

Titel

Qualität schergeschnittener Metall-Kunststoff-Verbundbleche

IGF-Nr.: 19530 N

Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe,
Remscheid (IFW)

Forschungseinrichtung 2: Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen,
Hannover (IFUM)



Ansprechpartner beim IFW-Remscheid:

M. Sc. Dominik Lenz
02191 / 5921.123
lenz@fgw.de

Ansprechpartner bei IFUM-Hannover:

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Levent Altan
0511 / 762.5774
altan@ifum.uni-hannover.de

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 19530 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ausgangssituation

Eine neue Gattung von Blechwerkstoffen sind sogenannte Metall-Kunststoff-Verbundbleche in Sandwichbauweise. Bei dem in der Regel dreilagigen Verbund wird ein bis zu ca. 1,0 mm dicker Polymerkern üblicherweise von zwei Stahlblechen normaler Tiefziehgüte bzw. Aluminiumblechen mit jeweils ca. 0,2 – 0,25 mm Dicke umschlossen (Abbildung 1).

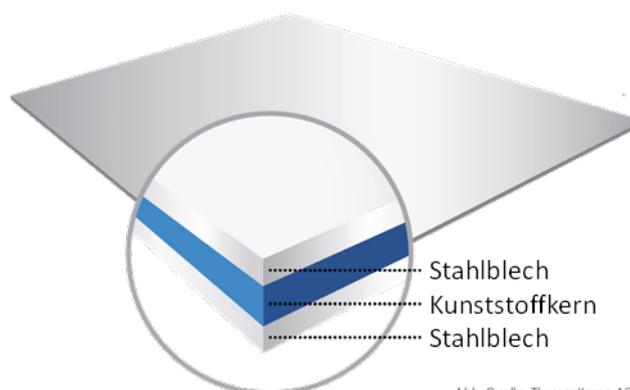


Abbildung 1: Aufbau von Metall-Kunststoff-Verbundblechen in Sandwichbauweise [THY20]

Der Polymerkern dient als schubsteifer Abstandhalter zwischen dem oberen und unteren Blech, so dass bereits bei einer geringfügigen Erhöhung der Kerndicke ein hoher Anstieg der Biege- und Beulsteifigkeit bei geringer Gewichtserhöhung erreicht wird. Aufgrund der geringen Dichte von Polymerwerkstoffen ($1,03 \text{ g/cm}^3$) gegenüber Stahl ist somit eine signifikante Gewichtseinsparung gegenüber vergleichbaren

Stahlvollblechen realisierbar [WIE07] [KLE08]. Mittels der Kombination verschiedener Schichten wird zudem eine schallisolierende und schwingungsdämpfende Wirkung erzielt. Treten Vibrationen auf, verschieben sich die Schichten relativ zueinander und die viskoelastische Schubdeformation der Zwischenschicht wandelt die eingebrachte Energie in Wärme um.

Verbundbleche finden bereits vereinzelt Anwendung im Schiffbau, in der Luftfahrt, im Bauwesen und insbesondere im Automobilbau. [VIN05] Die Einsatzmöglichkeiten im Bereich des Automobilbaus liegen sowohl bei großflächigen Innen- als auch bei Außenteilen, beispielsweise Motorhauben, Klappen, Dächer, Sitzschalen, u.v.m.



(Abbildung 2).

Abbildung 2: Potentielle Anwendungsfelder von MKV in der Karosserie [THY20]

Darüber hinaus bieten Metall-Kunststoff-Verbundbleche aufgrund der vorteilhaften Werkstoffeigenschaften auch das Potential für eine Vielzahl von weiteren Einsatzmöglichkeiten (Abbildung 3):

- Bauelemente: Türen, Tore, Wände, Lüftungsrohre, Ventilatoren, ...
- Baumaschinen: Kompressoren, Bagger, Straßenplanierer, Kranführerkabinen, ...
- Büromaschinen: Drucker-, Computergehäuse, Kopiergeräte, ...
- Elektrische Maschinen: Geschirrspüler, Waschmaschinen, Kühlaggregate, ...
- Fördersysteme: Rüttelförderer, Vibratoren, Rohrpostsysteme, Aufzüge, ...
- Werkzeugmaschinen: Gehäuse für Pressen, Verpackungs-, Textilmaschinen, ...
- Sonstiges: Stahlmöbel, Steuertische, Maschinenhauben, Kunststoffmühlen u.v.m.

Ein Großteil der Hersteller der genannten Produkte und der blechverarbeitenden Betriebe im Allgemeinen sind kleine und mittelständische Unternehmen. Die Herstellung dieser Bauteile erfolgt mittels Umformens und Scherschneidens.

Das Scherschneiden als trennendes Fertigungsverfahren für Blech ermöglicht eine hohe Ausbringungsrates bei geringen bauteilbezogenen Kosten. Geeignete Prozessparameter (z.B. Schneidspalt) zur Erzeugung von für die Verwendung des

geschnittenen Teils geeigneten Schnittflächen sind für rein metallische Werkstoffe bekannt, für Metall-Kunststoff-Verbunde hingegen noch nicht.

Beim Schneiden von Metall-Kunststoff-Verbundblechen wirkt das Schnittteil der oberen Blechlage als Schneidstempel für die mittlere und untere Lage. Infolge dessen kommt es abhängig von den Dicken der Lagen zu Form- und Lageabweichungen zwischen den Schnittflächen der einzelnen Lagen bzw. zu Maßabweichungen der Lochdurchmesser (vgl. Abbildung 3 (1)). Der Polymerkern wird darüber hinaus aufgrund der gegenüber dem Deckblech geringeren Festigkeit zwar früher plastisch verformt, die Materialtrennung erfolgt jedoch aufgrund der geringeren Duktilität des Blechwerkstoffes zuerst an den Deckblechen (2). Das kann zu einem undefinierten Ausreißen des Polymerkerns und somit einem unstetigen Schnittflächenverlauf führen (3). Weiterhin führt die geringe Druckfestigkeit des Polymerkerns zu einem starken Kanteneinzug des Deckblechs (4). Diese Effekte wurden in Voruntersuchungen beobachtet.

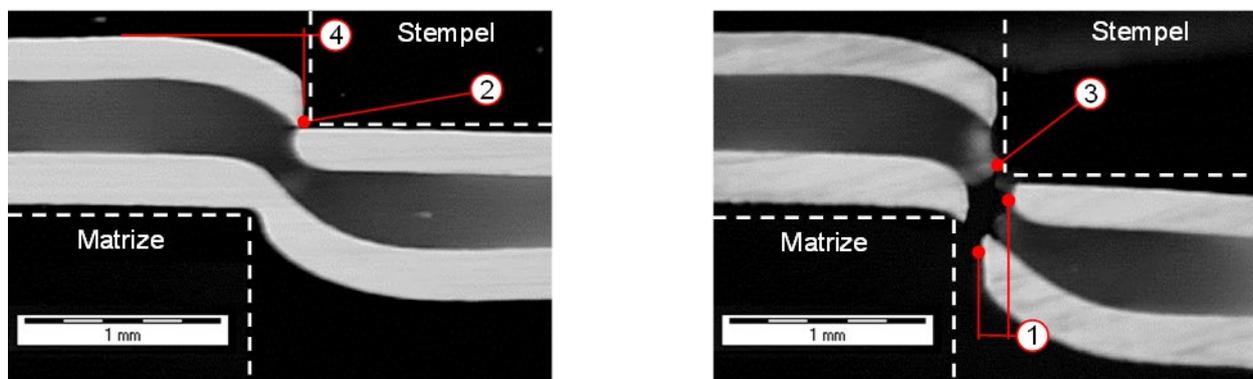


Abb. Quelle: IFUM

Abbildung 3: Effekte beim Scherschneiden von MKV (e.D.)

Diese materialspezifischen Versagensformen treten bei rein metallischen Blechwerkstoffen nicht auf und sind somit nicht in der VDI 2906 erfasst [VDI94]. Der Zusammenhang zwischen der erzeugten Schnittflächengeometrie und der Dauerfestigkeit sowie des Restumformvermögens des Bauteils ist unbekannt. Es besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der Ermittlung von geeigneten Prozessparametern sowie der mechanischen Zusammenhänge beim Scherschneiden von Metall-Kunststoff-Verbunden, so dass unter Berücksichtigung der Dauerfestigkeit und des Restumformvermögens für die Verwendung des Bauteils geeignete Schnittflächen erzeugt werden können.

Forschungsziel

Das mittels des Vorhabens verfolgte Ziel ist die Qualifizierung des Verfahrens Scherschneiden für die Verarbeitung von Metall-Kunststoff-Verbunden auf Basis wissenschaftlich fundierter Kenntnisse. Hierdurch soll ein Beitrag zur Erschließung neuer Anwendungsfelder (z.B.: Bauelemente, Gehäuse für Bau-, Büro-, Werkzeugmaschinen und Haushaltsgeräte, Stahlmöbel) und zur Etablierung von

Metall-Kunststoff-Verbundblechen in Serienproduktionen von KMU geleistet werden. Grundsätzliche Fragestellungen, die sich in diesem Zusammenhang ergeben und beantwortet werden sollen, sind:

- Wie kann ein Metall-Kunststoff-Verbund mittels Scherschneidens so getrennt werden, dass dabei eine für die Verwendung des geschnittenen Teils geeignete Schnittfläche entsteht?
- Welche werkstoffabhängigen Prozessparameter sind geeignet zum Erreichen guter Schnittflächenqualitäten?
- Welche Schäden treten an der Schnittfläche auf und wie wirken sich diese im Hinblick auf die Dauerfestigkeit und das Restumformvermögen auf die mechanischen Eigenschaften des Verbundes aus?

Zunächst wurde ein Kenntnisgewinn über den Einfluss des Prozessparameters Schneidspalt in Relation zu den Materialparametern (Kerndicke, Kernwerkstoff, Deckblechdicke, Deckblechwerkstoff) auf die erzeugte Schnittflächenqualität sowie Schäden im Werkstoffverbund angestrebt. Dies wurde mittels metallographischer Schliffbilder sowie Ausmessung der Schnittflächen analysiert.

Basierend auf den nachfolgenden Untersuchungen bezüglich der Zusammenhänge von Schnittflächenqualität und resultierender dynamischer Festigkeit sowie des Restumformvermögens der erzeugten Proben wurde eine Qualitätsrichtlinie abgeleitet. Diese ermöglicht es den Anwendern, im Vorfeld von Produktionsanläufen auf zeit- und kostenintensive Versuchsreihen zur Ermittlung optimaler Parameter zu verzichten oder diese stark einzugrenzen.

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Zunächst wurden in AP 1 in Zusammenarbeit mit dem PA Qualitätskriterien zur Bewertung der Schnittflächenqualität definiert. Die zu untersuchenden Materialparameter (Kerndicke, Kernwerkstoff, Deckblechdicke, Deckblechwerkstoffe) wurden festgelegt und die Versuchswerkstoffe beschafft. In AP 2 erfolgte parallel die Konstruktion und Fertigung eines Schneidwerkzeuges, so dass mittels diesem Schnitte mit besonders hoher Reproduzierbarkeit und Gleichmäßigkeit in Bezug auf die erzeugte Schnittfläche durchgeführt werden konnten. Anschließend wurden mit dem Schneidwerkzeug experimentelle Schneidversuche unter Variation des relativen Schneidspalts durchgeführt und Proben für weiterführende Analysen hergestellt (AP 3). Die erzeugten Proben wurden mit Hilfe von metallographischen Schliffbildern sowie zweidimensionalen Schnittflächenmessungen untersucht.

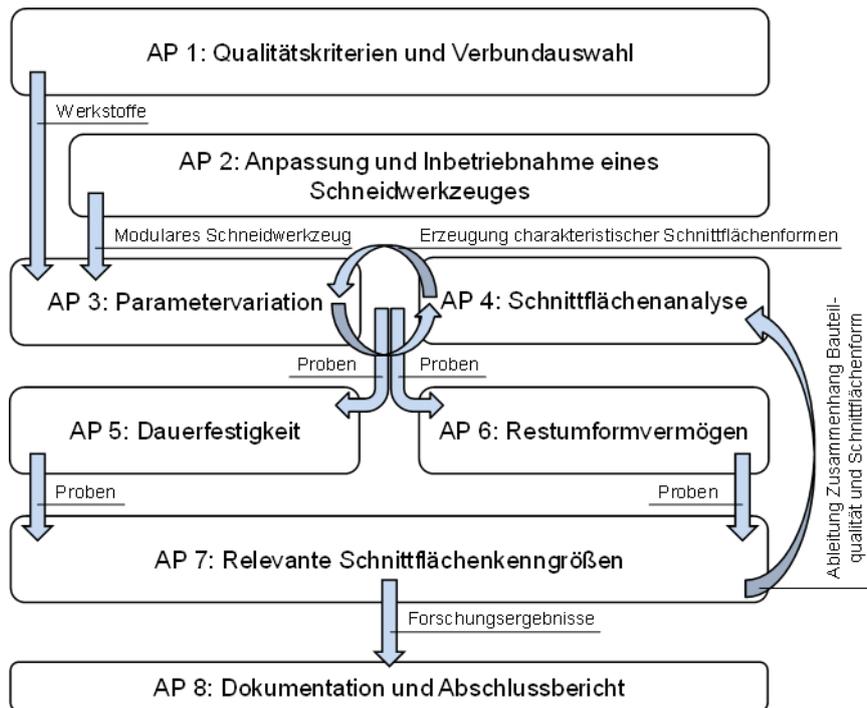


Abbildung 4: Arbeitsplan

Aufbauend auf den Ergebnissen hinsichtlich der speziellen Schnittflächenkenngrößen für Sandwichverbunde aus dem AiF/DFG-Gemeinschaftsvorhaben „Trockenscherschneiden von metallischen Schichtverbundwerkstoffen“ wurden die Schnittflächenkenngrößen dargestellt [TEK17]. Hiervon ausgehend wurden allgemeingültige Zusammenhänge abgeleitet sowie geeignete werkstoffabhängige Parameter für die untersuchten Schneidprozesse bestimmt. Beim Scherschneiden wird das Formänderungsvermögen des Materials im Kantenbereich deutlich reduziert, wodurch die Gefahr eines Risses oder von Delamination an der Kante erhöht wird. In AP 5 und AP 6 wurde der Einfluss der charakteristischen Schnittflächenformen der geschnittenen Proben sowie weiterer Referenzproben auf die Festigkeit bzw. Lebensdauer (Dauerschwingversuch) sowie auf das Restumformvermögen (Dreipunktbiegeversuch) untersucht. Im Anschluss wurden die Ergebnisse der Dauerschwing- und Dreipunktbiegeversuche ausgewertet und ein Zusammenhang zu charakteristischen Merkmalen und Vorschäden an der Schnittfläche, welche beim Scherschneiden erzeugt wurden, hergestellt (AP 7). Zum Projektende wurde der Schlussbericht zum Forschungsvorhaben erstellt sowie die Vorgehensweise und die erzielten Ergebnisse dokumentiert (AP 8). Der zugehörige Arbeitsplan ist in Abbildung 4 dargestellt.

Mit dem Scherschneiden können eine sehr hohe Ausbringungsrate und damit eine hohe Wirtschaftlichkeit gegenüber anderen Fertigungsverfahren erreicht werden. Es wird dabei empfohlen einen großen Schneidspalt zu wählen. Zum einen führt der größere Schneidspalt während der Prozessdurchführung zu einem verminderten Verschleißverhalten. Die nötigen Schneidkräfte sinken und der aufkommende Schnittschlag sowie die auftretenden Schwingungen des Stempels in der Schneidmatrize werden minimiert. Weiter sorgt der größere Schneidspalt dazu, dass

infolge querwirkender Schwingungen der Stempel und die Schneidmatrize nicht in Kontakt kommen.

Zum anderen ergeben sich optimalere Messergebnisse bei einem Schneidspalt von $u = 15\%$ der Bauteildicke. Wie die Messergebnisse zeigen, besitzen die Schnittflächen i.d.R. eine höhere Resistenz gegenüber schwingungsbehafteten Belastungen. Dies ist wiederum auch abhängig von der Wahl der Verbundmaterialien und muss daher vorab geprüft werden.

Bei einer nachträglichen Umformung ist keine Auswirkung hinsichtlich des Schneidspalts feststellbar. Das Restumformvermögen bleibt infolge einer Variation des Schneidspalts unverändert. Aus diesen Gründen wird empfohlen, Verbundbleche i.d.R. mit einem eher größeren Schneidspalt zu schneiden. Eine eventuell nötige Nacharbeit aufgrund herausgezogener Kunststoffsegmente ist abhängig vom Anwendungsfall.

Sollen wiederum Bauteile in einer geringen Stückzahl hergestellt werden, die eine Konstruktion eines Scherschneidwerkzeugs wirtschaftlich nicht vertreten, sollten diese mittels Fräsen hergestellt werden. Die Ausbringungsrate liegt gegenüber dem Scherschneiden wesentlich niedriger, doch wird eine mögliche Nacharbeit aufgrund der sehr sauber ausgeführten Schnittflächen umgangen.

Weiter ergeben sich hervorragende Ergebnisse hinsichtlich der Resistenz schwingungsbehafteter Belastungen. Eine nachgeschaltete Kontrolle auf Materialschädigungen wird jedoch empfohlen, z.B. mit Hilfe der Ultraschalltechnik oder eines μ -CT. Dieses lässt sich mittels moderner Steuerungstechniken und Messsysteme automatisieren.

Das Wasserstrahlschneiden als optionales Herstellungsverfahren ist nicht zu empfehlen. Auch hier ist die Ausbringungsrate sehr gering und ineffizient. Weiter ergeben sich infolge der abrasiven Trennung der Blechkomponenten sehr raue Schnittflächen mit einem stark ausgeprägten Schnittflächenwinkel. Die obere bzw. untere ausgeführte Gratbahn erschwert die Montage der Bauteile und erfordert einen nachgeschalteten Entgratungsprozess.

Die Strapazierfähigkeit der Schnittflächen wird infolge der ausgeformten Grate an den Deckblechen z.T. stark vermindert. Die Resistenz schwingungsbehafteter Belastungen wasserstrahlgeschnittener Bauteile liegt i.d.R. unterhalb der Schwingpielanzahl schergeschnittener Bauteile. Daher wird das Wasserstrahlschneiden zur Herstellung von Bauteilen aus Verbundblechen als ungeeignet eingestuft. Als Alternative sind hier das Scherschneiden oder wieder das Fräsen zu empfehlen, wobei dem Fräsen ergibt sich eine Steigerung der Effizienz zulasten einer geringeren Effektivität.

Zusammenfassung und Ausblick

Scherschneiden ist auch bei der Verarbeitung von Metall-Kunststoff-Verbundblechen ein empfehlenswertes Fertigungsverfahren. Die Lebensdauer von Bauteilen, die besonders hohen schwingungsbehafteten Belastungen ausgesetzt werden, kann erhöht werden, in dem diese mittels einer Fräsbearbeitung hergestellt werden. Eine Erhöhung der Lebensdauer mittels Scherschneidens hergestellter Bauteile könnte ggfs. mittels der Variation weiterer Prozessparameter erzielt werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Die Eigenschaften der Kunststoffkerne der Verbundbleche sind stark temperaturabhängig. Eine Verarbeitung von temperierten Proben könnte eine Verbesserung der Bauteileigenschaften bewirken. Insbesondere duktile Kunststoffkerne neigen aufgrund eines vergleichsweise großen Schneidspalts zu Streckzieherscheinungen. Niedrigere Schneidtemperaturen werden den Kunststoff verspröden und so möglicherweise einen Glattschnitt generieren.

Aufgrund der viskoelastischen Eigenschaft von Kunststoffen könnten mittels einer Veränderung der Schneidgeschwindigkeit weitere Verbesserungen des Bauteilverhaltens erzielt werden. Generell gilt, je schneller der Kunststoff belastet wird, desto „schreckspröder“ reagiert dieser. Auch hier könnte mit erhöhter Schneidgeschwindigkeit ein größerer Glattschnittanteil erzeugt werden.

Bei monolithischen Blechwerkstoffen hat sich der Einsatz von Schneidölen bewährt. Sie senken den Verschleiß der eingesetzten aktiven Schneidelemente und haben einen positiven Einfluss auf die Temperaturverhältnisse im Bereich der Scherzone. Im Rahmen der durchgeführten Schneidversuche konnten abrasiv bedingte Ablagerungen an der Mantelfläche der eingesetzten Schneidelemente beobachtet werden. Diese stören den fortlaufenden Produktionsprozess. Diese Problematik könnte möglicherweise mittels des Einsatzes geeigneter Schneidöle adressiert werden. Inwiefern der Einsatz von Schneidölen jedoch den Werkstoffverbund bzw. die Klebeverbindung schwächt, erfordert weitere Forschungsaktivitäten.

Ebenfalls besteht Forschungsbedarf im Hinblick auf die mittels Scherschneidens von Metall-Kunststoff-Verbundblechen sauber erzeugbaren Konturen. Insbesondere spitze Winkel an Bauteilen sollten vermieden werden, da diese aufgrund der hohen lokalen Kraftansammlung weniger gut ausgeformt werden und in Bezug auf die dargestellten Ergebnisse potentiell eine geringere Resistenz gegenüber schwingungsbehafteter Belastungen besitzen.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Weitere Informationen erhalten Sie bei Herrn M. Sc. Dominik Lenz unter 02191 5921.123.

Literaturverzeichnis

[KLE08] Kleppmann, W.: Taschenbuch Versuchsplanung – Produkte und Prozesse optimieren, Hanser, 5. Auflage, 2008

[TEK17] Tekkaya, Erman; Gutknecht, Florian; Steinbach, Frank; Volk, Wolfram: EFB-Forschungsbereich Nr. 478, Trockenschneiden von metallischen Schichtverbundwerkstoffen; Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V.; ISBN 978-3-86776-529-9; Dezember 2017

[THY20] ThyssenKrupp Steel Europe: verfügbar unter: https://www.thyssenkrupp-steel.com/media/content_1/branchen/thyssenkrupp_incar_plus_atzextra_d.pdf; Stand: 22.03.2020

[VDI94] N.N.: „VDI-Richtlinie 2906: Schnittflächenqualität beim Schneiden, Beschneiden und Lochen von Werkstücken aus Metall“, Düsseldorf, VDI-Verlag, 1994

[VIN05] Vinson, J. R.: Sandwich Structures: Past, Present and Future, In: Sandwich Structures 7: Advancing with sandwich structures and materials, proceedings of the 7th International Conference on Sandwich Structures, Aalborg University, 2005

[WIE07] Wiedemann, J.: Leichtbau – Elemente und Konstruktion, 3. Auflage, Springer-Verlag Berlin; Heidelberg, 2007