

1. Einleitung

Aufgrund der steigenden CO₂-Belastung ist die Reduzierung des Schadstoffausstoßes von Kraftfahrzeugen mehr denn je im Fokus der Automobilindustrie. Ein vielversprechender Lösungsansatz ist in diesem Kontext die Reduzierung des Gewichts der Karosserie. Abhängig vom Anforderungsprofil werden hierfür Stahl-, Aluminium- und Magnesiumwerkstoffe entwickelt und verwendet [1]. In Abb. 1 ist die Karosserie des Audi Q7 mit den genutzten Werkstoffen exemplarisch dargestellt.

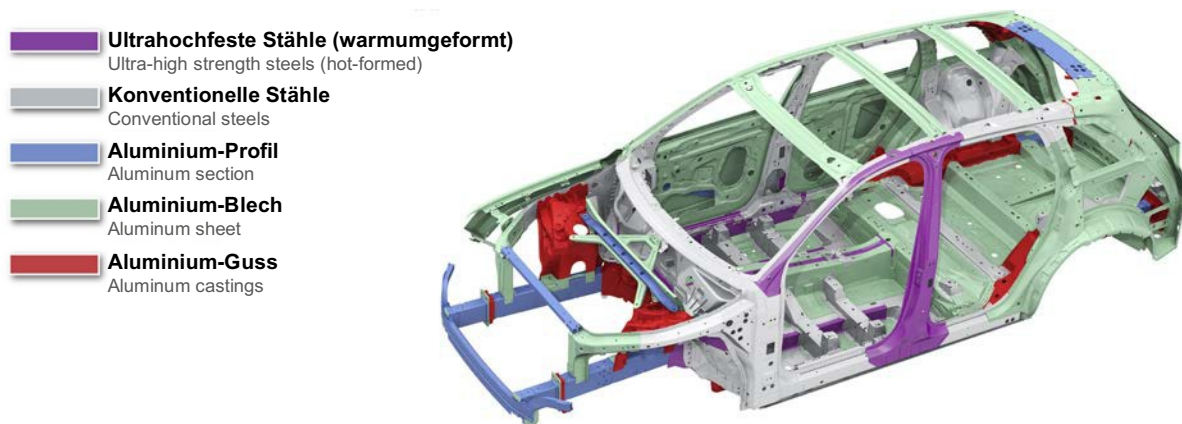


Abbildung 1: Werkstoffe in der Karosserie des Audi Q7 [2]

Speziell für die Herstellung sicherheitsrelevanter Strukturbauteile, wie zum Beispiel B-Säulen, werden höchstfeste Stähle mit dem sogenannten Presshärteverfahren hergestellt. Im Vergleich zu konventionell gefertigten Strukturbauteilen können durch die Kombination aus Warmumformung und Abschrecken Bauteile mit geringeren Blechstärken und höheren Festigkeiten hergestellt werden. Durch die Verwendung pressgehärteter Bauteile ist eine Gewichtseinsparung von bis zu 25 % möglich [3].

2. Geschichte des Presshärtens

Das Presshärten, auch als Formhärten bezeichnet, ist eine Verfahrenskombination aus gleichzeitiger Warmumformung und Härtung in einem Prozessschritt [4]. Das grundlegende Prinzip wurde vom schwedischen Stahlhersteller Norrbottens Järnverk AB im Jahr 1977 als Patent angemeldet [5]. Im Jahr 1984 verwendete der schwedische Hersteller SAAB AB als erster Automobilhersteller pressgehärtete Karosserieteile im Modell 9000 [6]. Seitdem wuchs die Bedeutung des Presshärtens von höchstfesten Stählen im Karosserieleichtbau stetig an. Während sich 1987 die Anzahl pressgehärteter Bauteile noch auf circa drei Millionen belief, stieg sie bis 2007 auf circa 107 Millionen Teile pro Jahr an [7]. Für das Jahr 2018 prognostizieren Experten einen Bedarf von 574 Millionen formgehärteter Bauteile in der Automobilindustrie [8]. Im Wesentlichen wird das Verfahren in die zwei Varianten direktes und indirektes Presshärten unterschieden. Neben dem konventionellen Presshärten existieren unterschiedliche Verfahrensstrategien des sogenannten partiellen Presshärtens, mit denen Bauteile mit maßgeschneiderten Eigenschaften hergestellt werden können [9]. Die jeweiligen Prozessschritte des direkten und indirekten Presshärtens sind in Abb. 2 dargestellt.

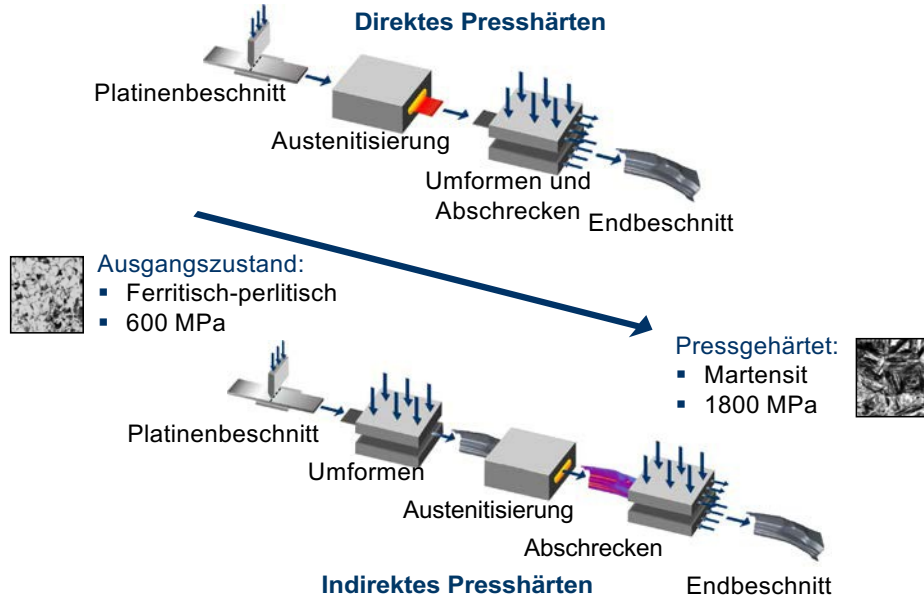


Abbildung 2: Prozessschritte des direkten und indirekten Presshärtens

3. Prozessbeschreibung

3.1. Direktes Presshärten

Beim direkten Presshärten werden überwiegend feueraluminierte Bor-Mangan-Stähle mit einer AlSi-Beschichtung verarbeitet [10]. Im Ausgangszustand besitzt der Bor-Mangan-Stahl 22MnB5 eine Zugfestigkeit von 600 MPa [4]. Nach dem Zuschnitt der Platine erfolgt die Wärmebehandlung im Ofen oberhalb der werkstoffspezifischen AC3-Temperatur von 850 °C. Bei dieser Temperatur wird das ferritisch-perlitische Ausgangsgefüge vollständig in Austenit umgewandelt [11]. In der Industrie werden in der Regel Ofentemperaturen von 900 °C bis 950 °C verwendet [4]. Die Haltezeit des Bauteils im Ofen ist abhängig von der Blechdicke sowie der Zusammensetzung der Beschichtung. Das Ziel ist dabei eine homogene Austenitisierung zu gewährleisten [12]. Nach der Wärmebehandlung im Ofen erfolgt der Transfer der Platine zur Presse, in der das Bauteil in einem kombinierten Prozessschritt umgeformt und gehärtet wird [4]. Die Transferzeit wird hierbei möglichst kurz gehalten, um die zu starke Auskühlung des Bauteils zu vermeiden [13]. Im Anschluss wird das Bauteil in einem Temperaturbereich oberhalb der Martensitstarttemperatur zwischen 850 °C und 650 °C umgeformt, bevor sich mit Beginn der Martensitbildung das Formänderungsvermögen des Werkstoffes signifikant verringert [14]. Während des Prozesses muss eine Abkühlrate von mindestens 27 K/s sichergestellt werden, damit ein vollständig martensitisches Gefüge ausgebildet wird. Dadurch werden Festigkeitssteigerungen auf bis zu 1500 MPa erreicht [4]. Das pressgehärtete Bauteil wird anschließend bei einer Resttemperatur von circa 150 °C entnommen. Abschließend wird das Bauteil mittels Laser- oder Hartschneiden auf die Endgeometrie zugeschnitten und bei Bedarf einer Oberflächenbehandlung unterzogen [14].

3.2. Indirektes Presshärten

Im Unterschied zum direkten Presshärten ist beim indirekten Verfahren ein konventioneller Kaltumformprozess vorgelagert [15]. In einem oder mehreren Tiefziehschritten wird die

zugeschnittene Platine zunächst im kalten Zustand auf 90 – 95 % der Endgeometrie vorgeformt [15]. Nach der anschließenden Austenitisierung im Ofen wird das Bauteil, wie beim direkten Presshärten, in einem kombinierten Kalibriervorgang in der Presse umgeformt und abgeschreckt [11]. Abschließend erfolgt der Endbeschnitt und die Oberflächenbehandlung des Bauteils [16]. Für die indirekte Variante des Presshärtens werden in der Regel feuerverzinkte Stähle verwendet [10]. Durch die zusätzlich vorgeschaltete Kaltumformung sind Bauteile mit komplexeren Geometrien als beim direkten, einstufigen Verfahren herstellbar [15]. Ein Nachteil des indirekten Presshärtens gegenüber des direkten Verfahrens besteht allerdings im zusätzlichen Prozessschritt, bedingt durch die vorgelagerte Kaltumformung [17].

3.3. Partielles Presshärten

Mit der Verfahrensvariante des partiellen Presshärtens sind Bauteile mit lokal maßgeschneiderten Eigenschaften herstellbar [18]. Hierbei kann generell zwischen zwei Strategien unterschieden werden, die auf ein funktionsoptimiertes partielles Härten der Halbzeuge während des Presshärteprozesses abzielen. Beim so genannten Tailored Tempering Prozess werden partiell beheizbare Werkzeuge eingesetzt. Durch die aktive Beheizung einzelner Werkzeugbereiche können die Abkühlraten lokal reduziert werden, um die Bildung des martensitischen Gefüges zu unterdrücken. Eine weitere Alternative ist die unterschiedliche Erwärmung des Bauteils während der Austenitisierung. Dabei werden bei der Wärmebehandlung des Bauteils nur bestimmte Bereiche austenitisiert, um nachfolgend partiell eine gute Restduktilität zu erzielen [18]. Konventionell pressgehärtete Bauteile weisen eine hohe Festigkeit auf und bieten höchstbelasteten Karosseriebereichen eine hohe Struktursteifigkeit. Jedoch besitzen diese Bauteile gleichzeitig ein geringes Deformationsvermögen. Im Crashfall können daher konventionell pressgehärtete Karosseriebauteile die Anforderungen an die Energieaufnahme unter Umständen nicht erfüllen. Die Crashperformance kann durch eine gezielte Integration von duktilen Bereichen mit geringeren Festigkeiten verbessert werden, da im Falle eines Zusammenpralls die Energie lokal durch plastische Deformation der duktileren Bauteilbereiche abgebaut wird [9].

4. Wesentliche Ergebnisse abgeschlossener FOSTA Projekte der Institute IFUM, IUL und LFT

Infolge des großen Interesses der Automobilindustrie und des stetig wachsenden Bedarfs an pressgehärteten Komponenten [2] ist das Verfahren seit einigen Jahren im Fokus der Wissenschaft und wird daher durch einige Projekte von der FOSTA gefördert. Im Folgenden werden ausgewählte Projektergebnisse vorgestellt.

4.1. P 644 - Auslegung des Prozessfensters für die Blechumformung höchstfester Vergütungsstähle bei erhöhten Temperaturen (LFT)

Im Rahmen des FOSTA-Projekts P644 wurden grundlegende Untersuchungen zum verbesserten Verständnis und der robusteren Auslegung des Presshärteprozesses durchgeführt. Bei der Ermittlung eines Prozessfensters für die obere und untere Austenitisierungsdauer wurde festgestellt, dass der Werkstoff unabhängig von Glühdauer und Aufheizgeschwindigkeit Härtewerte zwischen 480 und 514 HV10 aufweist. Entscheidend für die Bildung eines martensitischen Gefüges ist das Erzielen einer kritischen Abkühlgeschwindigkeit

von mindestens 27 K/s beim kombinierten Umformen und Abschrecken. Zur Ermittlung von prozessrelevanten Abschreckgeschwindigkeiten beim Presshärten wurde ein spezieller Versuchsaufbau konzipiert. Die Abkühlgeschwindigkeiten wurden sowohl für einseitigen, als auch zweiseitigen metallischen Kontakt untersucht. Zusätzlich wurde der Anpressdruck zwischen Platine und Werkzeug zwischen 0 und 40 MPa variiert. Durch einen inversen Vergleich mit der Finite-Elemente-Simulation wurden dann Wärmeübergangskoeffizienten bestimmt. Je nach applizierter Flächenpressung ergaben sich Werte zwischen 1000 und 5000 W/m²K. Zusätzlich wurde das temperatur- und dehnratenabhängige Fließverhalten des 22MnB5 durch konduktive Warmzugversuche in einer thermomechanischer Prüfmaschine vom Typ Gleeble 1500 ermittelt. Bei der prozessnahen Versuchsdurchführung, bestehend aus Aufheizphase, Austenitisierung, Abschrecken und anschließender Prüfung, wurde festgestellt, dass die Temperatur den größten Einfluss auf das Fließverhalten hat, während beispielsweise der Einfluss der Blechdicke vernachlässigbar ist. Zum Abpressen eines Demonstratorbauteils wurde das Werkzeug einer B-Säule der DaimlerChrysler AG verwendet. Während der experimentellen Durchführung der Umformversuche wurden Niederhalterabstand und Zuhaltezeit variiert. Die Versuche wurden anhand von Blechdicke, Härte und Thermografieaufnahmen ausgewertet. Dabei zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen der optisch gemessenen Temperaturverteilung und der resultierenden Härte der Bauteile. Des Weiteren erfolgte eine numerische Modellierung in LS-Dyna auf Basis der zuvor ermittelten Prozess- und Werkstoffkennwerte. Bei der anschließenden Validierung anhand der abgepressten Demonstratorbauteile zeigte sich eine hohe Übereinstimmung zwischen Experiment und Simulation.

4.2. P 709 - Presshärten von Tailor Welded Blanks (LFT)

Ein weiteres FOSTA-Projekt (P 709) hat sich mit der Realisierung funktionsoptimierter Bauteile mittels Tailor Welded Blanks beim Presshärten befasst. Auf Basis des Umwandlungs- und Umformverhaltens, sowie der mechanischen Eigenschaften nach dem Härten wurde als erstes ein geeigneter Fügepartner für den Vergütungsstahl 22MnB5 ermittelt. Neben einem mikrolegiertem Stahl wurden zusätzlich ein Kohlenstoff-Manganstahl und ein Dualphasenstahl untersucht. Mit einer Zugfestigkeit R_m zwischen 500 und 650 MPa und einer Restbruchdehnung A_{50} von mindestens 13 % erwies sich der mikrolegierte Stahl HX340LAD+AS150 als am geeignetsten. Um eine numerische Prozessauslegung zu ermöglichen, erfolgte eine ausführliche Charakterisierung des Fügepartners. Im Rahmen von konduktiven Warmzugversuchen wurde eine Abhängigkeit des Fließverhaltens von Temperatur und Dehnrate ermittelt. Im Vergleich zum 22MnB5 konnte eine Reduzierung des Einflusses der Umformgeschwindigkeit festgestellt werden. Die Untersuchung des Formgebungsvermögens des mikrolegierten Stahls durch Nakajimaversuche zeigte, dass sowohl 22MnB5 als auch HX340LAD+AS150 eine vergleichbare Formgebungsgrenze von $\varphi_1 = 0,4$ für ebene Dehnungen aufweisen. Ein weiterer Aspekt des Forschungsprojekts war die Untersuchung der Schweißnaht und des Nahtbereichs. Neben Härtemessungen und metallographischen Untersuchungen wurden zusätzlich Nakajima- und Zugversuche an geschweißten Proben durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass die Al-Si Beschichtung des 22MnB5 zur Bildung von harten und spröden intermetallischen Phasen im Nahtbereich führt. Im Rahmen der Zugversuche äußerte sich dies durch eine erhöhte Fließspannung verglichen mit unbeschichteten Tailor Welded Blanks. Ein Einfluss der intermetallischen Phasen auf das Formänderungsverhalten nach der Härtung konnte nicht

festgestellt werden. Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen wurde eine Finite-Elemente Simulation zur Analyse von presshärtbaren Tailor Welded Blanks erstellt. Dabei lag der Fokus auf der Vorhersage von Ort und Ursprung des Bauteilversagens. Zur Validierung der Simulation wurde eine Mini B-Säule als Demonstratorbauteil bei der Audi AG abgepresst. Im Rahmen der Umformversuche zeigte sich, dass ein Versagen des Bauteils in den simulativ detektierten, versagenskritischen Bereichen der Grundwerkstoffe auftritt. Unabhängig von der Lage der Schweißnaht erfolgte zu keinem Zeitpunkt eine Rissinitiierung im Nahtbereich.

4.3. P 871 - Charakterisierung und Beschreibung der Reibverhältnisse beim Presshärten und partiellen Presshärten von höchstfesten Vergütungsstählen (LFT)

Weitere grundlegende Untersuchungen bezüglich der tribologischen Bedingungen beim Presshärten, welche aufgrund hoher mechanischer-thermischer Beanspruchung großen Einfluss auf das Umformverhalten haben, wurden im FOSTA-Projekt P 871 durchgeführt. Das Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, eine funktionale Beschreibung der Reibbedingungen in Abhängigkeit der Prozessparameter beim Presshärten zu entwickeln, um die Vorhersagegenauigkeit sowie die Robustheit der Prozessauslegung zu verbessern. Darüber hinaus sollte das Prozessverständnis in Bezug auf die tribologischen Bedingungen beim Presshärten erweitert werden. Zur Charakterisierung der Reibbedingungen beim Presshärten wurde eine Warmstreifenziehanlage am LFT entwickelt und aufgebaut. Mithilfe dieser Anlage wurden Streifenziehversuche unter Presshärtebedingungen durchgeführt und der Einfluss der Prozessparameter Werkzeug- sowie Werkstücktemperatur, Flächenpressung und Geschwindigkeit auf die Reibung erforscht. Die Ergebnisse der Untersuchungen haben gezeigt, dass mit steigenden Werkstück- sowie der Werkzeugtemperaturen eine geringere Reibung einhergeht. Diese Reibungsreduzierung beruht auf einer Reduzierung der Fließspannung des Werkstückwerkstoffs bei hohen Temperaturen, wodurch die Rauheitsspitzen der Werkstückoberflächen leichter eingeglättet werden. Mit steigenden Flächenpressungen wurden ebenfalls geringere Reibzahlen gemessen, solange das Belastungskollektiv aus Temperatur, Geschwindigkeit und Flächenpressung nicht zu einer plastischen Deformation des Streifens führte. Eine mögliche Ursache hierfür ist die gestiegene Wärmeübertragung aufgrund höherer Flächenpressungen, sodass in der Wirkfuge höhere Temperaturen herrschen. Darüber hinaus führte eine Erhöhung der Abziehgeschwindigkeit zu einer Reibungsreduzierung. Dies wird durch die Zeitabhängigkeit der Adhäsion und dem damit verbundenen Ausmaß des Materialtransfers von Werkstück zu Werkzeug begründet. Darüber hinaus führt ein längerer Kontakt zwischen Werkzeug und Werkstück zu geringeren Temperaturen in der Kontaktzone, woraus ebenfalls höhere Reibung resultiert. Auf Basis der experimentellen Untersuchungen wurde im Anschluss ein prozessparameterabhängiges Reibmodells entwickelt und an einer Rundnapfgeometrie für unterschiedliche Umformgeschwindigkeiten verifiziert. Mithilfe der entwickelten Reibmodellierung konnte die Blechausdünnung sowie der Verlauf der Umformkraft mit hoher Genauigkeit numerisch abgebildet werden, wodurch die Genauigkeit der Prozessauslegung erhöht werden konnte.

4.4. P 902 - Presshärten von Rohren und Profilen mittels formlos fester Stoffe (IUL)

Das Projekt P902 beschäftigte sich mit der Kombination von Innenhochdruckumformung und Presshärten. Ziel des Projektes war es zu zeigen, dass kompressible Gase zur

Druckübertragung durch nahezu inkompressible granulare Medien ersetzt werden und somit Rohre in einen Innenhochdruckumformprozess pressgehärtet werden können. Als granulare Medien wurden, neben Quarzsand, keramische Kugeln hoher Härte mit Durchmessern von 0,09 mm bis hin zu 1,6 mm gewählt. In Abhängigkeit der Granulatgeometrie konnten verschiedene Effekte identifiziert werden. Ist die Druckfestigkeit des Medium zu gering, wird der Durchmesser des Granulats durch Brechen verkleinert. Diese kleinen Partikeln können weitere Lücken schließen, was schließlich zu einer starken Kompaktierung des Mediums führt. Medien mit hoher innerer Reibung führen zu einer schlechten Kraftübertragung und können somit nur einen eingeschränkten Bereich des Profils durch Innendruck umformen. Durch die richtige Wahl des Mediums konnten Bauteile erfolgreich umgeformt werden.

4.5. P 1065 - Werkzeugintegrierte Temperaturmessung für das Presshärten (IFUM)

Beim Formhärten hat die Temperaturführung der Bauteile während des Fertigungsprozesses einen entscheidenden Einfluss auf die resultierenden mechanischen Eigenschaften. Die Überwachung der Bauteiltemperatur während des Abschreckvorgangs kann somit einen wesentlichen Beitrag zur Qualitätssicherung leisten. Das Ziel des Forschungsvorhabens „Werkzeugintegrierte Temperaturmessung für das Presshärten“ ist die Realisierung der Temperaturmessung im Formhärtezeug, ohne Beeinflussung der Werkstückeigenschaften. Hierfür wurde auf Basis der Dünnschichttechnologie ein taktiler Temperatursensor entwickelt. Um eine wirtschaftliche Standzeit der Sensoren zu gewährleisten wurde die Sensoroberfläche mit einer verschleißfesten Schutzschicht versehen, welche den thermischen und mechanischen Belastungen dauerhaft standhält. In Verschleißversuchen konnte für diese Anwendung die Oxidkeramik Al₂O₃ als geeignet identifiziert werden. Durch die Auswahl eines geeigneten Basismaterials sowie die Entwicklung einer Sensorkontaktierung außerhalb des mechanisch belasteten Bereiches, konnte nachweislich vermieden werden, dass ein Einsatz der Sensoren die mechanischen Werkstückeigenschaften negativ beeinflusst. Das angewendete Einbauprinzip ermöglicht es zudem die Sensoren unter geringem Zeit- und Kostenaufwand zu montieren und gewährleistet nach erfolgreicher Kalibrierung insbesondere im Temperaturbereich zwischen Raumtemperatur und 400 °C eine hohe Genauigkeit. Dabei wird die Einsatzfähigkeit der Sensoren auch bei Werkzeugtemperaturen von bis 150 °C nicht eingeschränkt. Dies ermöglicht es, insbesondere unter Berücksichtigung der im Serienprozess ansteigenden bzw. variierenden Werkzeugtemperatur, die Taktzeit während des Serienbetriebs durch eine spezifische Anpassung des Bauteilentnahmezeitpunktes zu optimieren. Durch die gleichzeitige Realisierung einer Bauteil-Vollkontrolle ermöglicht dies den Produktionsprozess wirtschaftlicher zu gestalten und trägt weiterhin zu einem ressourcenschonenden Umgang mit Rohstoffen bei.

5. Wesentliche Ergebnisse zu den laufenden FOSTA Projekten der Institute IFUM, IUL und LFT

5.1. P 1222 - Warmbeschnitt von kohlenstoffmartensitischen Chromstählen in mehrstufigen Prozesse (IFUM)

Die Verwendung von kohlenstoffmartensitischen Chromstählen bietet einen vielversprechenden Ansatz die Leichtbaugüte von Strukturbauteilen weiter zu optimieren. Infolge der sehr geringen kritischen Abkühlraten der Chromstahllegierungen resultiert beim Warmumformprozess stets ein martensitisches Gefüge. Prinzipiell ergeben sich daraus zwei Optimierungspotentiale bei der Verarbeitung von Chromstählen. Zum einen kann der Warmumformprozess verkürzt und somit

eine Kostensenkung erzielt werden. Zum anderen ist eine Realisierung eines mehrstufigen Prozesses möglich, wobei die Folgeoperation z.B. ein Warmbeschnitt des Bauteils noch im austenitischen Zustand erfolgen kann. Derzeit liegen bezüglich des Warmbeschnitts von Blechteilen aus Chromstählen und den dazugehörigen Prozessparametern nur wenige Erfahrungen vor. Die wesentliche Motivation des Forschungsprojekts besteht darin, optimale Parameterkombinationen für den Warmeschneidprozess zu ermitteln, welche einen Beschnitt der Bauteile mit guter Qualität bieten. Zudem werden mittels Abbildung einer zweistufigen Prozesskette aus Warmbeschnitt und -umformung neuartige Bearbeitungsmöglichkeiten im Bereich des Beschnitts von Bauteilen mit komplexen Geometrien aus Chromstählen analysiert. Dabei ist die Einbeziehung der Auswirkungen der Umformoperation auf das Schnittergebnis geplant. Hier stehen insbesondere der Einfluss der Dehnung auf die Schnittflächenqualität sowie das Warmaufweitvermögen der Schnittfläche im Vordergrund. Für Bauteile aus Chromstahl wird darüber hinaus geklärt, inwieweit sich der Anlassprozess auf die Qualität der Schnittfläche auswirkt. Die ermittelten Forschungsergebnisse tragen in der Industrie, insbesondere auch bei den KMU, die selbst keine hohe Forschungsleistung erbringen können, zur Akzeptanz einer neuen Fertigungstechnologie bei. Die Möglichkeit zum Warmbeschnitt von Bauteilen aus Chromstählen stellt einen entscheidenden Vorteil für KMU dar, die bislang über keine Laserschneidanlagen verfügen. Mit dem neuen Verfahren kann auch dieses Bauteilspektrum mit vertretbaren Aufwendungen abgedeckt werden.

5.2. P 1228 - Werkzeugseitige Beeinflussung der tribologischen Bedingungen beim Presshärten (LFT)

Ein weiterer Ansatz, um die Attraktivität des Presshärteprozesses für die Industrie zu erhöhen, besteht darin den Prozess wirtschaftlich effizienter zu gestalten. In diesem Kontext nehmen eine effiziente Prozessauslegung sowie die Standmenge von Presshärtewerkzeugen eine zentrale Rolle ein. Durch eine exakte Abbildung der tribologischen Bedingungen können Produktentwicklungszeiten erheblich verringert und kostspielige Nachbearbeitungen von Presshärtewerkzeugen vermieden werden. Ein weiterer zentraler Kostenfaktor ist die Standmenge von Presshärtewerkzeugen, welche maßgeblich durch adhäsiven Verschleiß limitiert wird. Das Ziel dieses Forschungsprojektes ist es daher, die Wirkzusammenhänge zwischen Werkzeugwerkstoff sowie Werkzeugoberfläche und den tribologischen Bedingungen zu analysieren, um Maßnahmen zur Reduzierung des Werkzeugverschleißes beim Presshärten abzuleiten. Darüber hinaus soll eine bestehende Reibungsmodellierung um den werkzeugseitigen Einfluss erweitert werden. In ersten Untersuchungen wurde das tribologische Verhalten von unterschiedlichen Werkzeugwerkstoffen sowie Werkzeugoberflächen in Streifenziehversuchen unter Presshärtebedingungen untersucht. Bei der Auswertung des Reib- und Verschleißverhaltens wurde ein Einfluss der thermischen Leitfähigkeit, der Oberflächenhärte sowie der chemischen Zusammensetzung auf das Reib- und Verschleißverhalten festgestellt. In darauf aufbauenden Untersuchungen sollen die funktionalen Zusammenhänge zwischen den identifizierten Einflussfaktoren und dem tribologischen Einsatzverhalten analysiert werden, um langfristig Ursache-Wirkzusammenhänge zwischen den Werkzeugeigenschaften und dem resultierenden Reib- und Verschleißverhalten abzuleiten.

5.3. P 1238 - Lokale Werkstoffbeeinflussung beim Formhärten zur Verbesserung der Fügbarkeit von Bauteilen aus 22MnB5 (IFUM)

Im Karosseriebau werden formgehärtete Bauteile zunehmend mittels Widerstandspunktschweißens mit den weiteren Komponenten gefügt. Bei Verbindungen mit Außenhautblechen kommt es aufgrund der ungleichen Materialdickenkombination zu einer erschwerten Anbindung des Außenhautteils mit den Strukturbauteilen und erhöht so den Ausschuss. In dem Projekt „Lokale Werkstoffbeeinflussung beim Formhärten zur Verbesserung der Fügbarkeit von Bauteilen aus 22MnB5“ wird deshalb eine punktuelle Einstellung des Gefüges während des Umformens mittels eines modifizierten Werkzeugsystems untersucht. Dazu wird ein Bereich lokal ausgedünnt, um somit die Fügbarkeit zu verbessern. Aufgrund der erhöhten Deformation wird in diesen Zonen die Ferritbildung begünstigt, womit neben thermischen ebenfalls mechanische Fügeverfahren einsetzbar werden. In ersten Untersuchungen wurde die Auswirkung einer plastischen Deformation des Austenits auf das resultierende Gefüge nach dem Härten von 22MnB5 analysiert. Hierzu wurden temperierte Schichtstauchversuche in einem Abschreck- und Umformdilatometer durchgeführt, um den Einfluss einer Umformung bei verschiedenen Spannungszuständen zu untersuchen. Die Proben wurden zunächst mit 15 K/s auf 930 °C erwärmt und für 6 min gehalten, um eine vollständige Austenitisierung zu gewährleisten. Anschließend wurden die Proben mit 15 K/s auf 700 °C abgekühlt und mit einer Umformgeschwindigkeit $\dot{\phi}$ von 0,2 s⁻¹ umgeformt. Anschließend erfolgte die Abkühlung mit 30 K/s. Zusätzlich wurde eine Probe als Referenz ohne Umformung wärmebehandelt. Die in Abb. 3 dargestellten Mikroschliffbilder einer thermo-mechanisch behandelten Schichtstauchprobe zeigen deutlich, dass durch die bei 700 °C eingebrachte Verformung die Phasenumwandlung während der anschließenden Abkühlung stark beeinflusst wurde. Die nicht umgeformte Probe (links) zeigt ein martensitisches Gefüge, wohingegen sich bei den umgeformten Proben (mitte) ein ferritisch-bainitisches Gefüge mit Martensitanteilen gebildet hat. Mit zunehmendem Umformgrad (rechts) ist eine weitere Abnahme des Martensit- und Bainitanteils und die Zunahme von Ferrit und Perlit zu erkennen.

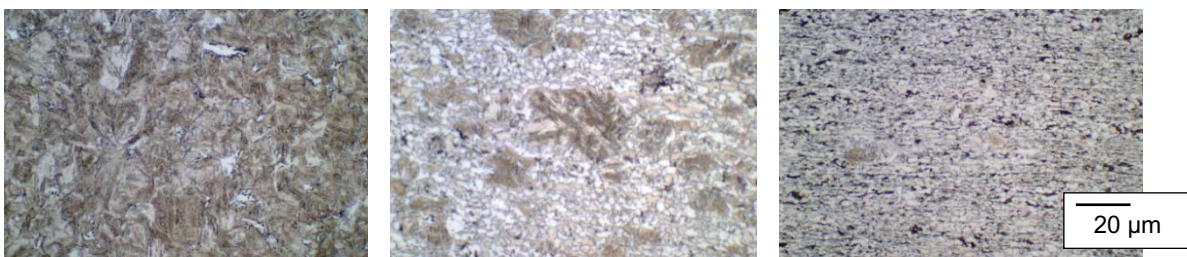


Abbildung 3: Schliffbilder aus dem Schichtstauchversuch nach der Wärmebehandlung; Links: nicht umgeformte Referenzprobe; Mitte: Umformung mit $\dot{\phi} = 0,2$; Rechts: Umformung mit $\dot{\phi} = 0,4$ (1000-fache Vergrößerung)

6. Bestehender Forschungsbedarf

Aktuelle Herausforderungen im Bereich des Presshärtens sind unter anderem die genaue Vorhersage des Wärmeübergangs zwischen Werkstück und Werkzeug zur verbesserten Vorhersage der finalen Bauteileigenschaften sowie die Entwicklung neuer Legierungskonzepte zur Erweiterung der einstellbaren mechanischen Eigenschaften und Verbesserung der Prozessrobustheit.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Merklein, M.: Charakterisierung von Blechwerkstoffen für den Leichtbau. Meisenbach, 2006
- [2] Audi: www.audi-mediacyber.com/de/fotos/detail/audi-q7-5099. Zugriff: 07.02.2019
- [3] Klempert, O.: Warmumformung bringt neuen Schub für die Fertigung bei VW. <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Wirtschaft/Warmumformung-bringt-neuen-Schub-fuer-Fertigung-VW>. Zugriff: 25.10.16
- [4] Merklein, M.; Lechler, J.: Investigation of the thermo-mechanical properties of hot stamping steels. *Journal of Materials Processing Technology* 177. 1-3 (2006), S. 452–455
- [5] Ridderstråle, C.-E.: Manufacturing a hardened steel article. GB1490535 (A). Norbottens Jaernverk AB, Schweden, 1974
- [6] Burglund, G.: The history of hardening of boron steel in northern Sweden. In: Steinhoff, K.; Oldenburg, Mats, Braham Prakash (Hrsg.): *Proceedings of the 1st International Conference on Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel*. Bad Harzburg, 2008, S. 175–177
- [7] Karbasian H.; Tekkaya A.E.: A review on hot stamping. *Journal of Materials Processing Technology* 210 (2010), S. 2103–2118
- [8] Schuler Pressen GmbH: Formhärten mit PCH Flex - Flexibel, Effizient, Produktiv
- [9] Feuser, P.: Simulation eines partiellen Presshärteprozess unter Berücksichtigung thermomechanischer und metallurgischer Zusammenhänge. In: Merklein, M. (Hrsg.): 6. Erlanger Workshop Warmblechumformung. Meisenbach. Bamberg, S. 37–57
- [10] Dick, P.; Schweiker, T.; Mattes, U. et al.: Warmumformung bei Daimler - Ein heiß diskutiertes Verfahren. In: Merklein, M. (Hrsg.): 3. Erlanger Workshop Warmblechumformung. Meisenbach. Bamberg, 2008, S. 41–55
- [11] Merklein, M.; Lechler, J., Stoehr, T.: Characterization of tribological and thermal properties of metallic coatings for hot stamping boron-manganese steels. *Proceedings of the 7th International Conference Coatings in Manufacturing Engineering* (2008), S. 219–228
- [12] Kolleck, R.; Veit, R.; Merklein, M. et al.: Investigation on induction heating for hot stamping of boron alloyed steels. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 58. 1 (2009), S. 275–278
- [13] Karbasian, H.; Trompeter, H.; Brosius, A. et al.: Einfluss der Prozessführung auf die Eigenschaften pressgehärteter Bauteile. In: Merklein, M. (Hrsg.): 5. Erlanger Workshop Warmblechumformung. Meisenbach. Bamberg, S. 103–118
- [14] Wilsius, S.; Hein, P.; Kefferstein, R.: Status and future trends of hot stamping of USIBOR 1500 P. In: Geiger, M. (Hrsg.): 1. Erlanger Workshop Warmblechumformung. Meisenbach. Bamberg, S. 82–101

- [15] Naganathan, A.; Penter, L.: Hot Stamping. In: Tekkaya, A.; Altan, T. (Hrsg.): Sheet metal forming. ASM International. Materials Park, Ohio, 2012, S. 133–156
- [16] Lechler, J.: Beschreibung und Modellierung des Werkstoffverhaltens von presshärtbaren Bor-Manganstählen, Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität. Erlangen-Nürnberg, 2009
- [17] Feuser, P.: Ein Ansatz zur Herstellung von pressgehärteten Karosseriekomponenten mit maßgeschneiderten mechanischen Eigenschaften, Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität. Erlangen-Nürnberg, 2012
- [18] Feuser, P.; Schweiker, T.: Tailored Tempered Parts - Presshärtbauteile mit maßgeschneiderten Eigenschaften. Merklein, M. (Hrsg.): 3. Erlanger Workshop Warmblechumformung, Bamberg: Meisenbach (2009). S. 127 – 142