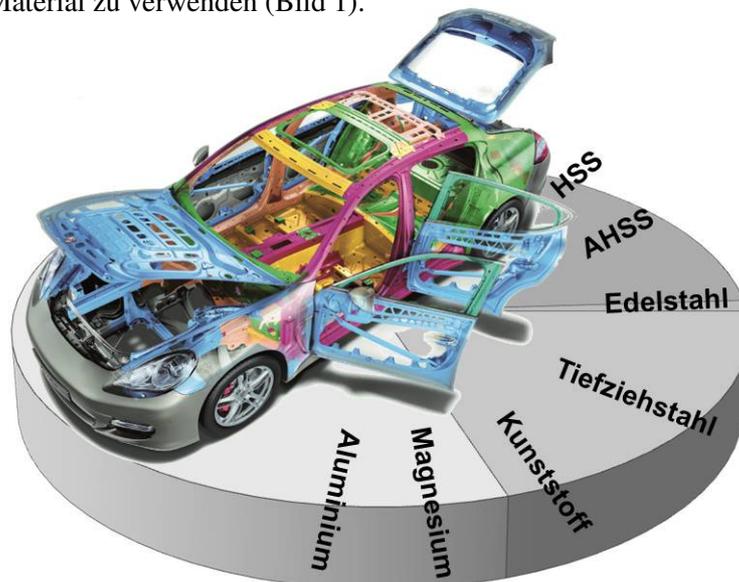


Herstellung eines Metall-Kunststoff-Verbundes mit der Flach-Clinch-Technologie

Im Hinblick auf die Intensivierung des intelligenten Leichtbaus mit Trend zum Material-Mix und den daraus resultierenden Umschwung in der Fügechnik wurde das Flach-Clinchen entwickelt. Dieses bietet die Möglichkeit, metallische und polymere Werkstoffe in einem einstufigen Prozess unmittelbar ohne zusätzliche Vorarbeiten und Hilfselemente mechanisch miteinander zu verbinden. Dabei wird der während des umformenden Fügens auftretende Werkstofffluss so beeinflusst, dass sich die für Clinch-Verbindungen charakteristische Hinterschneidung der Fügepartner und der daraus resultierende Kraft- und Formschluss innerhalb der Gesamtmaterieldicke ausbildet. Dadurch entsteht ein einseitig ebener Werkstoffverbund, der im Gegensatz zu den Verbindungen, die durch konventionelles Clinchen hergestellt werden, nicht die matrizenseitige Überhöhung aus der Materialebene heraus aufweist und somit im Sicht- und Funktionsbereich eingesetzt werden kann.

1 Einleitung

Klimaschutz und knapper werdende Ressourcen sind derzeit so vielfältig und umfassend in der Diskussion wie niemals zuvor. Darum ist es notwendig, mit der Weiterentwicklung von Technologien die Herausforderungen der Zukunft zu gestalten. Dabei geht der Trend weiter in Richtung intelligenter Leichtbau, und das bedeutet, das für jedes Bauteil hinsichtlich Funktion, Haltbarkeit, Herstellung und Kosten geeignete Material zu verwenden (Bild 1).



Quelle: Porsche AG

Bild 1: Multi-Material-Design in der Automobilindustrie

Der dabei entstehende Multi-Material-Mix wirkt sich positiv auf die Gebrauchseigenschaften des Produktes aus und trägt zusätzlich zur Ressourcenschonung bei. Jedoch stellt nach Lesemann [1] und Rau [2] der Zusammenbau dieser Bauteile die größte Aufgabe beim Multi-Material-Design dar und ist gleichzeitig der größte Kostenfaktor. Gemeinsam mit den gestiegenen qualitativen Anforderungen der Halbzeuge werden völlig neue Ansprüche an das Fügen gestellt. Neben thermischen und chemischen Verfahren kommen verstärkt innovative mechanische Fügeverfahren zum Einsatz [3].

2 Grundlagen

Mechanische Fügeverfahren sind dadurch gekennzeichnet, dass sie den Werkstofffluss während des Fügens derart beeinflussen, dass es zu einem Kraft- und Formschluss zwischen den Komponenten kommt. Auf diese Weise kann auf den thermisch induzierten Stoffschluss zur Verbindungsbildung, wie er z. B. beim Widerstandspunktschweißen erforderlich ist, verzichtet werden. Somit existiert eine interessante Variante, mithin einzige Möglichkeit, zur wirtschaftlichen Herstellung und zum ökologisch vertretbaren Recycling von Bauteilen.

Als Alternative zum thermischen Fügen haben sich für das Verbinden von Metallen das Clinchen und Nieten durchgesetzt. Besonders wirtschaftlich ist das Clinchen, da hierbei die Verbindung ohne zusätzliches Element ausschließlich durch Umformung der Bleche an der Fügestelle erzeugt wird. Der Nachteil des Clinchens ist die Ausbildung einer Überhöhung (Bild 2a) auf dem matrizenseitig angeordneten Material, was zu Einschränkungen der Nutzbarkeit dieser Verbindungen im Sicht- und Funktionsbereich führt.

Diese Beeinträchtigung wurde mit der Flach-Clinch-Technologie (Bild 2b), die an der Technischen Universität Chemnitz entwickelt wurde, vollständig eliminiert [4-5]. Mit dieser innovativen mechanischen Fügemethode ist es möglich, einseitig ebene mechanische Verbindungen zwischen zwei metallischen Werkstoffen einstufig herzustellen.

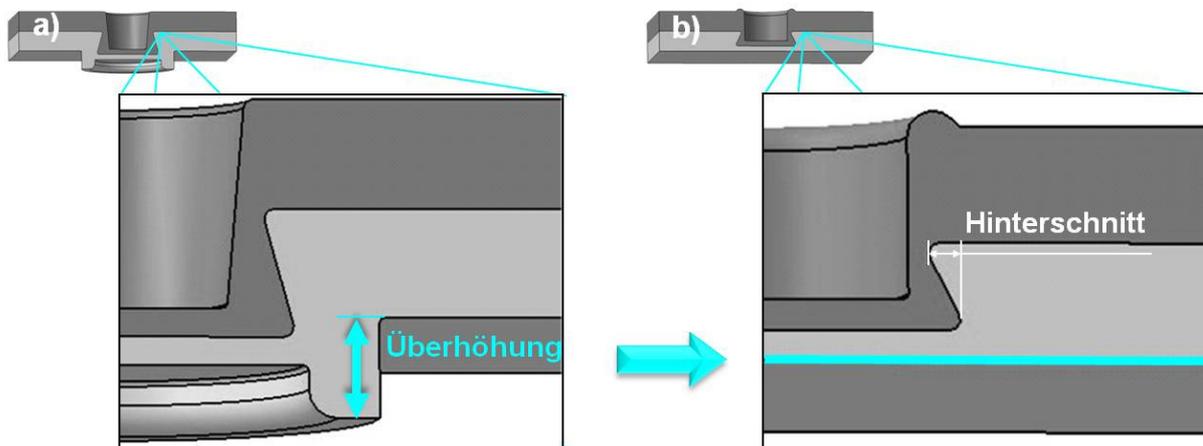


Bild 2: Gegenüberstellung von a) Clinchen und b) Flach-Clinchen

3 Zielstellung

Ausgehend von Spannungsanalysen sollte untersucht werden, ob sich die Flach-Clinch-Technologie auch zum unmittelbaren mechanischen Fügen von Metall- und Kunststoff-Komponenten eignet. Dazu war es notwendig, neue numerische Simulationsmodelle zu entwickeln, die das polymere Materialverhalten berücksichtigen und die Interaktion der wichtigsten Einflussgrößen auf die Verbindungsbildung widerspiegeln. Die Abbildung des Verfahrens mit Hilfe der FE-Methode war erforderlich, da die Vielzahl der Prozessparameter sowie deren multifaktorielle Zusammenhänge rein experimentell nicht ausreichend bestimmbar waren. Besonders das Verformungsverhalten der zu verbindenden organischen und anorganischen Werkstoffe sowie der infolge der Umformung auftretende Werkstofffluss in der Fügezone konnten mit dieser Vorgehensweise analysiert und visualisiert werden. Dadurch war es möglich, geeignete Maßnahmen für eine zielgerichtete Werkstoffflussoptimierung abzuleiten und die Entwicklung der hybriden Flach-Clinch-Technologie zu realisieren.

3 Kennwertaufnahme

Um aussagekräftige Eingangsparameter für die FEM-Berechnungen zu erlangen, wurden von den verwendeten Werkstoffen die mechanischen Eigenschaften ermittelt.

Beim Flach-Clinchen werden sehr hohe Vergleichsumformgrade von bis zu $\varphi_v = 3,5$ erreicht, deshalb konnte nicht auf den konventionell eingesetzten Zugversuch zurückgegriffen werden, da hier der Umformgrad nur bis zu einem Wert von ca. $\varphi_v = 0,3$ experimentell bestimmt werden kann. Da auch Materialdatenbanken nicht darüber hinaus aussagefähig sind, wurde eine Methodik angewendet, bei der Zugversuche an definiert vorverformten Blechen durchgeführt wurden. Damit konnten Fließkurven bis zu einem Umformgrad von $\varphi_v = 2,0$ experimentell bestimmt werden. Die Vorverformung wird durch Walzen der Bleche auf eine bestimmte Blechdicke erreicht. Die Reduzierung der Blechdicke führt zu einer Erhöhung des Umformgrades, der aus der logarithmischen Beziehung zwischen Blechdicke nach dem Walzen und Ausgangsblechdicke ermittelt werden kann. Anschließend wurden im genormten Zugversuch die $R_{p0,2}$ -Dehngrenze und die Zugfestigkeit R_m der Untersuchungswerkstoffe bestimmt und daraus die Fließkurve ermittelt.

Die Spannungs-Dehnungs-Eigenschaften der Kunststoffe wurden die in Anlehnung an den beim Flach-Clinchen real auftretenden Druck-Spannungs-Zustand aufgenommen. Dazu wurde der Zusammenhang zwischen Fließspannung und Vergleichsumformgrad mit dem Flachstauchversuch ermittelt. Bei diesem Verfahren wird eine flache Probe der Länge a und Höhe h_0 zwischen zwei parallelen Werkzeugen mit der Breite b gestaucht. Dabei wird die benötigte Presskraft F und die zugehörige Probenhöhe h gemessen (Bild 3).

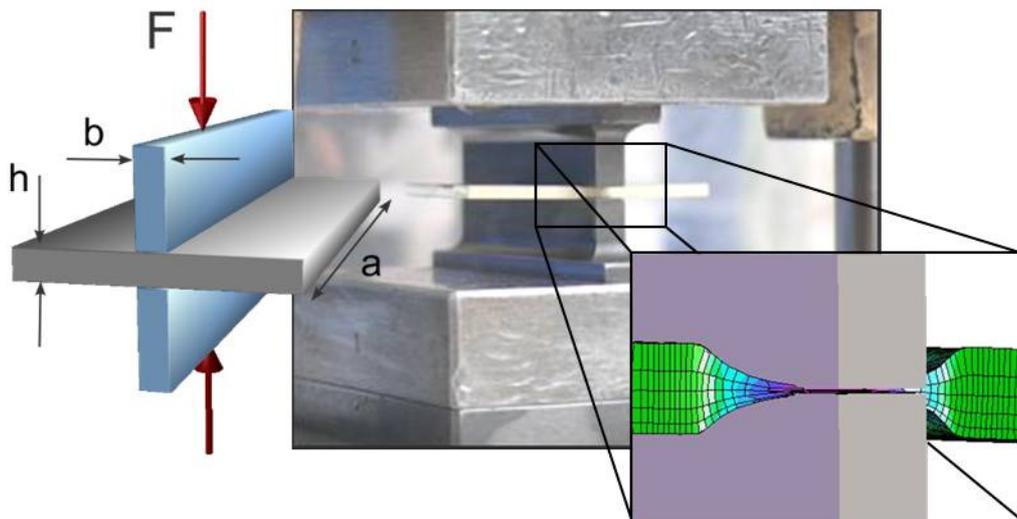


Bild 3: Darstellung des Flachstauchversuchs

Aus der Anwendung des dritten Newtonschen Axioms lässt sich das Kräftegleichgewicht zwischen der durch die Prüfmaschine erzeugten Kraft und der durch den Werkstoff induzierten gleich großen Gegenkraft formulieren. Dabei wird von einer infinitesimalen Längenänderung ausgegangen und somit ein komplett kompressibles Werkstoffverhalten vorausgesetzt. Die so ermittelte Fließspannung wird in der Fließkurve dem Vergleichsumformgrad zugeordnet.

Der Flachstauchversuch wurde experimentell durchgeführt und numerisch überprüft. Dabei konnte ein geschwindigkeitsabhängiges Spannungs-Dehnungs-Verhalten der Kunststoffe bereits im Bereich geringer Fügegeschwindigkeiten detektiert werden.

Mit den durch die experimentellen Untersuchungen und numerischen Analysen gewonnen Erkenntnissen konnte für die Metalle und Kunststoffe unter Berücksichtigung ihrer physikalischen Eigenschaften im *Material Information Link and Database Service (MatILDA)* der GMT mbH ein Materialfile für die weitere numerische Verwendung erzeugt werden.

4 Modellierung

Um eine möglichst genaue simulative Abbildung der experimentellen Untersuchungen des Herstellprozesses von Flach-Clinch-Verbindungen zu erreichen, war es notwendig, alle technologischen und werkstofflichen Bedingungen möglichst realitätsnah in einem FE-Modell aufzubauen. Nach detaillierter Betrachtung der Prozessabfolge wurde das Flach-Clinchen unter Ausnutzung von Axialsymmetrien im zweidimensionalen Raum modelliert. Dabei wurde die speziell für die Auslegung und Optimierung von Umformprozessen entwickelte Simulationssoftware *simufact.forming* der Simufact Engineering GmbH verwendet. Diese Software zeichnet sich u. a. durch „Neuvernetzungsstrategien“ aus, die auch bei während der Umformung auftretenden starken Werkstoffdickenreduktionen und daraus resultierenden geringen Restbodenstärken stabil weiter arbeiten. Dies war speziell für die Abbildung des Flach-Clinchens wichtig, da es in der Fügezone zu einer Verringerung der Materialdicke um bis zu 90% im Vergleich zu den Ausgangswerkstoffen kommt. Des Weiteren bietet die Software die Möglichkeit, aufgenommene Fließkurven der Versuchswerkstoffe u. a. über *MatILDa* in das Modell zu integrieren.

Im numerischen Basismodell wurden Al99,5 (DIN EN AW-1050A) mit einer Blechdicke von 1,0 mm und als polymere Gegenkomponenten Polystyrol (DIN EN ISO 1622-2) mit einer Werkstoffdicke von 2,0 mm abgebildet. Dabei wurden das Aluminium stempelseitig und der Kunststoff ambossseitig angeordnet (Bild 4). Zwischen diesen Werkstoffen wurde eine einseitige Kontaktfindungsmethode vom Kunststoff zum Aluminium gewählt. Dies war erforderlich, da aufgrund der stärkeren Materialausdünnung des Polymers eine feinere Vernetzung verwendet werden musste.

Als Aktivwerkzeug fungierte der Stempel mit flacher Stirnfläche und einem Durchmesser von 5,0 mm. Der Fügeweg des Stempels wurde mit 1,0 mm bis zum Aufsetzen auf das Aluminium und mit 2,5 mm für das eigentliche umformende Fügen definiert. Als passive Werkzeugkomponente wurden zum einen ein flacher Niederhalter mit Kantenradius und der ebene Amboss eingesetzt.

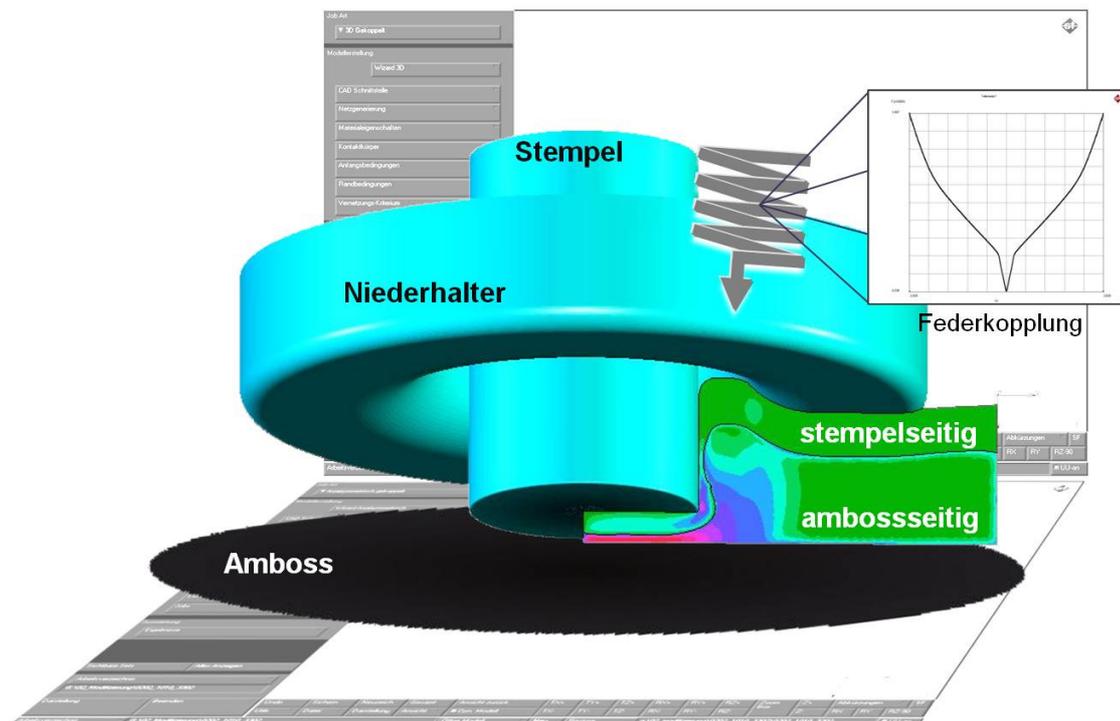


Bild 4: Schematische Darstellung des numerischen Basismodells

Ein wesentlicher Einflussfaktor – die Federkopplung zwischen Stempel und Niederhalter – konnte durch die Hinterlegung einer im realen Prozess ermittelten Federkennlinie im Modell berücksichtigt werden. Dadurch wurde eine exakte Abbildung des Zusammenspiels zwischen Stempel und Niederhalter erreicht, und es konnten Erkenntnisse für die Optimierung der Federkräfte gewonnen werden.

5 Kalibrierung

Bei der Kalibrierung des Simulationsmodells wurden die numerischen Ergebnisse mit denen der experimentellen Untersuchungen verglichen. Dabei zeigte sich, dass die im Basismodell verwendeten Materialgesetze nach Mooney-Rivlin, nach Ogden und die Neo-Hooksche Methode für das hybride Flach-Clinchen nicht praktikabel sind. Erst mit der Verwendung des elastisch-plastischen Materialmodells, mit der schon die genaue numerische Abbildung des Flach-Clinchens mit Metallkomponenten realisiert werden konnte, wurden die Experimente numerisch ausreichend exakt abgebildet (Bild 5).

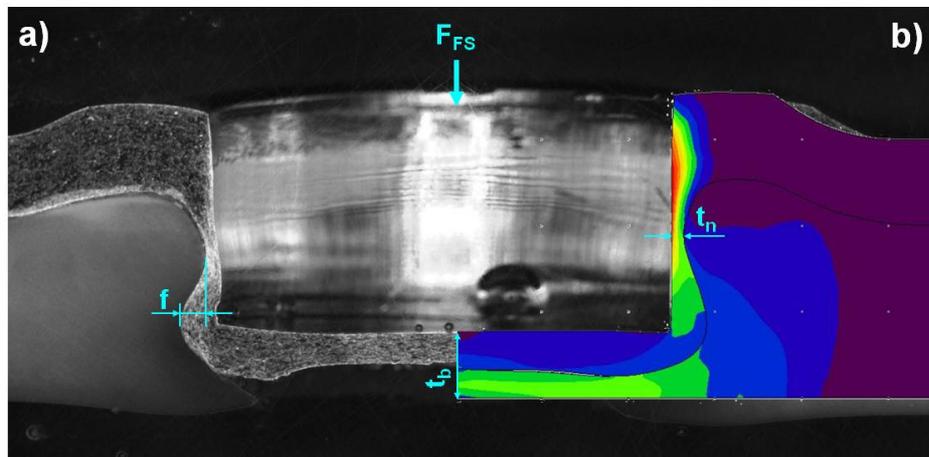


Bild 5: Vergleich von a) experimentellen und b) numerischen Untersuchungen

Das Simulationsmodell galt als kalibriert, als bei den charakteristischen Kennwerten der Flach-Clinch-Verbindung (Hinterschnitt f , Halsdicke t_n , Restbodendicke t_b und Fügekraft F_{FS}) eine quantitative Abweichung der numerischen zu den experimentellen Ergebnissen von weniger als 10% bei vorab definierten Phasen der Verbindungsausbildung bestand. Die erarbeiteten kalibrierten Modelle bildeten die Grundlage für die Sensitivitätsanalyse zur Bestimmung der Einflussparameter und den technologischen Optimierungsprozess.

6 Parameteridentifikation

Während der numerischen Berechnung stand zunächst die systematische Analyse und Quantifizierung der den Fügeprozess beeinflussenden Parameter im Fokus der Arbeiten. Dabei wurden die bereits aus den experimentellen Vorversuchen detektierten Einflussgrößen in die entwickelten FE-Modelle integriert und variiert. Bei der Auswertung der Simulationsergebnisse konnte festgestellt werden, dass beim Flach-Clinchen im Wesentlichen die im Bild 6 gezeigten Parameter die Verbindungsherstellung beeinflussen.

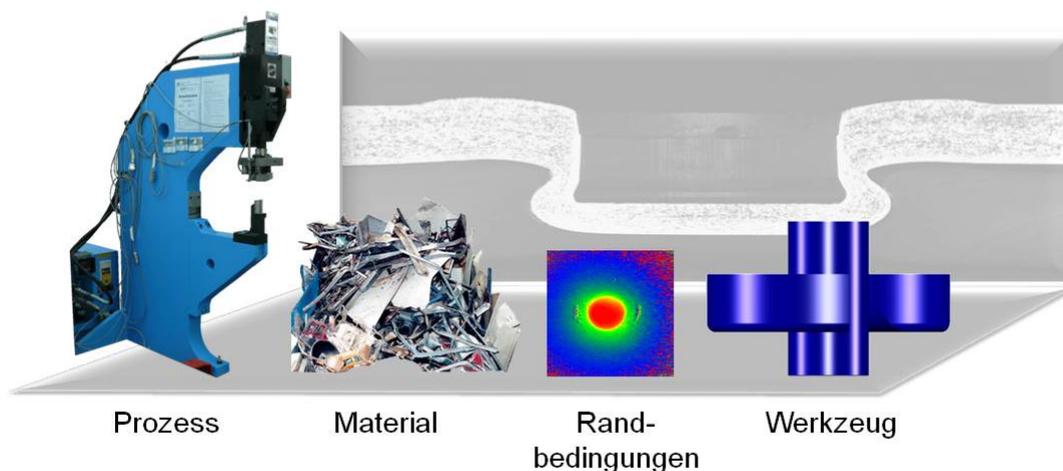


Bild 6: Wesentliche Einflussparameter auf die Verbindungsherstellung

Prozess:

Bei der Betrachtung des konventionellen Flach-Clinch-Prozess zur Verbindung von metallischen Komponenten wird deutlich, dass der einstufige Prozess zwei Phasen durchläuft. Zunächst muss der Werkstofffluss in entgegengesetzter Richtung zum Stempelvorschub gewährleistet werden. In der zweiten Phase kann dieser Werkstofffluss durch geeignete geometrische Maßnahmen sowohl axial als auch radial begrenzt werden, wodurch eine Maximierung des Hinterschnittes erreicht werden kann (Bild 7).

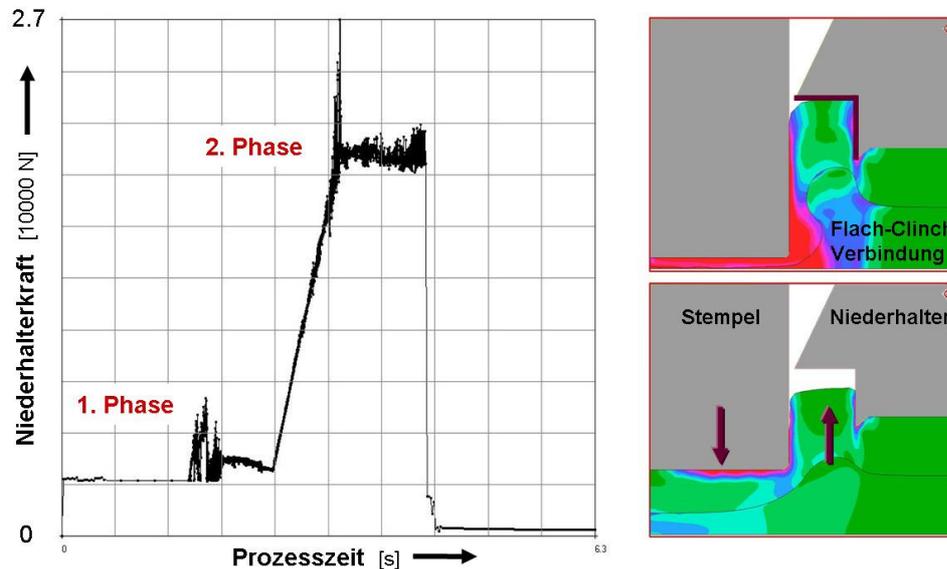


Bild 7: Phasen des konventionellen Flach-Clinchens

Beim hybriden Flach-Clinchen zur Herstellung eines Metall-Kunststoff-Verbundes konnte diese Abhängigkeit des Hinterschnittes von einer Interaktion zwischen Stempel und Niederhalter, die einen kontinuierlichen Anstieg der Niederhalterkraft während des Prozesses zur Folge hat, nicht festgestellt werden. Nach dem derzeitigen Stand der numerischen Erkenntnisse können mit einer definiert konstanten Niederhalterkraft vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich Hinterschnitt und Halsdicke bei ähnlicher Gesamtfügekraft erzielt werden. Sollte sich dieses Resultat auch in der experimentellen Validierung bestätigen, so wäre dies eine wichtige Erkenntnis bei der Gestaltung des hybriden Flach-Clinch-Prozesses.

Werkzeug:

Die grundlegende Überprüfung der verwendeten Stempelformen wurde insbesondere hinsichtlich der Erzielung eines maximalen Hinterschnittes ausgewertet. Dabei erwies sich die zylindrisch konkave sowie zylindrisch flache Stempelstirnfläche als besonders geeignet. Für die konkave Stempelform konnte mit Hilfe der Simulation nachgewiesen werden, dass Stempelbodenradius und Hinterschnitt im umgekehrt proportionalen Verhältnis zueinander stehen, d. h. je kleiner der Bodenradius war, umso größer wurde der Hinterschnitt ausgebildet. Dabei stellten sich aber begrenzend für den Bodenradius die starke Ausdünnung des ambosseitigen Werkstoffes sowie die geringe Halsdicke bei zu kleinem Bodenradius dar. Sowohl für die konkave als auch die zylindrisch flache Stempelstirnflächen-Kontur konnte eine umkehrte Proportionalität zwischen Kantenradius und Hinterschnitt in den simulativen und experimentellen Untersuchungen nachgewiesen werden. Mit den erarbeiteten zweidimensionalen FE-Modellen konnten anschließend erste Anhaltspunkte zur Modifizierung des Stempeldurchmessers (der bislang experimentell stets konstant bei 5,0 mm gehalten wurde) gewonnen werden. Dies hat Bedeutung für das Flach-Clinch größerer Materialdicken, wie sie bei Kunststoff zu finden sind.

Wie für die Stempel erfolgte anschließend auch eine grundlegende numerische Überprüfung der experimentell verwendeten Niederhalter. Hier wurde der Einfluss unterschiedlicher Niederhaltergeometrien auf die Ausbildung des Hinterschnitts untersucht. Während beim konventionellen Flach-Clinchen (Bild 8a) auf die zwei Phasen bei der Verbindungsausbildung mit speziellen Niederhalterdesigns reagiert wurde, war dies bei der Herstellung des Metall-Kunststoff-Verbundes nicht in dem Maße erforderlich (Bild 8b).

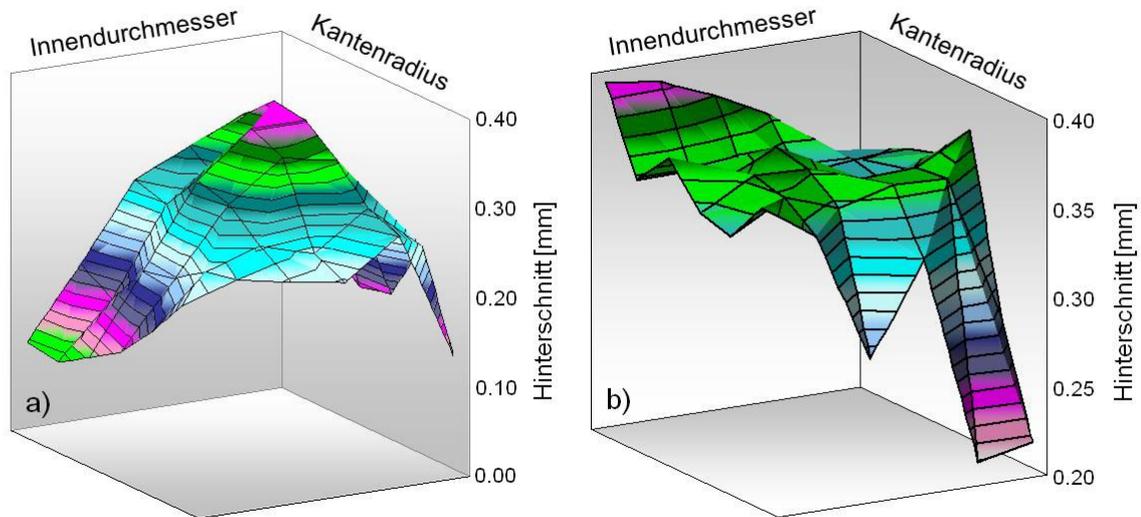


Bild 8: Abhängigkeit des Hinterschnittes von der Niederhaltergeometrie bei:

- a) zwei Aluminium Komponenten
- b) Aluminium und Polystyrol

So konnte festgestellt werden, dass die Hinterschnittausbildung wesentlich weniger von der Niederhaltergeometrie abhängig ist als beim Fügen von Metallkomponenten. Aus weiteren Ergebnissen der Materialflussanalyse erfolgte die Neuentwicklung einer universellen Niederhalterform, die sich zum Fügen von Metall mit einer Vielzahl von untersuchten Kunststoffen eignet. Dadurch gelang neben einer Verbesserung des Hinterschnittes insbesondere auch eine weitere Verbesserung der ambosseitigen Verbindungsebenheit. Dieser Niederhalter wurde ausschließlich durch Untersuchungen der Abhängigkeit des Hinterschnittes von Kantenradius und Innendurchmesser, die im FE-Modell durchgeführt und visualisiert wurden, entwickelt.

Allgemein kann festgestellt werden, dass die Werkzeuge an die jeweilige Fügeaufgabe, d. h. die jeweiligen Werkstoffe und Dicken (-verhältnisse) angepasst werden müssen, was experimentell nur mit großem Aufwand, aber mit der FE-Simulation sehr einfach und kostengünstig möglich ist.

Randbedingungen:

Neben Prozessgestaltung und Werkzeuggeometrie haben auch verschiedene Randbedingungen große Auswirkungen auf die Verbindungsausbildung.

Eine Analyse der wichtigsten Verbindungskennwerte Hinterschnitt und Halsdicke hat z. B. ergeben, dass diese sehr stark von der Reibung abhängig sind. Eine geringe Reibung zwischen Amboss und ambosseitig angeordnetem Material unterstützt eine verbesserte Hinterschnittausbildung. Eine hohe Reibung zwischen Stempel und stempelseitig angeordnetem Werkstoff fördert die Halsdicke. Hohe Reibung zwischen den Fügepartnern führt zur verbesserten Hinterschnittausbildung.

Werkstoffe:

Die numerischen Berechnungen und experimentellen Untersuchungen zeigten, dass während der Herstellung einer Flach-Clinch-Verbindung andere Zug-Druck-Verhältnisse in der Fügezone herrschen als beim konventionellen Clinchen. Die überwiegende Druckbeanspruchung der Komponenten während des Flach-Clinch-Prozesses (Bild 9) und die damit verbundene geringere Abstreckung im Halsbereich ermöglicht es, dieses Verfahren nicht nur für das Fügen von metallischen Werkstoffen, wie z. B. Stahl und Aluminium, einzusetzen. Auch das mechanische Verbinden von schwer umformbaren Materialien, wie z. B. spröde Kunststoff, ist ohne Werkstoffversagen realisierbar.

Während die Prozesskenngrößen und Werkzeuggeometrien innerhalb der Analyse in bestimmten Grenzen variieren, wurden für die Werkstoffbetrachtung die Komponenten vorab ausgewählt. Die Basisuntersuchung fand mit der unter Punkt 4 beschriebenen Aluminium-Polystyrol-Kombination statt. Mit fortschreitendem Untersuchungsverlauf wurden weitere Kunststoffarten mit komplexerem Spannungs-Dehnungs-Verhalten, wie z. B. faserverstärkte Polymere, in die Betrachtungen einbezogen. Dabei konnten erste Erkenntnisse gewonnen werden, welche mechanischen Eigenschaften des Kunststoffes maßgeblich bestimmen, ob eine Flach-Clinch-Verbindung qualitätsgerecht ausgebildet werden kann.

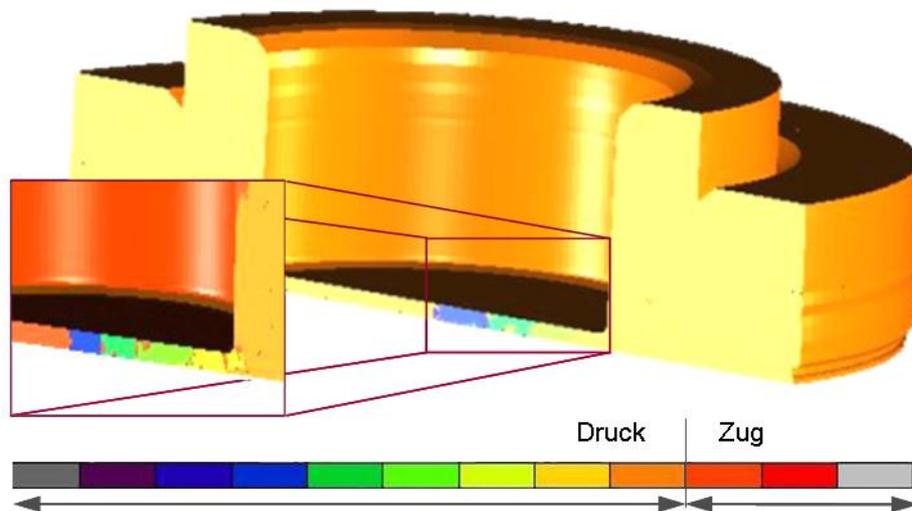


Bild 9: Spannungsverteilung

Durch die Identifizierung der wesentlichen Parameter, die eine kraft- und formschlüssige Hinterschneidung der Fügekomponenten während des Flach-Clinchens begünstigen, war es möglich, Prozess, Werkzeug, Werkstoff und Randbedingungen so aufeinander abzustimmen, dass eine hybride Flach-Clinch-Verbindung, bestehend aus metallischer und polymerer Komponente, hergestellt werden konnte.

7 Einsatzgebiete

Mit den unter Punkt 6 gewonnenen Erkenntnissen wurden verschiedene hybride Werkstoffverbunde, bestehend aus Kunststoff- und Metallkomponenten, unmittelbar, also ohne zusätzliches Hilfselement, mechanisch gefügt. Im Bild 10a ist die Basiskombination, bestehend aus Aluminium und Polystyrol, dargestellt. Im Schliffbild sieht man deutlich die mechanische Verklammerung des Metalls mit dem Kunststoff, woraus eine Resistenz der Verbindung auf Kopf- und Scherzugbelastung resultiert.

Während der Untersuchungen stellte sich heraus, dass durch eine Temperierung (abhängig vom Werkstoff zwischen 60°C und 110°C) auch thermoplastische Kunststoffe mit ungünstigeren Umformeigenschaften (Bruchdehnung 2%) als Verbundwerkstoff eingesetzt werden können (Bild 10b). Dieser thermische Einfluss erweiterte maßgeblich die Verfahrensgrenzen des hybriden Flach-Clinchens. Somit war es z. B. auch möglich, spröde Polystyrole mit der Aluminiumkomponente zu kombinieren.

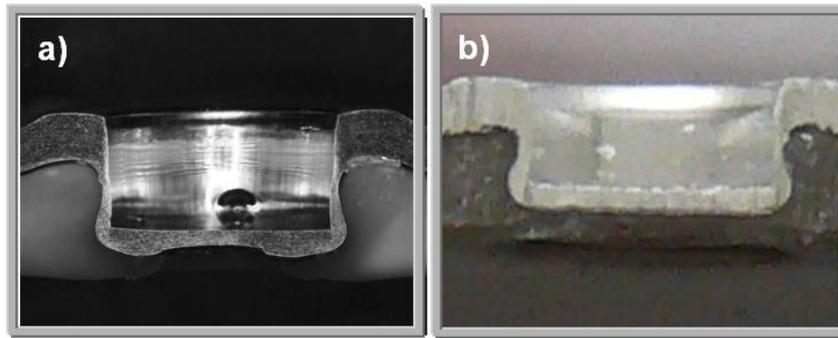


Bild 10: Hybride Flach-Clinch-Verbindung bestehend aus Aluminium und

a) Polystyrol (Bruchdehnung 45%) und b) temperiertem sprödem Polystyrol (Bruchdehnung 2%)

Neben der Herstellung von Metall-Kunststoff-Verbunden zeigte sich, dass auch reine Kunststoffverbindungen erzeugt werden können. So wurden einige experimentelle Tests mit Polyethylen und Polyamid durchgeführt. Dabei wurde erkannt, dass hier eine Art „Druckknopfeffekt“ entsteht. Die beiden Kunststoffkomponenten waren zwar formschlüssig miteinander verbunden, diese Verbindung konnte aber durch Zugbeanspruchung gelöst und durch Druck wieder hergestellt werden (Bild 11).

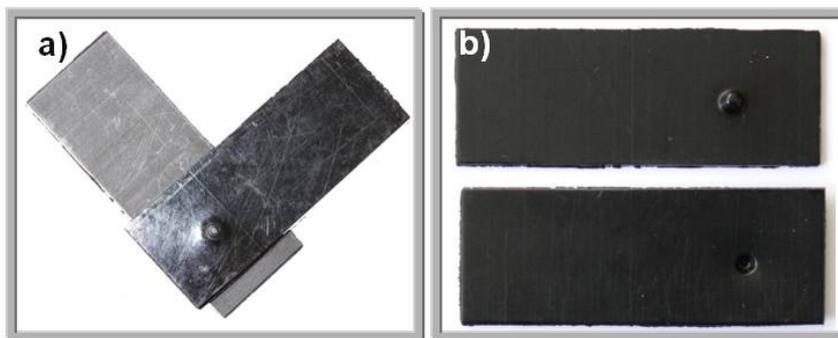


Bild 11: Flach-Clinch-Verbindung mit Polyethylenkomponenten

a) Formschluss b) separiert

Auch faserverstärkte Kunststoffe konnten als Verbundkomponente eingesetzt werden. Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) wurde stempel- und ambosseitig angeordnet und mit Aluminium mechanisch verklammert. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Fasern des Materials unversehrt erhalten bleiben und die Ausgangseigenschaften des GFK durch das Fügen nicht beeinträchtigt werden. Auch beim Einsatz von Kohlefaser verstärktem Kunststoff (CFK) als stempel- und ambosseitige Komponente konnte eine mechanische Verbindung zum Aluminium realisiert werden (Bild 12).

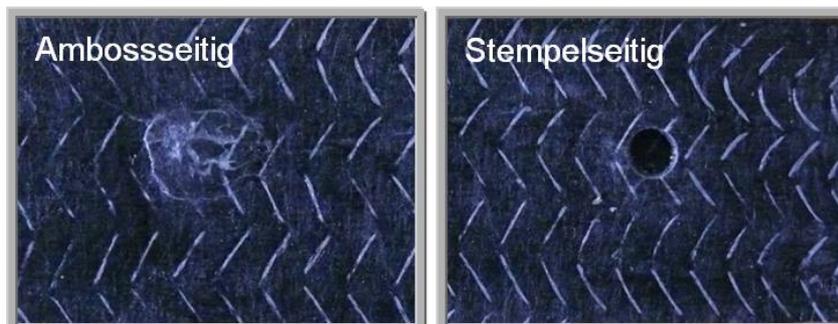


Bild 12: Hybride Flach-Clinch-Verbindung mit Kohlefaser verstärkten Kunststoffen

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die mechanische Verklammerung von Fügepartnern in der Werkstoffebene ist ein Prozess mit einer Vielzahl von Einflussfaktoren, die multifaktorielle Zusammenhänge aufweisen. Um diese zu quantifizieren und den Werkstofffluss während der Verbindungsbildung zu visualisieren, war es erforderlich, das Flach-Clinchen numerisch in einem Simulationsmodell abzubilden. Durch systematische Analyse und Quantifizierung der den Flach-Clinch-Prozess beeinflussenden Parameter war es möglich, die Haupteinflussgrößen herauszuarbeiten. Bei diesem Prozess wurde festgestellt, dass die Verbindungsbildung beim Flach-Clinchen hauptsächlich von den verwendeten Werkstoffen abhängig ist, die entsprechende Werkzeuggeometrien und Prozesskenngrößen nach sich ziehen. Die numerische Abbildung des Flach-Clinchens und die daraus folgende Technologieoptimierung führten letztendlich zur industrietauglichen Weiterentwicklung des Verfahrens. Neueste Forschungsergebnisse belegen des Weiteren, dass sich das Verfahren auch zum Verbinden artverschiedener Werkstoffe, wie z. B. Kunststoff mit Metall, eignet. Damit stellt das Flach-Clinchen eine hervorragende Möglichkeit dar, mit einer kurzen und effektiven Prozesskette flexibles Multi-Material-Design zu gewährleisten und den intelligenten Leichtbau mit Trend zum Material-Mix weiter zu intensivieren (Bild 13).

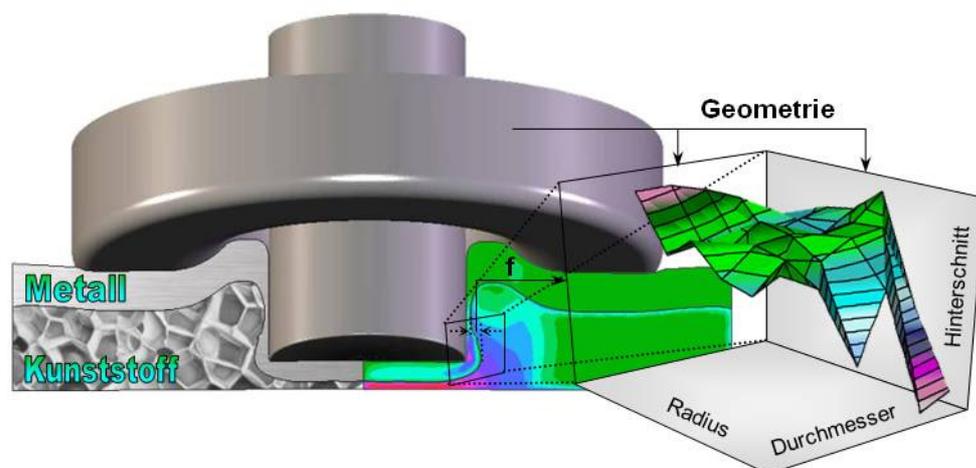


Bild 13: Mit der Flach-Clinch-Technologie zum Metall-Kunststoff-Verbund

9 Danksagung

Das Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert. Für diese Förderung und für die großzügige Unterstützung der Firma Eckold GmbH & Co. KG möchte sich die Autorin bedanken.

10 Quellen

- [1] Lesemann, M.; Bröckerhoff, M.; Urban, P.: Leichtbaukonzepte für die Zukunft. *Lightweight-design* 3/2008, S.32-36.
- [2] Rau, W.; Winterhagen, J. Der Stahlanteil geht weiter zurück. *lightweight-design* 6/2010, S. 14-16.
- [3] Ahlers-Hestermann, G.; Meschut, G.: Mechanische Fügeverfahren für den Verbundleichtbau von Karosserien auf dem Vormarsch. *Der Praktiker* (2006) 2, S. 38-42.
- [4] Riedel, F.; Todtermuschke, M.; Awiszus, B.; Beyer, U.: Flat-clinch connection – a new connection with plane surface of the die side. In: Tagungsband zur 2nd International Conference on New Forming Technology (2nd ICNFT), Bremen, 20. – 21. September 2007, S. 441-450. ISBN 978-3-933762-22-1
- [5] Awiszus, B.; Beyer, U.; Riedel, F.; Todtermuschke, M.: Simulation Based Development of the Clinch Connection with a Plane Surface on the Die Side. In: Tagungsband zur 9th International Conference on Technology of Plasticity (9th ICTP 2008), Gyeongju, Korea, 07. – 11.09.2008, S. 584-585. ISBN 978-89-5708-151-8