Die für den Leichtbau benötigten Materialien sind nach wie vor teuer. Die Herstellung der leichtgewichtigen Bauteile ist aufwendig, unabhängig davon, ob sie aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen, Aluminium oder hoch-

festen Stählen bestehen. Gerade in der Entwicklung neuer Stahlblechwerkstoffe für den Leichtbau hat sich im vergangenen Jahrzehnt vieles getan. Moderne Stähle erreichen heute eine große Bandbreite an Eigenschaften, von extrem fest bis äußerst dehnbar. Durch die hohe Festigkeit des Materials kann bei der Verwendung im Fahrzeugbau mit geringen Blechdicken gearbeitet werden, und dementsprechend reduziert sich das Gewicht der Bauteile.

Weniger Material und mehr Funktionalität

Um den komplexen Anforderungen an das Gewicht und die Stabilität bestimmter Bauteile gerecht zu werden, setzt die Automobilindustrie verstärkt hochfeste Stähle ein,

Bild 1. Dank innovativer Verarbeitungsmethoden lassen sich hieraus „intelligente Bauteile“ mit unterschiedlichen Eigenschaften herstellen. Dies betrifft unter anderem die B-Säule in Pkw-Karosserien, **Bild 2.** Sie muss im Mittelbereich eine hohe



Bild 2

Die B-Säule einer Pkw-Karosserie muss in den verschiedenen Ecken unterschiedliche Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften

Autor

Prof. Dr.-Ing. Vasily Ploshikhin, Jahrgang 1967, ist Bereichsleiter Simulation/Metalle der Neue Materialien Bayreuth GmbH und Verbundprojektkoordinator im Projekt „FlexWB“.

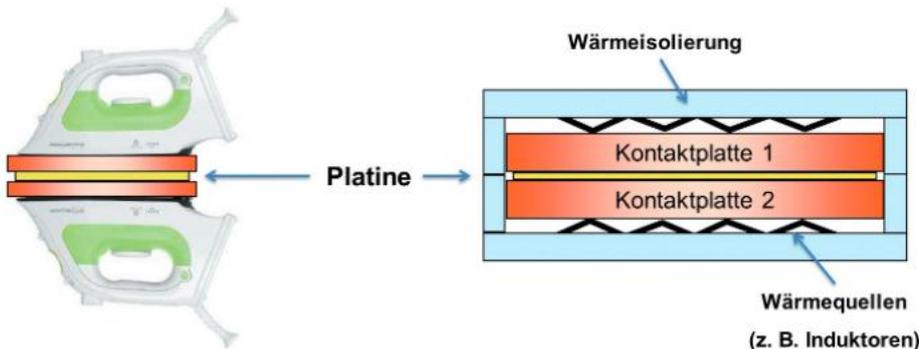


Bild 3

Prinzip der Kontaktwärmebehandlung: Die Platine wird zwischen zwei vorgeheizten Kontaktplatten als Wärmequellen gezielt erhitzt.

bieten, damit sie bei einem Unfall die Fahrgastzelle vor vertikaler Verformung schützen oder gegebenenfalls die Karosserie bei einem Seitenaufprall stabilisieren kann.

Die Bearbeitung hochfester Stähle ist nach wie vor sehr energieaufwendig. Die dem Warmumformen oder Presshärten vorgelagerte thermische Vorbehandlung der Platinen wird gewöhnlich in einem etwa 40 m langen Rollenherdofen durchgeführt, der kontinuierlich – auch bei Produktionsstopp – laufen muss. Zudem verursacht die Anschaffung des Ofens hohe Investitionskosten und erfordert großen Platzbedarf. Die Herstellung intelligenter Bauteile ist mit der herkömmlichen Ofenerwärmung nur bedingt möglich, da sich die Platinen nicht partiell erwärmen lassen.

„FlexWB“ und die Effizienzfabrik

Im Forschungsprojekt „FlexWB“ (Flexible Wärmebehandlung zur gezielten Gestaltung von Bauteileigenschaften und zur Erhöhung der Energieeffizienz der Prozesskette Warmumformen) wurde ein Verfahren zur flexiblen Wärmebehandlung von hochfesten Stählen entwickelt, das ohne Rollenherdofen auskommt und zugleich energieeffizienter ist als das herkömmliche. Angestoßen durch die Neue Materialien Bayreuth GmbH, einem außeruniversitären Forschungsdienstleister für innovative Werkstoff- und Verfahrensentwicklung im Themenfeld Leichtbau, gehört FlexWB zu den 31 Verbundprojekten des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Schwerpunkts „Ressourceneffizienz in der Produktion“, in dem mehr als 200 Unternehmen und Forschungsinstitute zusammenarbeiten und das mit mehr als 50 Millionen Euro unterstützt wurde.

Thematisch gehört FlexWB zum Forschungsschwerpunkt „Fertigungsbedingte Produkteigenschaften“: Hier werden flexible, integrative und effiziente Fertigungsprozesse entwickelt, denn aufgrund der komplexen Anforderungen

an fertige Bauteile ist es wichtig, bereits während der Fertigung die Weichen für unterschiedlichste Produkteigenschaften so zu stellen, dass sich Bauteil- beziehungsweise Produktfunktionalitäten verbessern und zudem die Energieeffizienz während der Nutzung des Endprodukts steigt.

Etablierte Verfahren sind energieintensiv

Bisher wird zur Herstellung von intelligenten Fahrzeugteilen aus Stahl das „Tailored-Tempering“-Verfahren angewendet, also das maßgeschneiderte partielle Presshärten. Dabei wird das Blech entweder nur in den vorgesehenen Bereichen zum Glühen gebracht und dann bearbeitet, oder es wird vollständig erhitzt und anschließend in den verschiedenen Zonen der Platine unterschiedlich stark abgekühlt.

Da die herkömmlichen Verfahren sehr aufwendig und energieintensiv sind und sich partielle Eigenschaften in einem Stahlbauteil bisher nur schwierig realisieren ließen, wurde in FlexWB nach

einer anderen Möglichkeit der Materialbearbeitung gesucht. Das Endprodukt sollte in definierten Zonen die höchste Festigkeit von 1500 bis 1900 MPa bieten, in anderen Bereichen jedoch über eine hohe Duktilität und damit über ein hohes Energieabsorptionsvermögen verfügen. Die Crashesicherheit des herzustellenden Bauteils sollte zudem in Bereichen mit Zug- und Biegebelastung durch eine Bruchdehnung bis 15 % und eine niedrige Festigkeit von 600 MPa bis 700 MPa gewährleistet werden.

Schnelle Aufheizzeiten und genaue Temperaturkontrolle

Im Projekt wurde ein neuartiger energie- und flächensparender Wärmebehandlungsprozess entwickelt, Bild 3, der in den konventionellen Warmumformprozess integriert wird. Dieses Verfahren der Kontaktwärmebehandlung funktioniert ähnlich wie ein Bügeleisen. Die Platine wird zwischen zwei vorgeheizten Kontaktplatten als Wärmequellen platziert. Zum Aufheizen der Kontaktplatten griffen die FlexWB-Partner auf die Induktionserwärmung zurück, weil damit hohe Leistungsdichten und kurze Aufheizzeiten möglich sind.

Durch schlüssigen Kontakt zwischen Platine und den vorgeheizten Kontaktplatten sind schnelle Aufheizgeschwindigkeiten und eine genaue Temperaturkontrolle möglich. Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit, flexible, mehrstufige Temperaturführungen in Teilzonen einer Platine zu realisieren und so lokale Werkstoffeigenschaften gezielt einzustellen.



Bild 4

Nach geeigneter Auslegung der Induktorgeometrie und homogenes und gleichzeitig energieeffizientes Wärmebe-

Induktionserwärmung ist Mittel der Wahl

Dass der Einsatz von Kontaktplatten statt direkter Induktionserwärmung der Platine zum Aufheizen von Blechen am besten geeignet ist, zeigte sich bereits im Vorgängerprojekt, an dem der Verbundpartner SMS Elotherm beteiligt war. Bei einer direkten Induktionserwärmung kam es bei großflächigen Blechen aufgrund der hohen Leistungsdichten zu thermischen Spannungen, die zu einem Verzug des Materials und somit zu einer inhomogenen Wärmeverteilung im Bauteil führten. Dagegen gewährleistet der Einsatz von Kontaktplatten ein verzugsfreies Aufheizen der Platine.



Bild 5

Die Platine wird nach der raschen Erwärmung dem Ofen entnommen, weitertransportiert, in der Umformpresse positioniert und in die gewünschte Form gebracht.

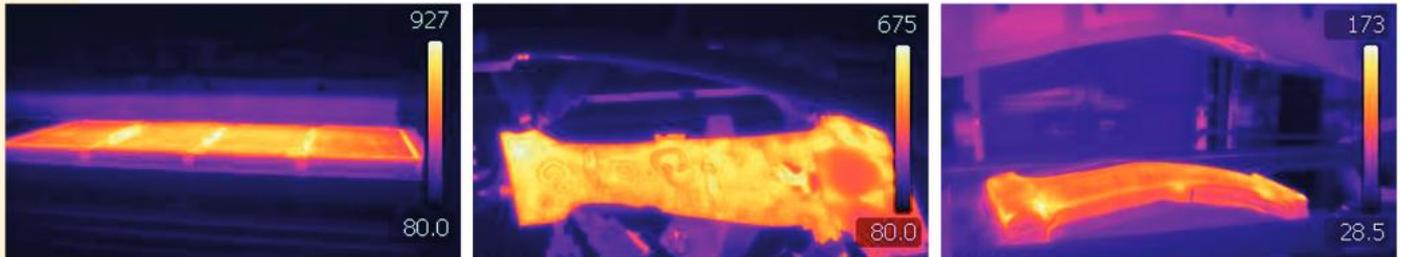


Bild 6

Temperaturverteilung im Bauteil während der Prozessschritte: Wärmebehandlung (links), Transport (Mitte), Umformung in der Presse. Bild (5): FlexWB

Das Forscherteam von FlexWB hat unterschiedliche Versionen für die Geometrie der induktiv beheizten Kontaktplatten untersucht. Ziel war es, durch verschiedene Optimierungsmaßnahmen eine homogene Aufheizung der Platten und eine gleichmäßige Erwärmung der Platine zu erreichen. Schließlich fiel die Entscheidung für einen mäanderförmigen Induktor, da dieser im Gegensatz zum Spiralinduktor keine Temperatursenke im Zentrum hat.

Um die deutlichen Temperaturunterschiede aufgrund von Feldeinbrüchen an den Umführungen des Mäanderinduktors zu kompensieren, wurden Ferrite zur Feldkonzentration auf dem Kupferleiter ergänzt. Zur Erhöhung der Energieeffizienz wurde in einem nächsten Schritt der gesamte Induktor mit Ferriten bestückt und dann die Leitergeometrie entsprechend optimiert. Nachdem Platten und Induktoren in Reihenschaltung optimal angeordnet waren, wurden die Platten zusätzlich mit mehreren Schichten einer Glasgewebematte isoliert, so-

Projekt und Partner

Die Effizienzfabrik sowie das Verbundprojekt „FlexWB“ werden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die FlexWB-Projektpartner sind: Audi AG, Daimler AG, Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU), Neue Materialien Bayreuth GmbH, precon Robotics GmbH, Schuler SMG GmbH & Co. KG, SMS Elotherm GmbH, ThyssenKrupp Steel Europe AG. Interessierte haben die Möglichkeit, an einem Workshop am 7. März 2013 beim Verbundkoordinator Neue Materialien Bayreuth GmbH (Beginn 10:30 Uhr, Ende 15:30 Uhr) teilzunehmen, bei dem die Ergebnisse von FlexWB präsentiert werden (Anmeldung über die Projekt-Homepage). www.flexible-waermebehandlung.de www.effizienzfabrik.de

dass sich der Temperaturengleich noch besser auswirken kann, weil am Rand über die Abstrahlung keine Wärme mehr verloren geht. Die Auslegung der Induktorgeometrie und der Kontaktplattendicke von 20 mm bis 25 mm wurden durch den Einsatz numerischer Simulation unterstützt.

Nachdem die Entwicklung eines homogenen und gleichzeitig energieeffizienten Wärmebehandlungsverfahrens

abgeschlossen war, folgte die Integration dieses neu entwickelten Verfahrens in die Warmumform-Prozesskette. Diese umfasst folgende Schritte: Die zu erwärmende Platine wird zwischen die temperierten Kontaktplatten eingelegt, Bild 4, die Kontaktplatten fahren zusammen und stellen einen Kontakt mit der Blechoberfläche her. Dabei erwärmt sich das Blech maximal auf die eingestellte Kontaktplattentemperatur.

Anschließend wird die erwärmte Platine entnommen und in einer Umformpresse in die gewünschte Form gebracht, Bild 5. Mit der Kontaktwärme-

behandlung lässt sich die Erwärmung von Platinen vor dem Umformprozess deutlich schneller durchführen als im Ofen. Während es mithilfe der konventionellen Erwärmung sieben Minuten dauert, bis die Platine eine Temperatur von 920 °C erreicht hat, steigt bei der Ko Sta mi ab

Simulation der Temperaturverteilung

Die gesamte Prozesskette wurde mithilfe einer Simulationssoftware in einer thermomechanisch gekoppelten Rechnung abgebildet und optimiert. Dabei wurden vor allem der Wärmeübergangskoeffizient sowie der Druck als wichtige Parameter einbezogen. Für die Simulation der Umformphase kam die Software „LS-Dyna“ zum Einsatz, die anhand empirischer und reaktionskinetischer

Gleichungen die Gefügeverteilung über die Abkühlkurven berechnet. Mithilfe eines kleinen Versuchswerkzeugs konnten verschiedene Temperaturverläufe aufgenommen werden, **Bild 6**, die dann mit den Verläufen der Temperaturverteilung in der Simulation verglichen wurden.

Fazit

Die entwickelte Prozesskette zum Warmumformen eröffnet auch kleineren und mittelständischen Unterneh-

men die Möglichkeit, in die Produktion warmumgeformter Bauteile einzusteigen, denn sie zeichnet sich durch geringere Taktzeiten, eine höhere Flexibilität und nicht zuletzt durch reduzierte Investitionskosten aus. Und Unternehmen, die bereits in der konventionellen Warmumformung tätig sind, erhalten durch diese innovative Technologie Anreize für eine energiesparende und ressourcenschonende Optimierung ihrer Prozesse. □

Frontend-Montageträger komplett aus Kunststoff – beim Automobilbauer bereits in Serie

Metal „weggerechnet“: erfolgreiche Simulation

Der Frontend-Montageträger im neuen „Golf 7“ besteht vollständig aus Kunststoff. Damit ist das Bauteil, das seine Gestalt intensiven Berechnungen und Simulationen verdankt, weltweit eines der ersten Teile mit dieser Funktion ohne Metallverstärkung, **Bild**. Um das zuvor eingesetzte Polypropylen-Hybridbauteil durch ein reines Kunststoffbauteil zu ersetzen, war in der Entwicklung nicht nur „Ultramid B3WG8“, ein hochverstärktes Polyamid, sondern vor allem „Ultrasim“, das universelle Simulationswerkzeug von BASF, Ludwigshafen, von Nutzen. Auf die früher nachträglich montierten Stahlbleche kann nun verzichtet werden. Das vermindert das Gewicht des Frontendmoduls im Vergleich zum Vorgängermodell deutlich, spart Montagezeit und damit Kosten. Volkswagen fertigt das Bauteil im eigenen Haus.

Die Anforderungen an das Kunststoffbauteil umfassen neben der Bauraumbeschränkung verschiedene sehr anspruchsvolle Lastfälle: Dazu gehören der statische und der dynamische Schlosslastfall, bei dem das missbräuchliche Öffnen und Schließen der Motorhaube unter härtesten Bedingungen simuliert und getestet wird. Auch die Steifigkeit sowie das Schwingungsverhalten

des Systems aus Frontend und Kühler wurden per CAE-Analysen optimiert und im realen Rütteltest validiert.

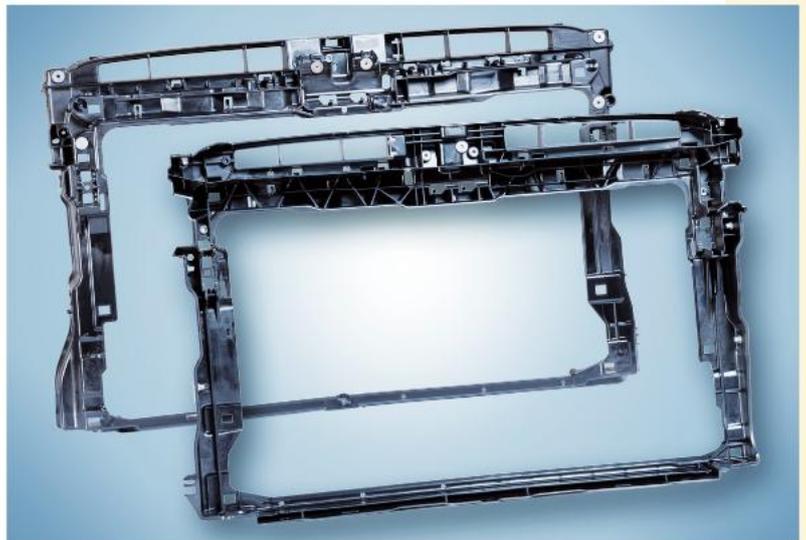
Spezielles Augenmerk galt den Crashesensoren, die am Frontend angebracht sind. Sie sorgen dafür, dass der Airbag beim Frontal-Crash im richtigen Moment auslöst. Dazu muss das Kunststoffbauteil an definierter Stelle eine bestimmte dynamische Steifigkeit bieten und den Crashbeschleunigungsanforderungen des Automobilherstellers genügen. Im realen Test entsprach die Schwingungsreaktion des Bauteils genau dem mit Ultrasim vorhergesagten und ausgelegten Verhalten: das Aufprallsignal wird korrekt übertragen.

Basis der Gestaltung eines Frontends sind die Hauptlastfälle, aus denen sich eine optimierte Topologie ableiten lässt. Diese Topologie gibt dem Konstrukteur wichtige Hinweise für die finale Form des Bauteils. Durch die hohe Vorhersagegenauigkeit der eingesetzten Software waren vom Prototypen des Montageträgers bis zum Serien-

bauteil nur geringe Veränderungen notwendig. Dabei zeigt sich, welche anspruchsvollen Anwendungen in der Kombination eines geeigneten Werkstoffs mit den richtigen Vorhersage- und Berechnungswerkzeugen zugänglich werden.

Darüber hinaus lässt sich Ultrasim inklusive seiner speziellen Versagensmodelle nahtlos in die Berechnungsumgebung des Gesamtfahrzeugs des Automobilherstellers integrieren. Dazu müssen allerdings sehr speziell zum Beispiel crashrelevanten Materialdaten des Kuns-

stoffs vorliegen, die den Einfluss von Temperatur, Feuchtigkeit und Belastungsgeschwindigkeit genau beschreiben. Vor einer Simulation steht daher eine umfangreiche experimentelle Materialdatenermittlung mit aufwendigen Prüf- und Messinstrumenten. Das Simulationswerkzeug ist dann in der Lage, das Versagensverhalten, die Dehnratenabhängigkeit und die Zug-Druckasymmetrie – auch in Ab-



Bei Volkswagen ist ein Frontend-Montageträger ohne Metallverstärkung als ein komplettes Spritzgussbauteil in Serie gegangen. Mit seiner Hilfe verringert sich das Gewicht des gesamten Frontendmoduls im Vergleich zum Vorgängermodell erheblich.

Bild: BASF