

Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Einfluss von Prozessparametern auf die Schnittkantenqualität beim Scherschneiden des Dualphasenstahls DPX1000

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens, Dr.-Ing. Richard Krimm, Dipl.-Ing. Milan Vucetic, Dipl.-Ing. Christian Bonk^b, Dipl.-Ing. Tobias Hasselbusch^a

Leibniz Universität Hannover, Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen,
An der Universität 2, 30823 Garbsen, Deutschland

^ahasselbusch@ifum.uni-hannover.de

^bbonk@ifum.uni-hannover.de

Schlagwörter: Scherschneiden, Schnittkantenqualität, Scherschneidsimulation, Dualphasenstahl

Kurzfassung:

Ein immer weiter steigendes Anforderungsprofil an technische Produkte erfordert den Einsatz neuer leistungsfähiger Werkstoffe. Ein Beispiel für einen solchen Werkstoff ist der Dualphasenstahl DPX1000, der besonders in der Automobilindustrie zum Einsatz kommt. Der Werkstoff weist neben einer hohen Festigkeit auch eine gute Korrosionsbeständigkeit auf. Am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover wurden Scherschneidversuche mit dem Stahlwerkstoff DPX1000 durchgeführt, um den Einfluss von Prozessparametern wie dem relativen Schneidspalt, der Kantengeometrie des Schneidstempels und der Hubzahl auf die Qualität der Schnittkanten zu untersuchen. Weiterhin wurden Simulationen zur numerischen Ermittlung der Abhängigkeit der Schnittkantengeometrie von den Prozessparametern durchgeführt und mittels der experimentellen Untersuchungen validiert.

Einführung

Neue leistungsfähige Werkstoffe spielen aufgrund des steigenden Anforderungsprofils an technische Produkte eine immer wichtigere Rolle in unterschiedlichen Bereichen der Industrie. Im Automobilbau besteht zum Beispiel ein ständiges Bestreben Gewicht einzusparen sowie die Unfallsicherheit zu steigern. Insbesondere eine hohe Festigkeit und ein geringes Gewicht von Werkstoffen sind dabei ausschlaggebende Kriterien, um die Wettbewerbsfähigkeit der Produkte zu steigern. Ein Beispiel für einen neuen leistungsfähigen Werkstoff ist der Dualphasenstahl DPX1000, der insbesondere eine hohe Festigkeit und eine gute Korrosionsbeständigkeit aufweist.

In fast jeder Prozesskette zur umformtechnischen Herstellung von Bauteilen kommt ein Trennverfahren zur Anwendung. Das Scherschneiden ist aufgrund der hohen Produktivität das am häufigsten eingesetzte Verfahren [1]. Das Spektrum der mittels Scherschneiden hergestellten Bauteile reicht von kleinen Komponenten für elektronische Bauelemente bis hin zu großflächigen Teilen für Fahrzeuge. Besonders die Qualität der Scherflächen spielt eine wichtige Rolle, um die Anforderungen an die Bauteile zu erfüllen. Die Beurteilung der Schnittkantenqualität erfolgt zum einen aufgrund der Maßgenauigkeit der Schnittlinie und zum anderen mittels Kenngrößen der Schnittkanten. Die Bedeutung der einzelnen Schnittkantenkenngrößen auf die Qualität der Schnittkante kann jedoch nicht allgemein angegeben werden, sondern wird anhand des Einsatzgebietes des Bauteils bestimmt. Eine gute Schnittkantenqualität ist gekennzeichnet durch einen hohen Glattschnittanteil, einen möglichst geringen Kanteneinzug, eine kleine Bruchfläche, einen geringen Bruchflächenwinkel sowie einen minimalen Schnittgrat [2]. Die erreichte Schnittkantenqualität ist dabei von Werkstoff-, Werkzeug- und Prozessparametern abhängig.

Die Schnittkantenkenngrößen beim Scherschneiden sind in der VDI-Richtlinie 2906 definiert [3] (Abbildung 1, links). Die Ermittlung der Kenngrößen einer Schnittkante erfolgt üblicherweise mittels Schlibbild (Abbildung 1, rechts).

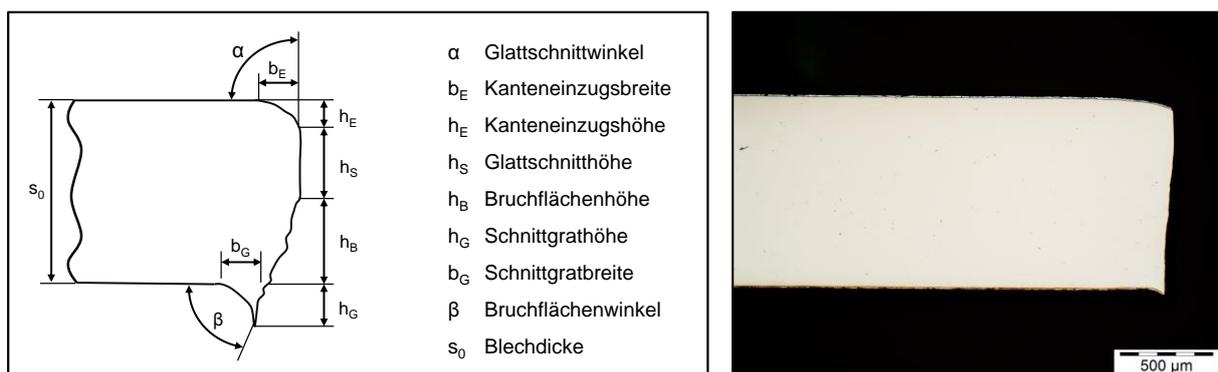


Abbildung 1: Schnittkantenkenngrößen beim Scherschneiden nach VDI-2906 [3] (links), Schlibbild (rechts)

Am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover wurden Scherschneidversuche mit dem Dualphasenstahl DPX1000 durchgeführt, um den Einfluss von Prozessparametern wie dem relativen Schneidspalt, der Kantengeometrie des Schneidstempels und der Hubzahl auf die Qualität der Schnittkante zu untersuchen. Dafür wurde ein modulares Schneidwerkzeug entwickelt, das eine einfache und kostengünstige Parametervariation erlaubt. Darüber hinaus wurden umfangreiche Materialcharakterisierungsversuche zur Parametrisierung eines Simulationsmodells durchgeführt. Das Simulationsmodell wurde zur Ermittlung der Schnittkantenkenngrößen und der Kraft-Zeit-Verläufe eingesetzt und mittels der experimentellen Schneidversuche validiert. Nachfolgend werden die Eigenschaften des Stahlwerkstoffs, die Vorgehensweise bei der Versuchsdurchführung, die Versuchs-

ergebnisse sowie das Simulationsmodell des Scherschneideprozesses gezeigt und näher erläutert.

Eigenschaften des Stahlwerkstoffs DPX1000

Der eingesetzte Versuchswerkstoff DPX1000 ist ein hochfester feuerverzinkter Dualphasenstahl, der eine gute Korrosionsbeständigkeit aufweist. Der Werkstoff findet in der Automobilindustrie aufgrund der hohen Festigkeit und guten Lackierbarkeit eine breite Anwendung. Dualphasenstähle sind kaltgewalzte Stähle, deren Gefüge aus einer zweiphasigen Mikrostruktur, Ferrit und Martensit, besteht. Der Gefügebestandteil Ferrit ist sehr weich und trägt damit zu einer guten Umformbarkeit bei. Der Martensitgehalt hingegen steigert die Zugfestigkeit des Stahls. Der Werkstoff DPX1000 besitzt eine Zugfestigkeit von 1000 MPa. Abhängig vom Anwendungsfall ist eine Erzeugung von Dualphasenstählen mit unterschiedlicher Streckgrenze möglich.

Die benötigte Schneidkraft beim Scherschneiden ist proportional zur Festigkeit des Stahlblechs. In Abbildung 2 ist dieser Einfluss des Werkstoffs auf den Kraftverlauf zu sehen. Dort sind die beim Scherschneiden aufgezeichneten Kraftverläufe der Stahlwerkstoffe DPX1000 und DC04 (Blechstärke 1 mm) gegenübergestellt. Das Schneiden des Tiefziehstahls DC04 erfolgt dabei unter einer geringeren Schneidkraft als beim hochfesten Dualphasenstahl. Die längere Aufrechterhaltung der Schneidkraft beim Scherschneiden des Werkstoffs DC04 ist mit der Ausbildung eines größeren Kanteneinzugs und einem höheren Glattschnittanteils an der Schnittkante zu erklären.

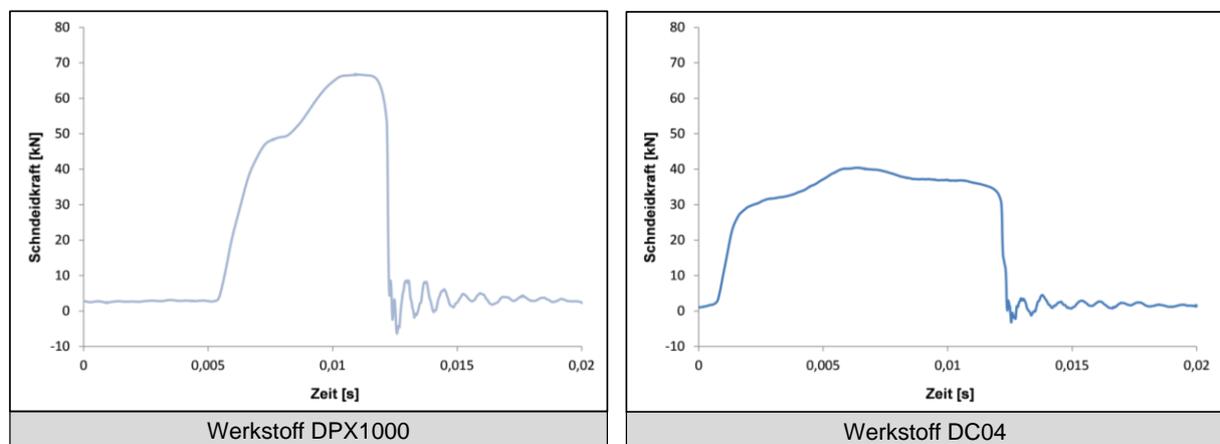


Abbildung 2: Kraftverläufe der Werkstoffe DPX1000 (links) und DC04 (rechts)

Werkzeugkonstruktion und -bau

Für die Durchführung der Scherschneiduntersuchungen wurde ein Schneidwerkzeug auf Basis eines Vier-Säulen-Führungsgestells konstruiert und gebaut (Abbildung 3, links). Das Gestell des Werkzeugs besteht aus den drei Ebenen: Kopfplatte, Niederhalterplatte und Grundplatte. Eingebaute Gleitbuchsen ermöglichen eine lineare Bewegung der Ebenen entlang der vier Führungssäulen. Der größte Vorteil eines

Werkzeugs mit Säulenführung ist der einfache und schnelle Einbau in die Presse, da die relative Lage der Matrize und des Stempels bereits beim Zusammenbau des Werkzeugs fixiert wird. Zudem werden Werkzeug- und Verschiebelagefehler reduziert [4].

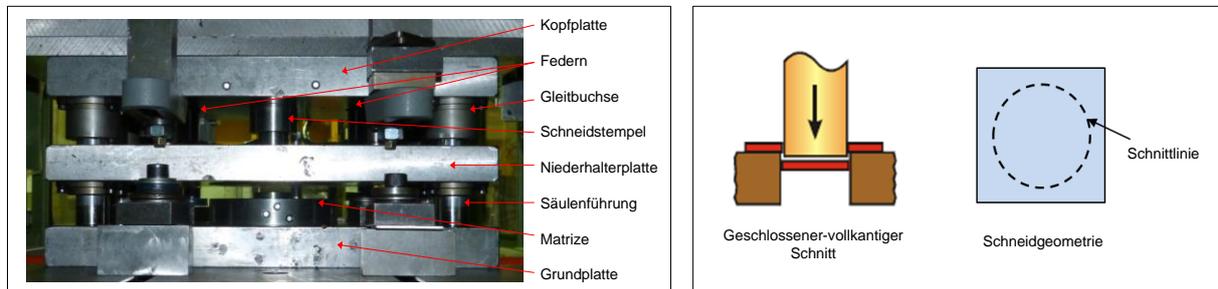


Abbildung 3: Schneidwerkzeug in der Umformmaschine (links), Schneidverfahren (rechts)

Als Schneidverfahren wurde ein geschlossener vollkantiger Schnitt mit einem Stempeldurchmesser von 35 mm gewählt (Abbildung 3, rechts). Das Schneidwerkzeug ist in modularer Bauweise mit geteiltem Stempel und Matrize ausgeführt, die einen schnellen Austausch der Aktivschneidelemente ohne eine komplette Zerlegung des Werkzeugs ermöglicht. Somit besteht die Möglichkeit einer kostengünstigen Variation der Prozess- und Werkzeugparameter, da lediglich Schneidstempel- bzw. Matrizenaufsätze getauscht werden müssen, um unterschiedliche Schneidspalte und Schneidkantengeometrien zu realisieren. Umgesetzt wurden relative Schneidspalte von 5 %, 10 % und 15 %, die den praxisrelevanten Bereich widerspiegeln. Neben scharfkantigen Schneidstempeln erfolgte zudem der Einsatz von Schneidstempel mit verrundeten Kanten ($R = 0,5 \text{ mm}$), um einen Verschleiß nachzubilden, da dieser ebenfalls einen Einfluss auf das Scherschneidergebnis hat.

Zur Aufzeichnung von Prozesskräften erfolgte eine Integration einer Kraftsensorik in das Schneidwerkzeug. Hierfür wurde ein Kraftmessring im direkten Kraftfluss zwischen Stempel und Kopfplatte im Werkzeug integriert.

Durchführung von Scherschneidversuchen

Die Scherschneidversuche wurden unter Verwendung einer Exzenterpresse vom Typ Haulick+Roos RSH 630-1000 durchgeführt (Abbildung 4, links). Beim Scherschneiden ist die erreichte Schnittkantenqualität vom Werkstoff, dem Werkzeug und den Prozessparametern abhängig. Für die Schneiduntersuchungen wurden daher die Versuchsparameter aus Abbildung 4 festgelegt. Zur Vorbereitung der Schneidversuche wurden quadratische Versuchsproben aus dem Stahlwerkstoff DPX1000 (Blechstärke 1mm) angefertigt.



| Versuchsparameter | Variationswert |
|----------------------------|--|
| Werkstoff | DPX1000 |
| Blechstärke [mm] | 1 |
| Relativer Schneidspalt [%] | 5 |
| | 10 |
| | 15 |
| Stempelkantengeometrie | scharfkantig verrundet (R = 0,5 mm) |
| Hubzahl [Hub/min] | 30 |
| | 115 |
| | 200 |

Abbildung 4: Exzenterpresse RSH 630-1000 (links), Versuchsparameter (rechts)

Die Scherschneidversuche erfolgten unter Aufnahme des Kraftverlaufs in Form von Einzelschnitten, bei denen Schnitte mit jeder möglichen Kombination der vorher festgelegten Parameter also relativem Schneidspalt, Stempelkantengeometrie und Hubzahl durchgeführt wurden. Mit jeder Parametereinstellung wurden fünf Proben zum Zweck der statistischen Absicherung geschnitten.

Auswertung der Schneidversuche

Unmittelbar nach der Durchführung der Schneidversuche erfolgte eine Untersuchung der Schnittteile hinsichtlich ihrer Schnittkantengeometrie nach VDI 2906. Aufgrund des Probenumfangs wurde für die Messung der Schnittkanten eine am IFUM entwickelte Laser-Messvorrichtung eingesetzt (Abbildung 5, links) [5]. Die Ergebnisse dieser Messmethode unterscheiden sich nur unwesentlich von konventionellen Schliffbildern (vgl. Abbildung 5, rechts).

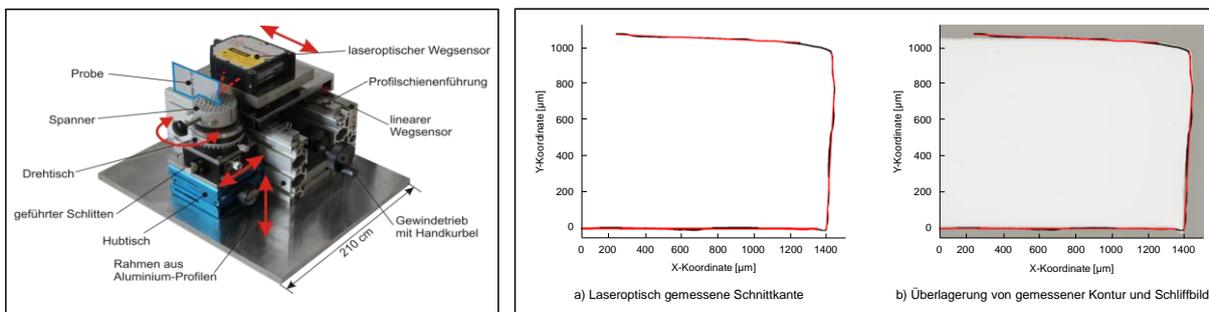


Abbildung 5: Laser-Messvorrichtung (links) [5], Vergleich zwischen laseroptische Schnittkantenmessung und Schliffbild (rechts)

Der relative Schneidspalt beim Scherschneiden des Werkstoffs DPX1000 wirkt sich am stärksten auf die Qualität der Schnittkanten aus. Die Vergrößerung des relativen Schneidspalts hat insbesondere eine Zunahme des Kanteneinzugs, des Bruchflächenwinkels und des Grats zur Folge. Der ermittelte Glattschnittanteil der Versuchsproben schwankt allerdings aufgrund der Sprödigkeit des Werkstoffs sehr stark, da der Übergang zwischen Glattschnitt- und Bruchfläche bei der Versuchsauswertung schwer zu ermitteln ist (vgl. Abbildung 15). In Abbildung 6 ist die Erhöhung des

Schneidspalts exemplarisch an zwei Schnittkanten des Dualphasenstahls dargestellt. Die Proben wurden bei einem relativen Schneidspalt von 5 % und 15 % bei sonst identischen Versuchsparametern geschnitten. Speziell der kleinere Bruchflächenwinkel sowie die geringere Kanteneinziehungshöhe und –breite der mit einem relativen Schneidspalt von 5 % geschnittenen Versuchsproben sind ein Indikator für die höhere Qualität dieser Schnittkante.

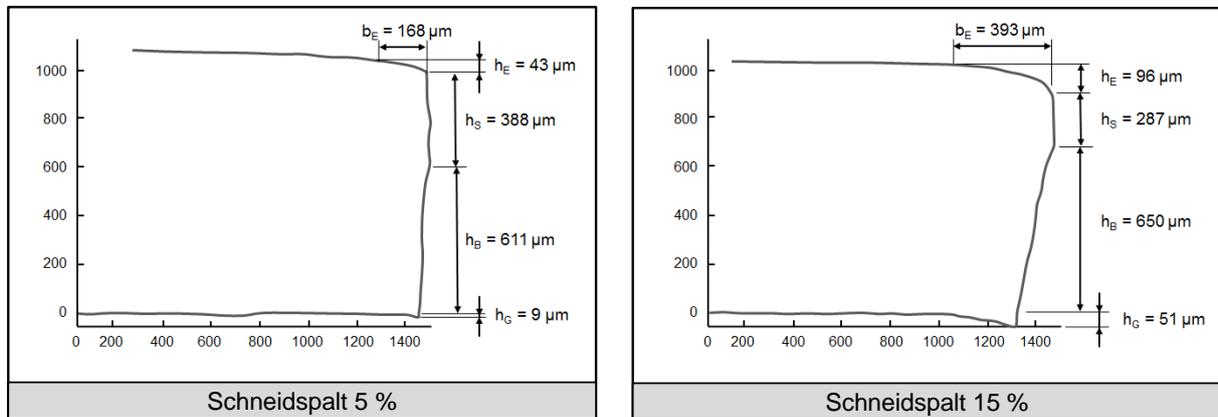


Abbildung 6: Repräsentative Schnittkanten eines Dualphasenstahls DPX1000 geschnitten mit Schneidspalt von 5 % (links) und 15 % (rechts) – Hubzahl 30 Hub/min

Der Verschleiß von Schneidwerkzeugen ist ein maßgeblicher Faktor für die Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung von Schnittteilen, denn dieser besitzt einen direkten negativen Einfluss auf die Maßgenauigkeit der gefertigten Bauteile sowie die erreichte Qualität der Schnittkanten [6]. Diesen Zusammenhang zeigen auch die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen, bei denen der Versuchswerkstoff mit einer scharfkantigen sowie einer verrundeten Stempelkantengeometrie ($R = 0,5 \text{ mm}$) bei sonst identischen Versuchsparametern geschnitten wurde. Verschleiß am Schneidstempel bewirkt dabei einen ausgeprägten Kanteneinzug und somit eine Maßungenauigkeit an der Schnittkante (Abbildung 7).

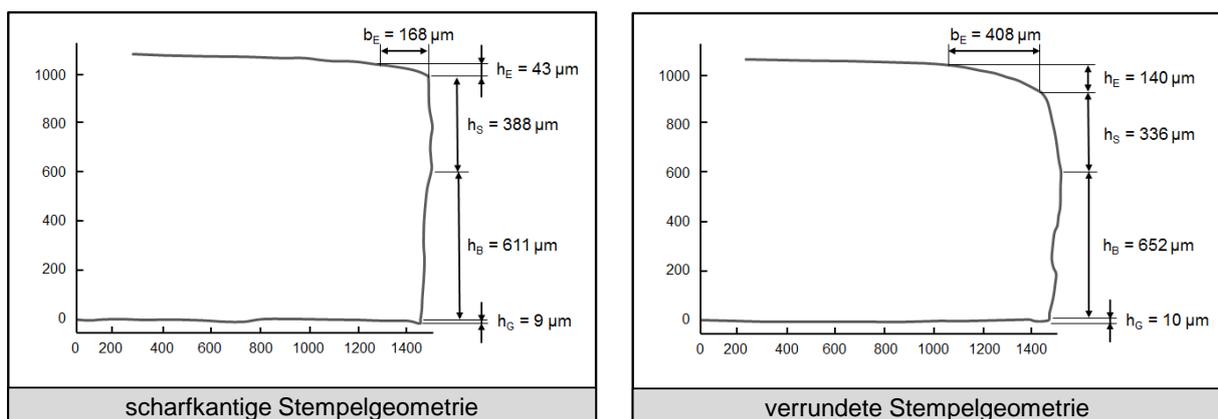


Abbildung 7: Repräsentative Schnittkanten eines Dualphasenstahls DPX1000 geschnitten mit scharfkantiger (links) und verrundeter Stempelkantengeometrie (rechts) - Schneidspalt 5 %

Von den untersuchten Versuchsparametern besitzt die Hubzahl den geringsten Einfluss auf die Qualität der Schnittkante. Abbildung 8 zeigt exemplarisch die Schnittkanten bei einer Erhöhung der Hubzahl von 30 Hub/min auf 200 Hub/min. Es ist nur eine geringfügige Abnahme des Glattschnittanteils sowie eine leichte Erhöhung des Bruchflächenwinkels zu erkennen.

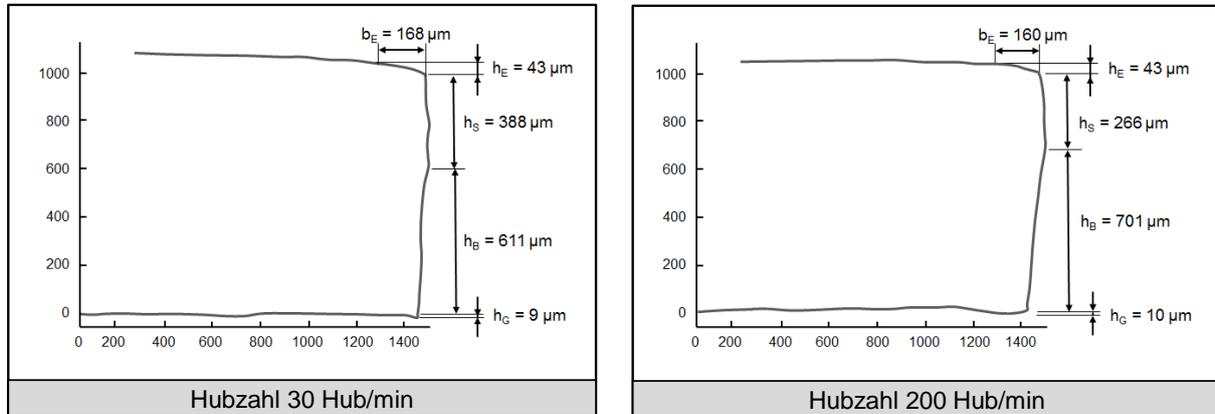


Abbildung 8: Repräsentative Schnittkanten eines Dualphasenstahls DPX1000 geschnitten mit einer Hubzahl von 30 Hub/min (links) und 200 Hub/min (rechts) - Schneidspalt 5 %

Materialcharakterisierung und Simulation

Für die Simulation von Schneidvorgängen ist eine genaue Beschreibung des Materialverhaltens erforderlich. Dazu zählen das Fließverhalten in Abhängigkeit des Umformgrads, der Dehnrates und der Temperatur sowie die Beschreibung des Schädigungsverhaltens in Abhängigkeit des Spannungszustands [7]. Zur Ermittlung des Fließverhaltens wurden uniaxiale Zugversuche an dem Umformdilatometer DIL 805 der Fa. Bähr durchgeführt. In Abbildung 9 sind der Messaufbau sowie die verwendete Probengeometrie dargestellt. Der Messaufbau ermöglicht eine exakte Temperaturführung. Die Proben werden dabei mit Hilfe einer Heizspule induktiv auf Prüftemperatur erwärmt. Kühldüsen wirken der durch plastische Arbeit bedingten dissipativen Erwärmung der Probe entgegen. Somit ist eine isotherme Aufnahme der Fließkurven möglich.

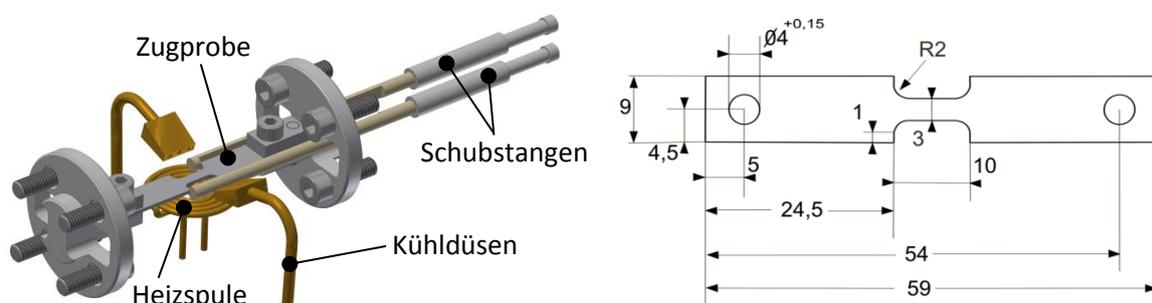


Abbildung 9: Versuchsaufbau Umformdilatometer mit Flachspule und Kühldüsen (links), Geometrie der Zugprobe (rechts)

Die Ergebnisse der Fließkurvenaufnahme sind in Abbildung 10 dargestellt. Die Extrapolation der Fließkurven erfolgt mit dem kombinierten Ansatz nach Swift/Hocket-Sherby (Formel 1) sowie einer Dehnraten- und Temperaturskalierung.

$$k_f(\varepsilon_{pl}, T, \dot{\varphi}) = \underbrace{\left[(1 - 0,372) \left[1813(\varepsilon_{pl} + 0,001)^{0,126} \right] + 0,372 \left(1440 - (1440 - 746)e^{-1,771\varepsilon_{pl}^{20,210}} \right) \right]}_{\text{quasistatische Fließkurve bei Raumtemperatur}} \cdot \underbrace{\left((0,0091 \cdot \ln(\dot{\varphi}) + 1,0427) \cdot (-3 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 + 10^{-5} \cdot T^2 + 0,0017 \cdot T + 1,0366) \right)}_{\substack{\text{Dehnratenkalierung} \\ \text{Temperaturskalierung}}} \quad (1)$$

In Abbildung 10 (links) ist eindeutig zu erkennen, dass das Niveau der Fließkurve für den Werkstoff DPX1000 zunächst mit steigender Temperatur abgesenkt wird. Ab ca. 150°C wird der Trend umgekehrt und das Fließspannungsniveau steigt aufgrund der Blausprödigkeit an. Die Temperaturabhängigkeit der Fließspannung wird in der Simulation berücksichtigt und spielt vor allem für die Berechnung der Schneidkraft eine entscheidende Rolle, da die Temperatur in der Scherzone auf bis zu 519 °C während des Schneidprozesses ansteigt, wie aus Abbildung 16 zu entnehmen ist.

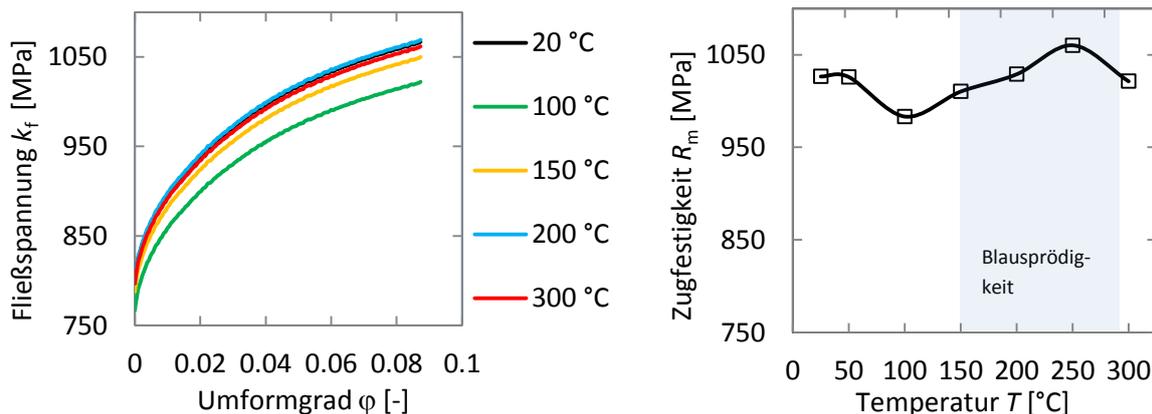


Abbildung 10: Fließkurven für den Werkstoff DPX1000 bei verschiedenen Temperaturen für eine Dehnrates von $\dot{\varphi} = 0,001$ 1/s und einer Blechdicke von 1 mm (links), Temperaturabhängigkeit der Zugfestigkeit für die Werkstoff DPX1000 (rechts)

Die Dehnratensensitivität der Fließspannung wurde für eine Dehnrates von 0,001, 1, 10, 40 und 80 1/s mit dem Schichtstauchversuch ermittelt (siehe Abbildung 11, links), dabei wurde die 0,2 % Dehngrenze zur Skalierung der Fließspannung verwendet. Mittels einer inversen numerischen Ermittlung wurde zusätzlich eine Skalierung der Dehnratensensitivität für eine Dehnrates von 750 1/s durchgeführt. Dazu wurde zunächst der Scherschneidprozess numerisch abgebildet und eine repräsentative Dehnrates im Bereich der Scherzone ermittelt. Nachfolgend wurden die Kraft-Weg-Verläufe dazu genutzt die Fließspannung für eine Dehnrates von 750 1/s zu skalieren. Dieser Schritt ist nötig, um eine exakte numerische Berechnung der Schnittkräfte zu

realisieren. Abbildung 11 (rechts) zeigt die Dehnratenverteilung zum Zeitpunkt der Rissinitiation in der Scherzone für eine Hubzahl von 200 Hub/min, dies entspricht einer mittleren Stempelgeschwindigkeit von 58 mm/s. Dieser Abbildung ist zu entnehmen, dass für einen repräsentativen Bereich der Scherzone die Dehnrade bei ca. 750 1/s liegt. Weiterhin ist in Abbildung 11 (links) die ermittelte Dehnratsensitivität des betrachteten Werkstoffs dargestellt.

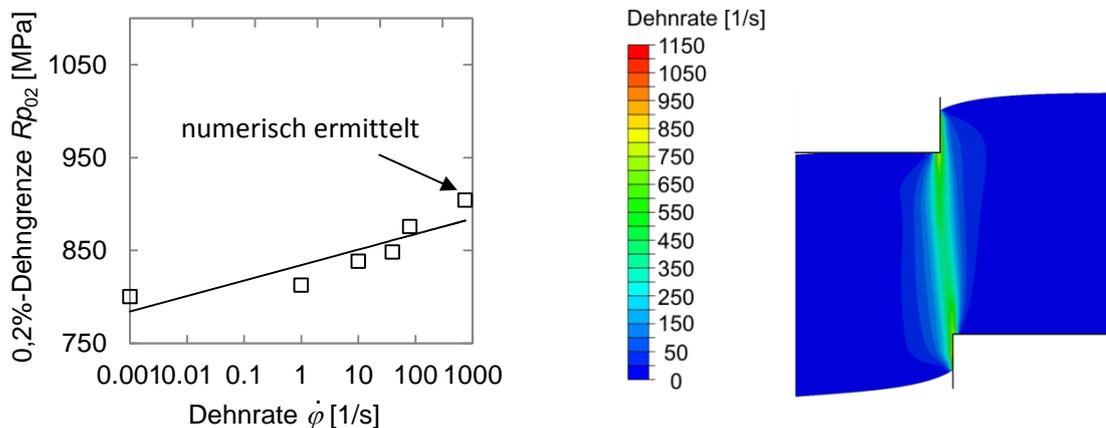


Abbildung 11: Dehnratsensitivität für die Werkstoffe DPX1000 (links) Dehnratenverteilung in der Scherzone bei einer Hubzahl von 200 Hub/min (rechts)

Zur Abbildung des Schädigungsverhaltens wurde das Johnson-Cook-Modell verwendet. Es beschreibt den vom Werkstoff ertragbaren Versagensumformgrad in Abhängigkeit der Spannungsmehrachsigkeit (vgl. Abbildung 13, links). Dabei wird festgelegt, dass Versagen auftritt, wenn der Schädigungsparameter D den Wert eins erreicht. Der Schädigungsparameter ist definiert als:

$$D = \sum_i \frac{\varphi_v^i}{\bar{\varphi}_v} \quad (2)$$

Wobei $\Delta\bar{\varphi}^i$ die inkrementelle plastische Vergleichsformänderung darstellt und $\bar{\varphi}_v$ die Vergleichsformänderung zum Zeitpunkt der Rissinitiation, im nachfolgenden Versagensumformgrad genannt. Dabei wird D für jedes einzelne Element über alle Inkremente aufsummiert. Für die Parametrisierung des Schädigungsmodells wurden insgesamt fünf Versuche (Scherzugversuch, Zugversuch, Zugversuch mit Taillierung ($R=3$ mm und $R=10$ mm) und hydraulischer Tiefungsversuch) bei unterschiedlichen Spannungsmehrachsigkeiten und bei Raumtemperatur sowie unter quasistatischen Versuchsbedingungen ($\dot{\varphi} \leq 0,002$) durchgeführt. Der Versagensumformgrad wurde auf experimentell-numerische Weise ermittelt, indem neben dem Experiment eine numerische Abbildung der Versuche erfolgte. Zur Validierung des numerischen Modells wurden die Kraft-Weg-Verläufe sowie die Dehnungen aus dem Experiment verwendet. In Abbildung 12 sind die erzielten Kraft-Weg-Verläufe für das Experiment und die Simulation dargestellt. Dabei wurde für die Beschreibung des Fließorts das Fließortskriterium nach von Mises verwendet.

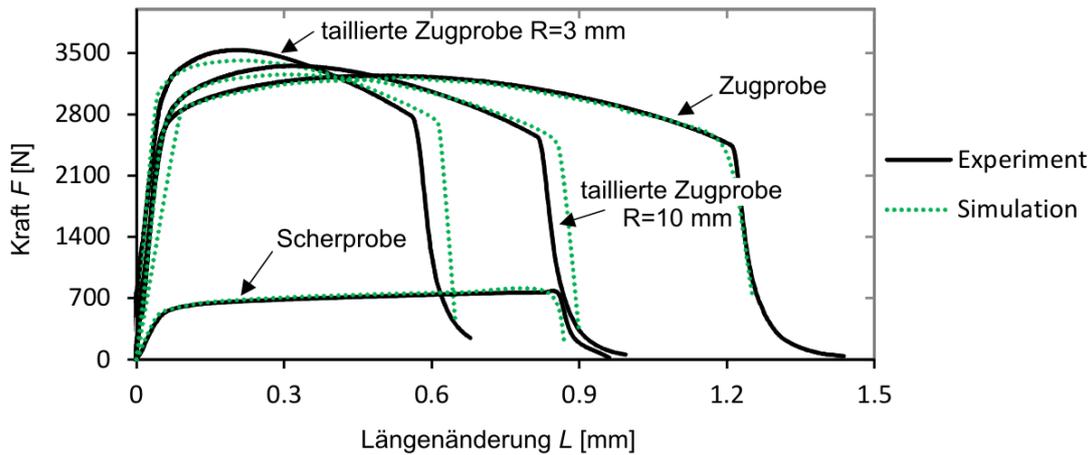


Abbildung 12: Vergleich der numerisch und experimentell ermittelten Kraft-Weg-Verläufe

Der Einfachheit halber wurde das dehnraten- sowie temperaturabhängige Versagensverhalten nicht berücksichtigt. Für jede Probengeometrie wurden fünf Versuche zum Zweck der statistischen Absicherung durchgeführt. Bei der Ermittlung des Versagensumformgrades ist zu beachten, dass der erzielbare Versagensumformgrad abhängig von der Elementkantenlänge (EKL) ist. Für die numerischen Untersuchungen zur Bestimmung des Versagensumformgrades wurde eine EKL von 0,33 mm verwendet. Da für die Diskretisierung in der Scherschneidvorgängen für Bleche wesentlich geringere Elementkantenlängen erforderlich sind, muss eine Skalierung des Versagensumformgrades für die in der Scherschneidsimulation verwendete EKL vorgenommen werden. Dafür wurde für den Zugversuch der Versagensumformgrad in Abhängigkeit der EKL bis zu einer Elementkantenlänge von 0,05 mm numerisch ermittelt und die in Abbildung 13 (rechts) gezeigte Funktion für die Skalierung des Versagensumformgrades verwendet.

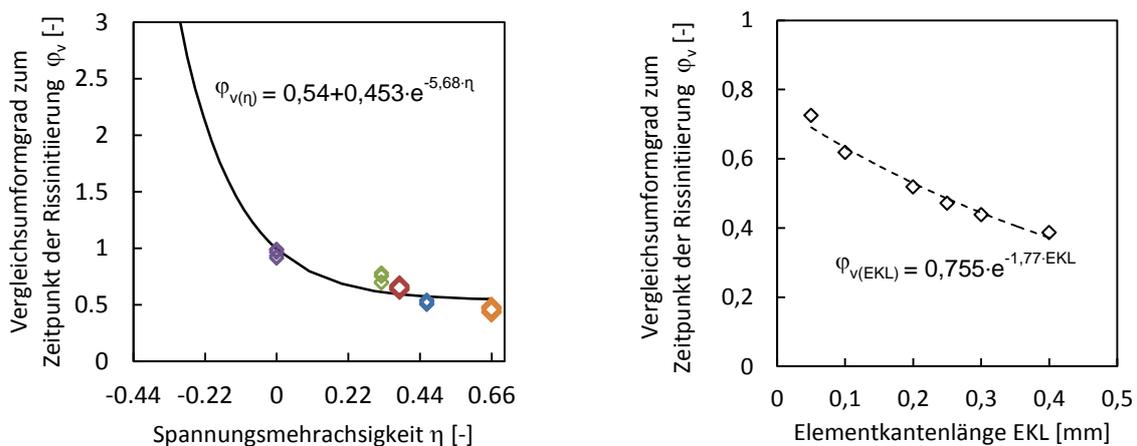


Abbildung 13: Vergleichsumformgrad bei Rissinitiation versus Spannungsmehrachsigkeit (EKL=0,33 mm) (links), Skalierung des Versagensumformgrads (rechts)

Die numerische Simulation des Scherschneidprozesses erfolgte mit Abaqus/Explicit. Dabei wurden die Werkzeuggeometrien als Starrkörper aufgebaut. Die geometrischen Abmaße sind in Anlehnung an den experimentellen Aufbau in Abbildung 14 zusammengefasst, wobei die relativen Schneidspalte von 5 %, 10 % und 15 % numerisch abgebildet wurden. Die Diskretisierung des Blechwerkstoffs erfolgte mit axialsymmetrischen Elementen des Typs CAX4R und reduzierter Integration sowie „hourglass“ Kontrolle. Das Materialverhalten des Blechwerkstoffs wurde elastisch-plastisch in Anlehnung an die in Abbildung 10 gezeigten Fließkurven mit dem Fließortskriterium nach von Mises modelliert. In der Scherzone wurde eine Elementkantenlänge von 5 μm gewählt. Ferner wurde ein Reibkoeffizient von $\mu = 0,15$ sowie die „Contact Penalty“ Methode verwendet. Zur Beschreibung der Temperaturentwicklung in der Scherzone wurde ein Wärmefreisetzungsfaktor (Taylor-Quinney-Koeffizient) von $\beta = 0,9$, eine spezifische Wärmekapazität von $c = 0,5 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ und adiabate Randbedingungen für die Elemente angenommen. Weiterhin teilt sich die Simulation in zwei Prozessschritte ein. Zunächst wird im ersten Prozessschritt das Blech zwischen dem Niederhalter und der Matrize fixiert, anschließend schneidet der Stempel das Blech.

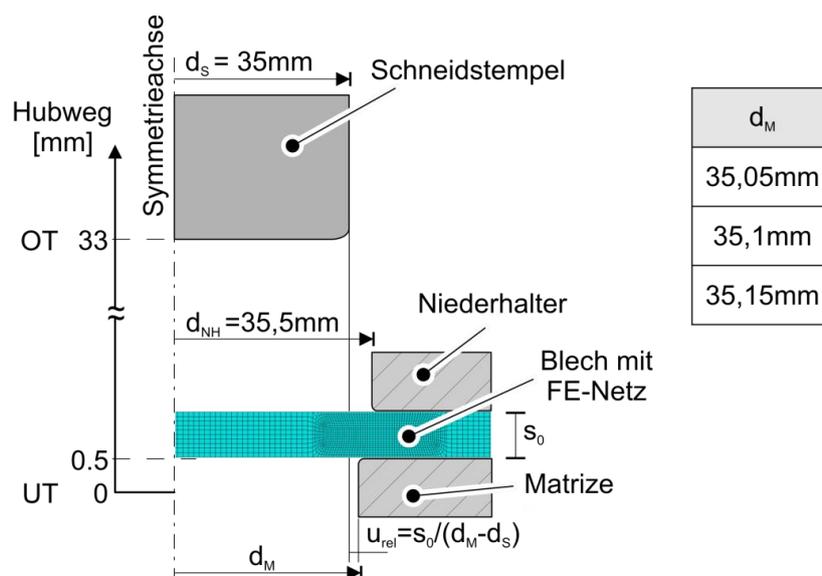


Abbildung 14: Aufbau des FE-Modells

Abbildung 15 zeigt die experimentell und numerisch ermittelten relativen Höhen des Kanteneinzugsbereichs sowie des Glattschnittanteils in Abhängigkeit des relativen Schneidspalts. Es ist zu erkennen, dass eine gute Übereinstimmung für das relative Kanteneinzugsgebiet vorliegt. Für die relative Glattschnitthöhe unterschätzen die numerischen Ergebnisse die experimentell ermittelten relativen Glattschnitthöhen, lediglich die Tendenz kann abgebildet werden. Neben den nichtlinearen Verläufen der Spannungsmehrachsigkeit kann die Temperatur- und Dehnratenabhängigkeit der Versagensbeschreibung eine mögliche Ursache für die Abweichung zum Experiment darstellen. In der Scherzone wird laut Simulation eine maximale Temperatur von

519 °C erreicht, somit müsste die Versagenskalibrierung bei ähnlich hohen Temperaturen erfolgen. Allgemein ist bekannt, dass das Formänderungsvermögen von Stählen mit steigender Temperatur auch ansteigt, somit liegt nahe, dass die Versagenskurve ein höheres Niveau aufweisen müsste. Daher wurde die Versagenskurve um den Faktor 2 skaliert und eine erneute Auswertung der Schnittkante vorgenommen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die ermittelten Werte für das Kanteneinzugsgebiet und den Glattschnittanteil eine genauere Abbildung der Realität liefern. Neben der relativen Kanteneinzugsgröße sowie der relativen Glattschnittgröße wurde der Stempelkraft-Zeit-Verlauf numerisch ermittelt. Dieser besitzt eine maximale Abweichung von 2,4 % zur experimentell ermittelten maximalen Stempelkraft und weist somit eine gute Übereinstimmung auf.

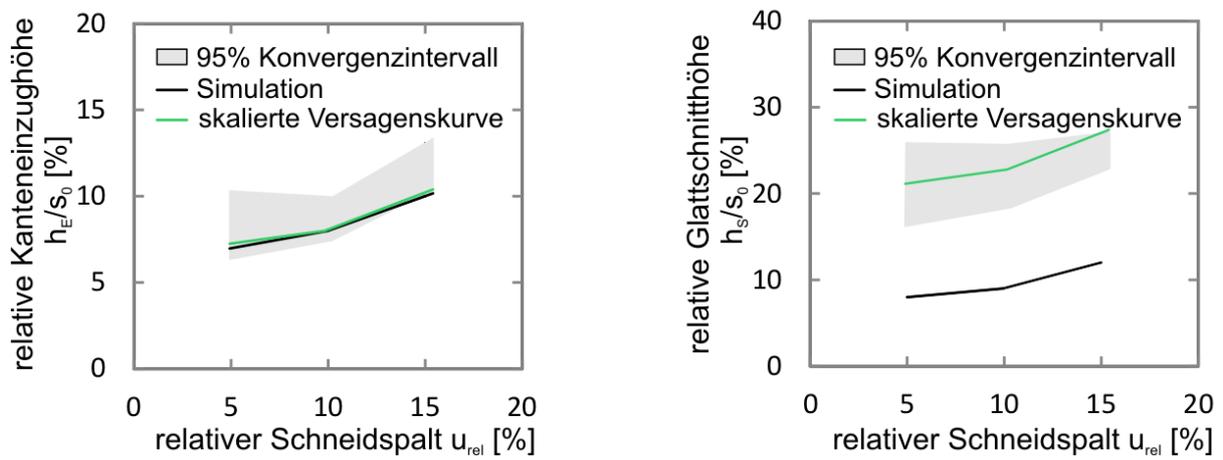


Abbildung 15: Vergleich der numerisch und experimentell ermittelten relativen Kanteneinzugsgröße (links), Vergleich der numerisch und experimentell ermittelten relativen Glattschnittgröße (rechts)

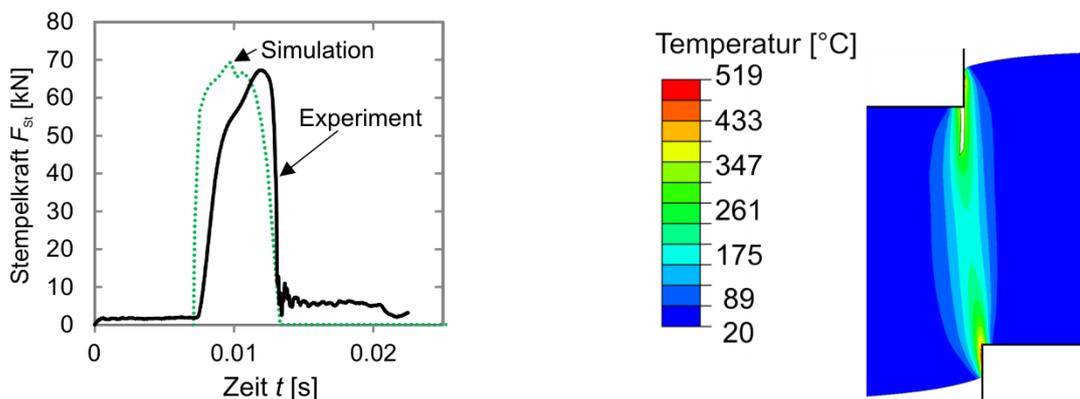


Abbildung 16: Vergleich der numerisch und experimentell ermittelten Stempelkraft-Zeit-Verläufe für 200 Hub/min (links), Numerisch ermitteltes Temperaturfeld in der Scherzone zum Zeitpunkt der maximalen Werkstücktemperatur (rechts)

Zusammenfassung

Das Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover untersuchte in Scherschneidversuchen den Einfluss von Prozessparametern auf die Qualität der Schnittkante des Dualphasenstahls DPX1000. Bei den Versuchsparametern beeinflussen insbesondere der relative Schneidspalt und der Verschleiß an dem Schneidstempel die Schnittkante des Dualphasenstahls. Dabei führt eine Vergrößerung des relativen Schneidspalts, wie auch der erhöhte Verschleiß am Stempel, zu einem ausgeprägten Kanteneinzug. Die Folge sind negative Einflüsse auf die erreichte Schnittkantenqualität. Diese Tendenzen konnten auch durch das numerische Modell aufgezeigt werden. Allerdings stellt die numerische Abbildung des Scherschneidprozesses eine große Herausforderung dar und kann derzeit noch nicht für eine präzise Voraussage der in Abhängigkeit der Prozessparameter entstehenden Schnittkantengeometrie verwendet werden. Insbesondere die temperatur- und dehnratenabhängige Beschreibung des Versagens ist derzeit Gegenstand der Forschung und soll in Zukunft zu einer Verbesserung der Scherschneidsimulationsgüte führen. Weiterhin wurde bereits in der Vergangenheit gezeigt, dass eine komplexere Versagensmodellierung wie beispielsweise von Bao et al [8] vorgeschlagen, zu besseren Ergebnissen in der Abbildung der Schnittkante führt [9].

Danksagung

Das Forschungsvorhaben mit dem Titel „Experimentelle Analyse und Entwicklung eines Finite Elemente Modells zur verbesserten numerischen Abbildung des Scherschneidprozesses“ wurde unter der Forschungsnummer BE1691/133-1 aus Haushaltsmitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung

Literaturverzeichnis:

- [1] Krönauer, B.: Untersuchung des Einflusses der Prozessparameter des Hochgeschwindigkeits-Scherschneidens auf die Schnittflächenqualität von Blechen, Forschungsberichte, Forschungsvereinigung Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik e.V. (FWF), Frankfurt am Main, 2008
- [2] Hoogen, M.: Einfluss der Werkzeuggeometrie auf das Scherschneiden und Reißen von Aluminiumfeinblechen, utg-Forschungsberichte, Band 6, Hieronymus Buchreproduktions GmbH, München, 1999
- [3] N.N.: VDI Richtlinie 2906 Blatt 1-5: Schnittflächenqualität beim Schneiden, Beschneiden und Lochen von Werkstücken aus Metall, VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik, 1994
- [4] Klocke, F.; König, W.: Fertigungsverfahren 4: Umformen, 5. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006

- [5] Behrens, B.-A.; Krimm, R.; Jocker, J.: Optische Schnittkantenmessung und automatisierte Kenngrößenermittlung, UTF Science 01/2014, www.umformtechnik.net, 2014
- [6] Doege, E.; Fugger, B.: Untersuchung der Verschleißmechanismen beim Scherschneiden (1); Tribologie + Schmiertechnik; 32. Jahrgang; 2/1985; S. 93-100; 1985
- [7] Gachet J.-M.; Delattre G.; Bouchard P.-O.: Improved fracture criterion to chain forming stage and in use mechanical strength computations of metallic parts – Application to half-blanked components; Journal of Materials Processing Technology 21; S. 260-277; 2015
- [8] Bao, Y., Wierzbicki T.: On fracture locus in the equivalent strain and stress triaxiality space. International Journal of Mechanical Sciences, S. 81- 98, 2004
- [9] Behrens B.-A., Bouguecha A., Vucetic M., Krimm R., Hasselbusch T., Bonk C.: Numerical and experimental determination of cut-edge after blanking of thin steel sheet of DP1000 within use of stress based damage model; 11th International Conference on Technology of Plasticity 2014; Nagoya Congress Center; Nagoya, Japan; 19.-24. October, 2014