

Tailored Tempering als Königsdisziplin

Bei der Anschaffung eines neuen Autos beeinflussen Insassenschutz und fünf Sterne im Euro NCAP Crashtest die Kaufentscheidung erheblich. Sicherheit schlägt aber auf das Gewicht des Fahrzeugs und damit auch auf den Verbrauch. Automobilhersteller begegnen diesen konträren Anforderungen mit cleverem Leichtbau. Kein Bauteil bleibt dabei unbehelligt. Hierzu muss gleichermaßen die Rohkarosserie einen Beitrag leisten. Dazu braucht es den richtigen Werkstoff und dessen intelligente Verarbeitung. Tailored Tempering von hoch- und ultrahochfestem Stahl ist ein Schlüssel zum Erfolg – und öffnet gleichzeitig die Tür zu vielen kniffligen Herausforderungen. Angegangen werden diese mit Hilfe von Computersimulation.



Mercedes E-Klasse Coupé

Mit jeder neuen Modellgeneration eines Fahrzeugs steigt auch sein Gewicht. So war es bisher. Die Gültigkeit dieser Regel scheint allerdings zu bröckeln. Neue Modelle diverser Hersteller sind 50, 100 und mehr Kilogramm leichter als ihre Vorgänger. Dass dies trotz Größenwachstums, Mehrausstattung, vielerlei Assistenzsystemen und nochmals erhöhter Crashesicherheit gelingt, dazu tragen unzählige kleine Maßnahmen bei. Eine besonders Gewichtige betrifft die Rohkarosserie. Über die Modellzyklen gesehen wiegt sie im Verhältnis kontinuierlich weniger, obwohl ihr Hauptwerkstoff nach wie vor gleich ist: Stahl. Davon gibt es auf dem Weltmarkt aber mehrere Tausend Sorten. Die Passende auszuwählen und geschickt zu verarbeiten, das ist die Kunst des Leichtbaus. Hoch- und ultrahochfeste Stahllegierungen stehen dabei im Zentrum. Bei geringerem Materialeinsatz erfüllen moderne Stähle höchste Anforderungen an den Insassenschutz und stecken die Aufprallenergie bei einem Unfall wohl kalkuliert weg. Die Rohkarosserie der neuen E-Klasse besteht nicht umsonst zu fast drei Vierteln aus hoch- und ultrahochfesten Stahlsorten, was in der PKW-Entwicklung einem Spitzenwert gleich kommt (Quelle: www.daimler.com).

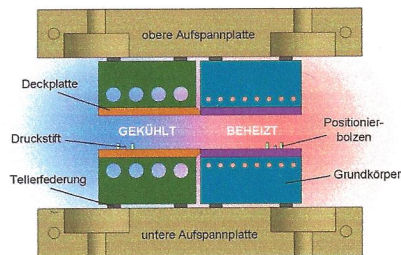


Zusammenspiel von mechanischen, thermischen und metallurgischen Phänomenen, wie es AutoForm-ThermoSolver berücksichtigt.

Tailored Tempering

Durch Presshärten, ein Spezialverfahren der Warmumformung, werden aus Bor-Mangan-Stahl (22MnB5) ultrahochfeste Karosseriebauteile hergestellt. Verschiedene Verfahrensvarianten haben sich etabliert, wobei überwiegend das direkte und das indirekte Presshärten zur Anwendung kommen. Gewissermaßen als Krönung gilt das Tailored Tempering Verfahren. Vergleichbar den ge-

35 schweißten Tailored Blanks, bei denen je nach geforderten Bauteileigenschaften Bleche von unterschiedlicher Dicke oder Festigkeit zusammengefügt werden, erfährt beim Tailored Tempering jede Stelle eines Blechs maßgeschneidert eine Warmumformung und anschließend eine temperaturgesteuerte Abkühlung. Damit ist es möglich Bereiche von hoher Festigkeit und Bereiche von hoher Duktilität (Verformbarkeit) zu kombinieren. Der Vorteil des Tailored Temperings gegenüber geschweißten
40 Tailored Blanks ist, dass ein Bauteil quasi nahtlos aus einem Stück entsteht. Statt gleichsam "digitalen" Übergängen zwischen den zusammengeschweißten Bereichen stellen sich fließende Übergänge zwischen Zonen hoher Festigkeit und Zonen hoher Duktilität ein. Das sind ideale Bedingungen, um funktionsoptimierte Bauteile zu designen, also Bauteile, die gezielt an die Anforderungen im Crash angepasst sind. Damit sind signifikante Gewichtseinsparungen im Vergleich zu Konzepten mit konventionell kaltumgeformten Bauteilen realisierbar. Gegenüber der Herstellung durch konventionelles
45 Presshärten kann auf diese Weise zum Beispiel die B-Säule eines Fahrzeugs mit nochmals verbesserten Crasheigenschaften und nochmal dünneren Wandstärken hergestellt werden. Anspruchsvoll gestaltet sich die Ermittlung, wie das entsprechende Umformwerkzeug auszusehen hat und wie der Prozess des Tailored Tempering im Detail ablaufen soll. Dazu ist ein umfassendes Verständnis hinsichtlich Materialverhalten, Wärmefluss und Kinetik der Phasentransformation nötig.
50

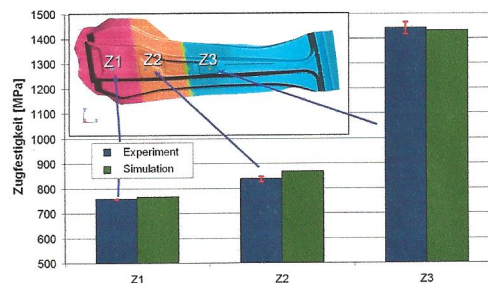


Versuchswerkzeug zur Verifizierung des in AutoForm-ThermoSolver hinterlegten thermisch-mechanisch-metallurgischen Modells.

55 Simulation gibt Einblick

Um den Prozess des Tailored Tempering zu analysieren und schließlich zu kontrollieren, braucht es tief gehenden Einblick in die strukturelle Transformation des Materials. Gerade wegen der Komplexität des Verfahrens ist die simulationsbasierte Prozessauslegung am Computer eine enorme Hilfe. Voraussetzung ist jedoch, dass die Simulationssoftware Warmumform- und Abschreckprozesse realistisch abbildet, die endgültigen Bauteileigenschaften zuverlässig vorhersagt und damit das Werkzeug-
60 Know-how für diesen speziellen Typ des Warmumformens liefert. Mit diesem Ziel hat die AutoForm Engineering GmbH die Software AutoForm-ThermoSolver entwickelt, in der ein thermisch-mechanisch-metallurgisches Modell implementiert ist. Die Software kann von jedem Materialpunkt im Blech gewissermaßen eine Temperaturgeschichte liefern und gewährt damit Einblick in das Materialverhalten während des Warmumformens und insbesondere des Abschreckens.
65

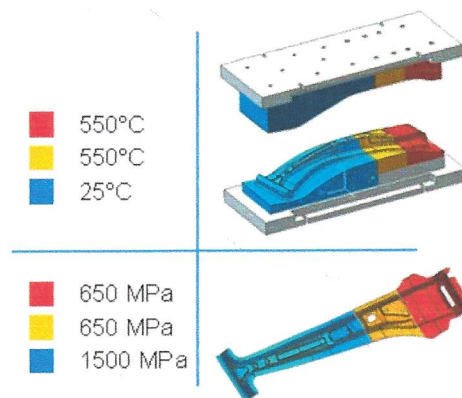
Damit die Vorhersage mit angemessener Genauigkeit funktioniert, müssen alle relevanten Phänomene und ihre Wechselwirkung modelliert werden. Auf thermischer Seite umfasst dies den Wärmefluss zwischen Blech, Werkzeug und Umgebung, wobei sowohl die Strahlung als auch die Konvektion Berücksichtigung finden. Mechanisch ist die plastische Deformation des Blechs zu beachten und aus
70 metallurgischer Sicht ist die Phasentransformationen aufgrund der Abkühlung einzuberechnen.



Der Vergleich mit den Messergebnissen zeigt, AutoForm-ThermoSolver berechnet die Zugfestigkeit treffsicher.

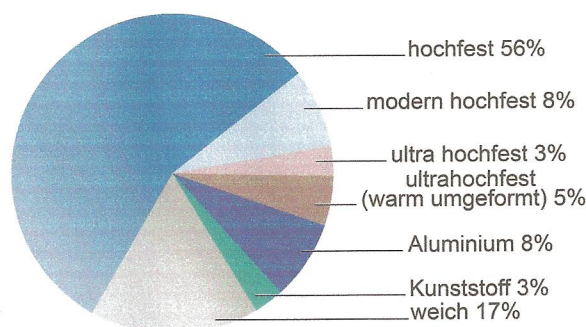
Theorie und Praxis verbinden

75 Experimente und Tests dienen AutoForm dazu, das thermisch-mechanisch-metallurgische Modell zu verifizieren und weitere maßgebende Parameter zu identifizieren. In Kooperation mit der Daimler AG entstand ein Versuchswerkzeug (Bild 2), während am Lehrstuhl für Fertigungstechnologie der Universität Erlangen-Nürnberg systematische Tests durchgeführt wurden. AutoForm steuerte eine Vorserie-
80 enversion von AutoForm-ThermoSolver bei. Aus dieser Zusammenarbeit entwickelte sich ein grundlegendes Expertenwissen betreffend das Prozessfenster und die resultierenden Materialeigenschaften in Abhängigkeit der relevanten Prozessparameter.



Tailored Tempering einer B-Säule führt zu unterschiedlichen Zugfestigkeiten.

85 Um die Untersuchungsergebnisse auf ein reales Bauteil für die Produktion zu übertragen und die Qualität der Simulationsergebnisse zu überprüfen, baute Daimler ein Werkzeug für eine B-Säule. Im Werk Sindelfingen wurde anschließend ein kleines Los der B-Säule produziert und eingehend auf die mechanischen Eigenschaften hin unter die Lupe genommen. Proben aus verschiedenen Zonen des Bauteils wurden im Zugversuch getestet. Die Ergebnisse wurden unter den Experten von Daimler und AutoForm eingehend diskutiert. Alle physikalischen Einflüsse, die entscheidend für die Genauigkeit der Ergebnisse sind, mussten in das Simulationsmodell einfließen. Untergeordnete Einflüsse
90 wurden herausgefiltert – mit entsprechend positiven Auswirkungen auf die Berechnungsgeschwindigkeit. Ein Entschluss, den die Kooperationspartner im Verlauf der Untersuchungen fassten: Die latente Wärme während des Abkühlprozesses muss Berücksichtigung finden. Dann berechnet der AutoForm-ThermoSolver die endgültigen Bauteileigenschaften äußerst treffsicher und Resultate wie die Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Dicken- und Spannungsverteilung sowie die Härte- und Martensitverteilung
95 lassen sich grafisch anschaulich darstellen. Die zusätzliche Rechenzeit für Tailored Tempering Prozesse gegenüber konventioneller Kaltumformung betrug im Mittel lediglich 5%. Dieser ohnehin bescheidene Mehraufwand wird durch das verbesserte Prozessverständnis mehr als gerechtfertigt.

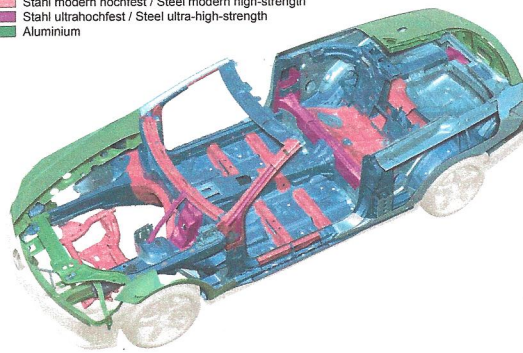


Das Sicherheitskonzept der neuen Mercedes-Benz E-Klasse gründet auf einer sorgfältigen Materialauswahl und intelligentem Leichtbau.

100 **Daimler setzt AutoForm-ThermoSolver ein**

Die im Rahmen der Kooperation von Daimler und AutoForm gesetzten Ziele wurden erreicht. Nach einer einjährigen Testphase ist der AutoForm-ThermoSolver bei Daimler seit 2012 im produktiven Einsatz; die Qualität der Simulation auf Bauteilebene hat Daimler überzeugt. Selbst aufwändige Prozessstrategien lassen sich mit AutoForm-ThermoSolver berechnen. Thermomechanische Einflüsse auf das Materialverhalten bei der Bauteilherstellung werden nun noch besser berücksichtigt. Die zusätzlichen Informationen des metallurgischen Berechnungsmodells steigern dabei die Aussagekraft und den Informationsgehalt der Simulation. Nicht zuletzt liefert die intensive Betrachtung des Tailored Tempering Prozesses auch wichtige Erkenntnisse für das konventionelle Presshärten. Weiterer Entwicklungsbedarf wurde in Bezug auf die Berechnung des thermischen Verzugs identifiziert. Daran wird im Rahmen der bestehenden Kooperation zwischen Daimler und AutoForm weiter gearbeitet.

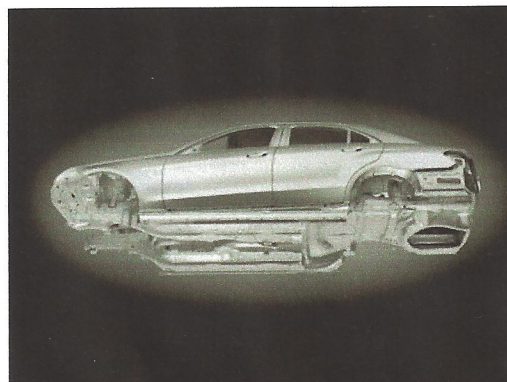
■ Stahl weich / Steel mild
■ Stahl hochfest / Steel high-strength
■ Stahl modern hochfest / Steel modern high-strength
■ Stahl ultrahochfest / Steel ultra-high-strength
■ Aluminium



Rund 72 Prozent aller Bleche der Rohkarosserie der E-Klasse bestehen aus hoch- und ultrahochfesten Stahllegierungen.

Voll im Trend

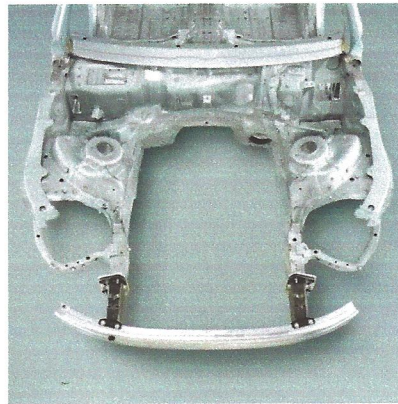
Der Einstieg in die Presshärt-Technologie und das Tailored Tempering ist mit einem Riesenberg an Arbeit und Investition verbunden. Es braucht einen Ofen, genauso wie ein Handlingsystem. Das wiederum hat Einfluss auf das Fabriklayout. Die neue Werkzeugtechnologie erfordert entsprechend ausgebildete Fachkräfte, die sie optimal einsetzen und ausreizen können. Da lohnt sich ein mehr als nur kurzer Blick auf die Simulation mit Sicherheit. Letztlich hilft die Simulation die komplexen Abläufe während des Presshärtens zu verstehen und damit wettbewerbsentscheidendes Know-how aufzubauen. Dass dies passiert, lange bevor ein Werkzeug in Eisen entsteht, kann sich nur vorteilhaft auf die Kosten und den Entwicklungsfahrplan auswirken. Das ist entscheidend, schließlich gewinnt das Presshärten und das Tailored Tempering Verfahren in der Automobilindustrie ungebrochen an Bedeutung. Kein Automobilhersteller kann sich den anhaltend wachsenden Anforderungen hinsichtlich höherer Crashesicherheit und geringerem Fahrzeuggewicht, sprich Leichtbau, entziehen. Zudem drängt die Zeit, bereits 2012 drohen Strafzahlungen beim Überschreiten gewisser Emissionsgrenzwerte.



Beim Einsatz von hoch- und ultrahochfestem Stahl nimmt die neue E-Klasse von Mercedes-Benz einen Spitzenrang ein.

Über AutoForm-ThermoSolver

Mit AutoForm-ThermoSolver können Automobilhersteller und Zulieferer die Prozesse von warmumgeformten Bauteilen (Seitenverstärkungen, A-/B-Säulen, Träger von Front-/Heckstoßstangen und mehr) entwickeln und definieren. Die Software simuliert das direkte und indirekte Presshärten und unterstützt das Tailored Tempering Verfahren. Damit ist die Entwicklung von Pressteilen mit lokal vorgegebenen Festigkeitseigenschaften möglich. Indem die Simulation die reale Festigkeitsverteilung im warmumgeformten Bauteil berücksichtigt, profitiert auch die Genauigkeit der Crashsimulation. AutoForm-ThermoSolver stellt die endgültigen Bauteileigenschaften wie Dickenverteilung und Spannungsverteilung sowie die Härte- und Martensitverteilung grafisch dar. Das gibt den Ingenieuren Einblick in die strukturelle Transformation des Materials und ermöglicht die Kontrolle darüber.

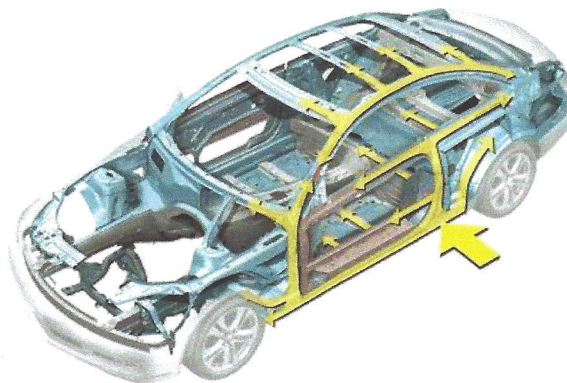


Träger von Frontstoßstangen, B-Säulen und mehr werden warm umgeformt und erhalten durch das Tailored Tempering Verfahren lokal vorgegebene Festigkeitseigenschaften.

130

Über AutoForm Engineering

AutoForm entwickelt und vertreibt Softwarelösungen für den Werkzeugbau sowie die Blechbearbeitungsindustrie und deckt hier die gesamte Prozesskette ab. Mehr als 200 hochqualifizierte Spezialisten arbeiten bei AutoForm und das Unternehmen gilt als der führende Anbieter von Software für die Absicherung der Produktherstellbarkeit, die Berechnung der Werkzeug- und Materialkosten, das Werkzeug-Design sowie die virtuelle Prozessoptimierung. Alle der 20 größten Automobilhersteller und die meisten ihrer Zulieferer setzen die Software von AutoForm ein. Der Hauptsitz des Unternehmens liegt in der Schweiz. Niederlassungen in Deutschland, den Niederlanden, Frankreich, Spanien, Italien, den USA, Mexiko, Brasilien, Indien, China, Japan und Korea unterstreichen die internationale Präsenz von AutoForm. In 15 weiteren Ländern sorgen lokale Vertriebspartner für die Nähe zum Kunden. Weitere Informationen über AutoForm sind unter www.autoform.com zu finden.



Durch entsprechende Konstruktion und Bauteile mit lokal unterschiedlichen Festigkeitseigenschaften wird die Aufprallenergie bei einem Unfall gezielt verteilt.

135