

Bewertung von Zieh- und Schutzfolien für die Umformung von organisch bandbeschichteten Feinblechen

Bernd-Arno Behrens, Sven Hübner, Simon Gnaß, Christoph Michael Gaebel¹⁾
Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Leibniz Universität Hannover

¹⁾ gaebel@ifum.uni-hannover.de

Kurzfassung

In zunehmendem Maße werden organisch bandbeschichtete Feinbleche aufgrund ihrer wirtschaftlichen Vorzüge für Blechformteile in verschiedensten Anwendungsbereichen eingesetzt. Es handelt sich hierbei prinzipiell um Verbundwerkstoffe, bestehend aus einem metallischen Trägermaterial und einer organischen Beschichtung. Unter umformtechnischen Gesichtspunkten werden die Prozessgrenzen in den meisten Fällen nicht durch den Blechwerkstoff, sondern durch die organische Beschichtung bestimmt. So kommt es im Umformwerkzeug zu einer mechanischen Beanspruchung der lackierten Oberfläche, was mit einer unzulässigen Minderung der Oberflächenqualität einhergehen kann. Dieser Artikel befasst sich mit dem Potenzial von Zieh- und Schutzfolien, die Oberfläche von organisch bandbeschichteten Feinblechen für Weiße Ware-Anwendungen im Umformprozess zu schützen. Für allgemeingültige Aussagen zur Bewertung dieser Folien werden zwei Verfahrensansätze verfolgt. Zum einen wird eine Relativbewegung zwischen dem lackierten Blech und einem flachen Werkzeugkörper realisiert. Zum anderen wird die Beanspruchung an einer Ziehkante im Umformwerkzeug nachgestellt. Als Bewertungskriterium für das Potenzial der Folien wird der resultierende Glanzwert der lackierten Oberflächen nach der Prüfprozedur betrachtet. Weiterhin erfolgt die Anwendung der untersuchten Folien in Tiefziehprozessen, wobei sich auch deren charakteristisches Versagensverhalten infolge von Umformprozessen äußert.

Schlüsselwörter

Blechumformung, Coil Coating, organische Bandbeschichtung, Weiße Ware, Ziehfolie, Schutzfolie, Werkzeugkontakt, Flächenpressung, Glanzverlust, Streifenziehversuch

Einleitung

Seit den 1960er Jahren werden organisch bandbeschichtete Feinbleche im Bauwesen sowie in der Hausgeräte- und Fahrzeugindustrie eingesetzt. Die grundlegende Strategie bei der Verwendung endlackierter Halbzeuge lässt sich mit dem angelsächsischen Ausdruck „*finish first, fabricate later*“ zusammenfassen [1]. Beim Bauteilhersteller kann somit eine Stückbeschichtung entfallen, was mit einer Ver-

kürzung der Prozesskette bzw. einer Reduktion der Fertigungstiefe einhergeht. Die aus dieser Substitution resultierenden, finanziellen Vorteile stehen jedoch Einschränkungen hinsichtlich der erreichbaren Formgebung und Oberflächenqualität entgegen [2].

Die schützenden, funktionellen sowie optischen Eigenschaften einer organischen Beschichtung werden durch verschiedenartige Beanspruchungen im

Umformprozess nachteilig beeinflusst. So folgen neben dem mechanischen Abrieb auch Haftungsverluste, Rissbildungen [3] sowie Veränderungen von Farbton, Oberflächenstruktur und Glanzwert als typische Fehlerbilder [4].

Im Bereich der Weißen Ware sind bei organisch bandbeschichteten Blechen Polyester- und Polyurethan-Lacke verbreitet, welche üblicherweise Schichtdicken von 25 bis 30 μm aufweisen. Diese Lack-systeme sind Stückbeschichtungen hinsichtlich Dehnbarkeit überlegen. Jedoch fällt die Härte und Abriebfestigkeit im Vergleich zu Stückbeschichtungen oder gar Emaillierungen deutlich geringer aus. Für den Bauteilhersteller stellen organische Bandbeschichtungen somit nur einen Kompromiss hinsichtlich Dehnbarkeit und Härte aber auch hinsichtlich des physiologischen Erscheinungsbildes (z.B. Oberflächenstruktur und Glanz) dar. Bezüglich der eingeschränkten Härte, die sich auch beim Kontakt mit einem Umformwerkzeug besonders nachteilig auswirkt, kann das Aufbringen von Kunststofffolien zum temporären Schutz des Decklacks während der Handhabungs- und Umformprozesse dienen [5].

Es existiert eine Vielzahl von Prüfvorschriften und Normen zur Beurteilung von organischen Beschichtungen auf Stahlblechen [6]. Diese zielen beispielsweise auf die Verformbarkeit der Beschichtung, ihre Härte und ihre Haltbarkeit ab. Soll die Schutzfunktion von Kunststofffolien für die Umformung von organisch bandbeschichteten Blechen bewertet werden, ist das auf den Verbundwerkstoff im Umformwerkzeug wirkende Beanspruchungskollektiv in einem Prüfverfahren nachzubilden. Nachfolgend werden in diesem Artikel zwei Prüfkonzepte dargestellt.

Versuchswerkstoff und Folien

Der betrachtete Versuchswerkstoff stellt ein Tiefziehblech DX54D+Z100 (Blechdicke 0,88 mm) mit einer ca. 30 μm dicken organischen Beschichtung dar. Wie für Haushaltsgeräte typisch weist die Beschichtung eine strukturierte Oberfläche auf, welche sich an das Erscheinungsbild einer emaillierten Oberfläche anlehnt. Die Zweischichtbeschichtung besteht hierzu aus einem Strukturprimer (Grundierung) sowie einem weißen PUR-Decklack. Den schematischen Aufbau einer Zweischichtbeschichtung auf einem verzinkten Stahlblech zeigt Abbildung 1.

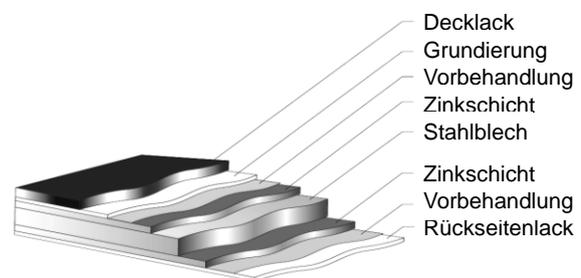


Abbildung 1: Schematischer Aufbau einer Zweischichtbeschichtung [7]

Der Versuchswerkstoff bzw. dessen organische Beschichtung weist im Anlieferungszustand einen Glanzwert von ca. 68 GU bei einem Messwinkel von 20° auf. Zur Glanzmessung wird ein Reflektometer vom Typ ZGM 1120.26 der Fa. Zehntner herangezogen. Eine Platine im Anlieferungszustand sowie ein aus dem Versuchswerkstoff exemplarisch umgeformter Napf sind in Abbildung 2 dargestellt.

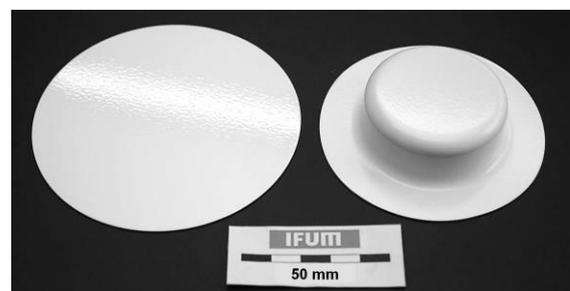


Abbildung 2: Foto eines umgeformten Napfs aus PUR-beschichtetem Feinblech

Im Vorfeld der Untersuchungen wurden fünf Schutz- und Ziehfolien beschafft, wobei bei der Auswahl eine einheitliche Foliendicke von 50 µm berücksichtigt wurde. In Vorversuchen wurden Tiefziehnapfe aus zuvor folierten Platinen angefertigt. Zwei Folien erwiesen sich hier bereits als ungeeignet für weitere Betrachtungen, da die Folien beim Umformvorgang zu starker Faltenbildung und nennenswerten Klebemasserückständen auf dem Decklack neigten. Die weiteren drei Folien konnten als prinzipiell geeignet eingestuft werden und sind nachfolgend Gegenstand der Untersuchungen. Ausgewählte Eigenschaftsmerkmale dieser drei Folien sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Ausgewählte Merkmale der Folien gemäß Herstellerdatenblätter

Folie	A	B	C
Art	Schutzfolie	Schutzfolie	Ziehfolie
Foliendicke	50 µm	50 µm	50 µm
Material	LD-PE	Polyolefin	LD-PE
Farbe	transparent	schwarz/weiß	blau-transparent
Klebe-masse	Acryl-Basis	Kautschuk/Harze	Acryl-Basis
Linearer Haftwert	65 cN/cm	85 cN/cm	k. A.

Um eine grundlegende Beeinflussung der organischen Beschichtung durch die Folienapplikation auszuschließen, wurden Platinen zunächst mit den drei Folien versehen. Nachdem diese Proben zwei Wochen ohne mechanische Belastung bei Raumtemperatur ausgelagert wurden, erfolgte nach dem Entfernen der Folien wiederum eine Glanzmessung. Wie auch in den nachfolgenden Versuchsreihen erfolgte im Anschluss keine Reinigung. Da sich anhand der Glanzwerte keine Beeinträchtigung durch die Folie bzw. die Klebmassen zum Anlieferungszustand des Versuchswerkstoffes zeigte, wird in den nachfolgenden Streifenziehversuchen

davon ausgegangen, dass eine resultierende Minderung des Glanzwerts der organischen Beschichtung eine direkte Folge der mechanischen Beanspruchung im Prüfprozess ist. Gleichmaßen wird davon ausgegangen, dass die Eigenschaften der jeweiligen Folie bzw. das Verhalten der Grenzfläche zwischen Folie und Lackoberfläche einen weiteren elementaren Einflussfaktor auf die resultierende Oberflächenqualität des Versuchswerkstoffes darstellen.

Streifenziehversuch mit flachem Werkzeugkörper

Der Prüfvorgang unter Verwendung eines flachen Werkzeugkörpers dient zur Nachbildung der Kontaktbedingungen im Flanschbereich eines Tiefziehbauteils während der Umformung. In Abbildung 3 wird der Versuchsaufbau schematisch veranschaulicht. Ein Werkzeugkörper wird mit einer Normalkraft auf einen Blechstreifen gepresst. Es erfolgt eine Relativbewegung zwischen der Oberfläche des Werkzeugkörpers und dem Decklack bzw. den darauf applizierten Folien. Die Relativgeschwindigkeit beträgt 10 mm/s. Bei diesem Versuchskonzept erfolgt keine Formänderung des Blechstreifens, sodass ein Glanzverlust lediglich auf den Kontakt mit dem Werkzeugkörper zurückgeht.

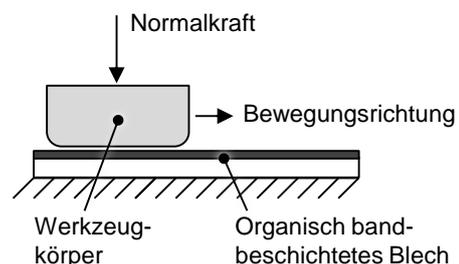


Abbildung 3: Schematischer Versuchsaufbau mit flachem Werkzeugkörper

Um eine Verletzung des Decklacks bzw. der Folien infolge der Relativbewegung zu vermeiden, weist der quaderförmige

Werkzeugkörper an den Kanten einen Radius von 5 mm auf. Der Blechstreifen ist mit 40 mm Breite breiter als die ebene Werkzeugoberfläche. Es resultiert eine Kontaktbreite von 30 mm. Als Werkzeugwerkstoff wurde der Werkzeugstahl 1.2379 mit einer Härte von 50+4 HRC gewählt. Die Rauheit der ebenen Werkzeugkörperfläche beträgt $R_a = 0,3 \mu\text{m}$. Durch die gewählte Normkraft wird eine Flächenpressung in der Kontaktzone von ca. 25 MPa erreicht. Zur Messung diente eine Prescale-Druckmessfolie der Fa. Fujifilm.

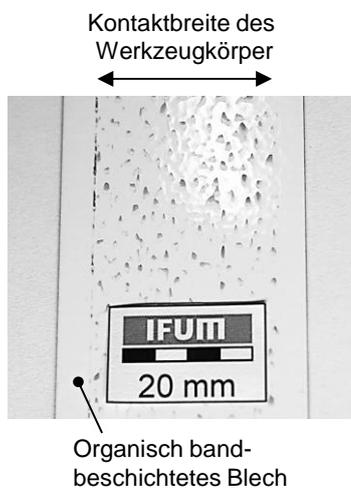


Abbildung 4: Oberfläche eines Blechstreifens nach einer Prüfung ohne Folie

In Abbildung 4 ist die Oberfläche eines Blechstreifens nach einem Prüfvorgang dargestellt. Die Relativbewegung des Werkzeugkörpers erfolgte in dieser Darstellung in vertikaler Richtung. Als charakteristisches Fehlerbild zeigen sich hier feine Kratzer und schwarze Anhaftungen, speziell auf den Oberflächenspitzen.

An den Blechstreifen wurden nach der Versuchsdurchführung bzw. nach dem Entfernen der Folien Glanzmessungen vorgenommen. Die Glanzwerte sind in Abbildung 5 gegenübergestellt. Den Glanzwert im Anlieferungszustand des Versuchswerkstoffs von 68 GU bei 20°

repräsentiert im Diagramm eine gepunktete Linie.

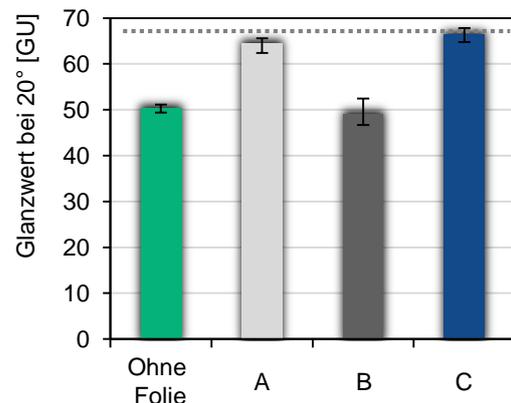


Abbildung 5: Glanzwerte infolge der Flachbackenprüfung nach dem Entfernen der Folien

Ohne Folie weist der Versuchswerkstoff nach der Prüfung einen Glanzwert von ca. 50 GU bei 20° auf. Nach Entfernen von Folie B zeigt sich ein vergleichbarer Glanzwert. Demgegenüber resultieren bei Verwendung von Folie A und Folie C deutlich höhere Glanzwerte. Diese liegen nach der Prüfung im Bereich des Anlieferungszustands des Materials. Es kann somit gefolgert werden, dass die Folien A und C im Rahmen dieser Prüfbedingungen einen hinreichenden Schutz der organischen Beschichtung vor Beschädigungen darstellen. Folie B bietet ebenfalls einen Schutz vor Kratzern und ähnlichen mechanischen Oberflächenverletzungen. Dennoch resultiert ein nennenswerter Glanzverlust, sodass das Niveau des unfoliert geprüften Materials erreicht wird. Ursächlich kann hier eine Beeinflussung der Lackoberfläche durch die Klebmasse von Folie B infolge der Flächenpressung und der Schubspannung in der Grenzfläche sein.

Streifenziehversuch mit Werkstoffumlenkung an einer Ziehkante

Im zweiten Prüfkonzept wird die Kontaktbedingung an einer Ziehkante eines

Tiefziehwerkzeugs nachgebildet. Gemäß dem schematischen Versuchsaufbau in Abbildung 6 wird ein Blechstreifen, welcher wiederum eine Breite von 40 mm aufweist, unter Zugspannung um einen Werkzeugkörper gebogen und gleitet auf diesem ab. Die Ziehgeschwindigkeit beträgt 10 mm/s. Als Werkzeugwerkstoff wurde wiederum der Werkzeugstahl 1.2379 mit einer Härte von 50+4 HRC gewählt. Zur Variation der Flächenpressung in der Kontaktzone wurden im Rahmen der Versuchsreihe drei Paarungen aus der Gegenkraft und dem Radius des Werkzeugkörpers gewählt. Mit diesen drei Paarungen resultieren maximale Flächenpressungen von ca. 25 MPa, ca. 40 MPa und ca. 60 MPa.

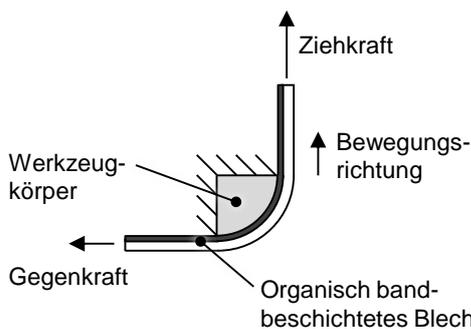


Abbildung 6: Schematischer Versuchsaufbau zur Werkstoffumlenkung an einer Ziehkante

Infolge der drei Paarungen bzw. den damit verbundenen Zugbeanspruchungen der Blechstreifen resultieren spezifische Dehnungen in den Blechstreifen. Der damit verbundene formänderungsbedingte Glanzverlust trägt zusätzlich zum Werkzeugkontakt zur Absenkung des Glanzwerts bei. Da die zur Überwindung des Reibwiderstands in der Kontaktzone notwendige Ziehkraft vom jeweiligen Reibwert abhängig ist, resultieren für die vier Paarungen aus Werkzeug- und Probenoberfläche jeweils spezifische Formänderungen in den Blechstreifen. Vor diesem Hintergrund beinhaltet die Ergeb-

nisdarstellung in Abbildung 7 die Glanzwerte der vier Probenoberflächen, mit den jeweils drei versuchsseitigen Belastungsniveaus, in Abhängigkeit der resultierenden Vergleichsformänderung. Lineare Trendlinien verdeutlichen die Glanzwertentwicklung bei Verwendung der jeweiligen Folien bzw. bei Prüfung ohne Folie über der Vergleichsformänderung. Somit wird im Diagramm eine Bewertung der Ziehfolien unter Berücksichtigung des formänderungsbedingten Glanzverlusts ermöglicht.

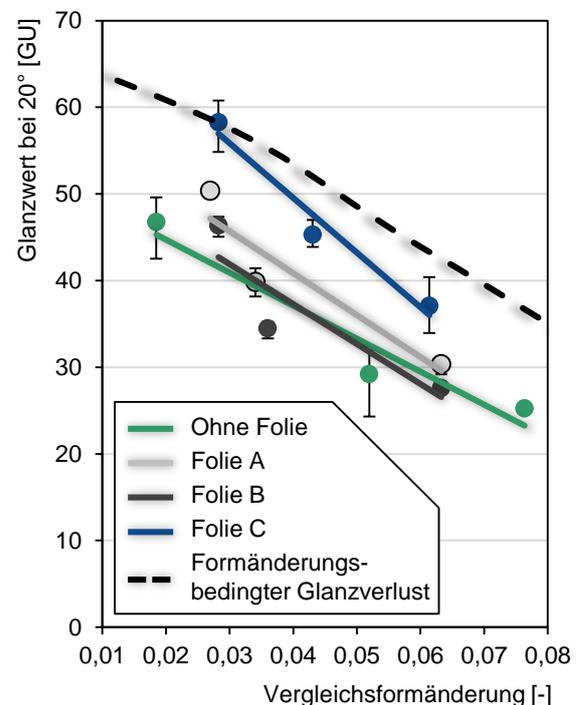


Abbildung 7: Glanzwerte infolge der Werkstoffumlenkung an einer Ziehkante bezogen auf die Vergleichsformänderung

Ohne Folie resultieren nach den Prüfvorgängen die geringsten Glanzwerte, was durch ein geringes Niveau der grünen Trendlinie veranschaulicht wird. Wie auch bei den Versuchsreihen mit flachem Werkzeugkörper weisen die Probenoberflächen bei Verwendung von Folie B vergleichbare Glanzwerte auf, wie sie ohne Verwendung von Folie resultieren (anthrazitfarbene Trendlinie). Durch die

Verwendung von Folie A (graue Trendlinie) und Folie C (blaue Trendlinie) werden hingegen vergleichsweise höhere Glanzwerte erreicht.

Zusätzlich zu diesen Ergebnissen ist im Diagramm als gestrichelte schwarze Kurve die Glanzwertentwicklung dargestellt, wie sie ausschließlich durch die eingebrachte Formänderung resultiert. Diese Ergebnisse beruhen auf umformtechnischen Versuchsreihen ohne Kontakt einer Werkzeugoberfläche zum Decklack. Der Verlauf der Kurve repräsentiert somit den formänderungsbedingten Glanzverlust dieses Versuchswerkstoffes. Gleichzeitig wird aus dem Vergleich mit den durch die Folien bedingten Glanzwertverläufen deutlich, dass beispielsweise die Folie C in der Lage ist, den werkzeugkontaktbedingten Glanzverlust nahezu vollständig zu unterdrücken.

Anwendung bei Versuchsbauteilen

Ergänzend zu den Streifenziehversuchen wurden auch Tiefziehbauteile aus folierten Materialzuschnitten umgeformt, um das Versagensverhalten der Folien mit Praxisbezug qualitativ zu betrachten. In Abbildung 8 ist im jeweils linken Bildteil der Zargen- und Flanschbereich von Rundnäpfen vor dem Entfernen der Folien dargestellt. Der Stempeldurchmesser beträgt 200 mm. Als Ziehverhältnis wurde 1,75 gewählt. Die Ziehtiefe betrug 90 mm und die Blechhalterkraft lag bei 125 kN.

Infolge der hohen Ziehtiefe von 90 mm resultierte eine hohe Dehnung in den Folien, sodass diese teilweise beim Umformvorgang versagten. Um das Versagensverhalten zu veranschaulichen sind im rechten Bildteil von Abbildung 8 zudem Blechstreifen nach einem Prüfvorgang mit flachem Werkzeugkörper nach dem Entfernen der Folien gezeigt. Es handelt sich hierbei ebenfalls um Prüflin-

ge, bei denen es zum Versagen der Folien kam. Ursächlich können hierbei neben der hohen mechanischen Belastung auch Blasen und Einschlüsse unter der Folie oder Verschmutzungen im Werkzeug sein. Ein Versagen von Folie A geht mit einem Abrieb der Beschichtungsoberfläche sowie Klebemasserückständen einher. Bei Folie B folgen in erhöhtem Maße Folien- und Klebemasserückstände auf der Oberfläche. In beiden Fällen ließen sich die Rückstände nicht ohne weiteres vom Decklack entfernen. Bei Folie C geht ein Versagen mit einem Folienabrieb einher. Die auf dem Decklack haftenden Folienreste ließen sich jedoch in nahezu allen Fällen abwischen bzw. abreiben.

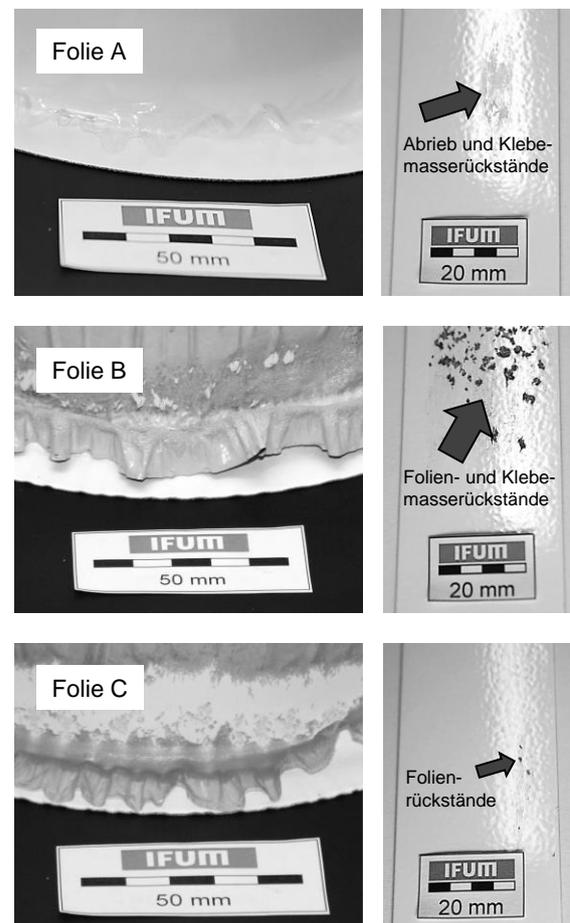


Abbildung 8: links: Zargen- und Flanschbereich von tiefgezogenen Rundnäpfen ($\varnothing 200$ mm); rechts: Folien- und Klebemasserückstände an Blechstreifen nach der Prüfung mit flachem Werkzeugkörper

In weiteren Versuchsreihen wurden Tiefziehteile mit annähernd rechteckiger Kastenform hergestellt, wobei der Versuchswerkstoff mit Folie C wie auch unfoliert umgeformt wurde. In Abbildung 9 ist der Eckbereich nach dem Umformvorgang dargestellt. Es resultierte stets ein Abriss der Folie im Eckbereich sowie ein Faltenwurf der Folie im darunter liegenden Flanschbereich. Abgesehen vom formänderungsbedingten Glanzverlust und einer visuell erkennbaren Einglättung der Oberflächenstruktur blieb die organische Beschichtung im Eckbereich dennoch intakt. Der Einsatz von Folie C kann somit als zielführend bewertet werden.

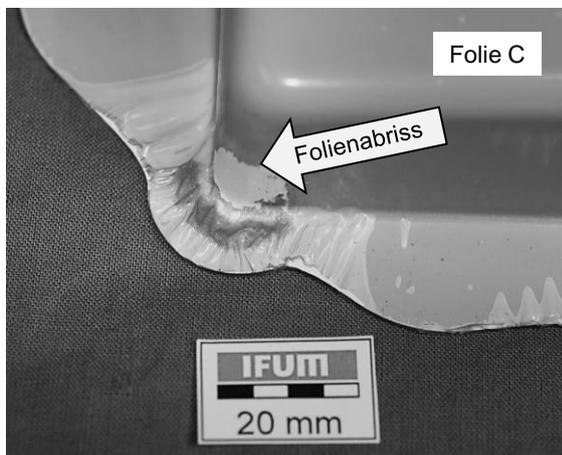


Abbildung 9: Eckbereich eines mit Folie C umgeformten Teils vor Entfernen der Folie

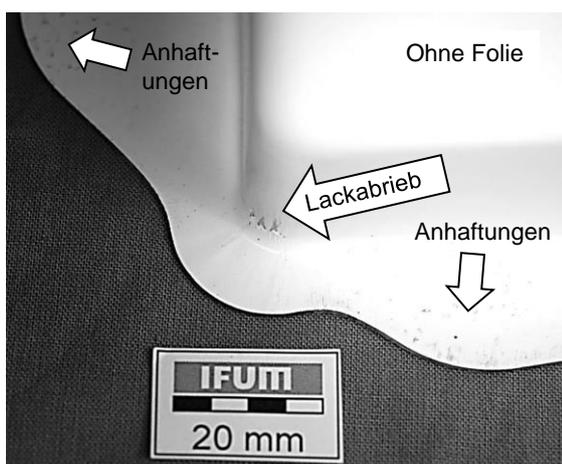


Abbildung 10: Eckbereich eines ohne Folie umgeformten Teils mit Lackschädigungen

In Abbildung 10 wird demgegenüber der Eckbereich nach dem Umformen ohne Folie gezeigt. Auf der Zarge kommt es im Außenradius zum Abrieb des Lacks. Zudem zeigen sich auf dem Flansch schwarze Anhaftungen und feine Kratzer auf den Oberflächenspitzen. Eine Umformung unter Verzicht auf eine Zieh- oder Schutzfolie erscheint unter diesen Bedingungen nicht zielführend.

Zusammenfassung

Dieser Artikel befasst sich mit Versuchsreihen zur Bewertung von Schutz- und Ziehfolien für die Umformung eines organisch bandbeschichteten Versuchswerkstoffes, welcher im Bereich der Weißen Ware Anwendung findet. Anhand von Praxisversuchen mit tiefgezogenen Versuchsbauteilen zeigte sich, dass derartige Folien im Umformprozess einen Schutz vor mechanischen Verletzungen der Lackschicht gewährleisten und einer kontaktbeanspruchungsbedingten Reduzierung des Oberflächenglanzes entgegenwirken können. Voraussetzung dafür ist, dass es infolge der Kontaktbeanspruchung im Umformwerkzeug nicht zu einer Beeinträchtigung der Lackoberfläche durch die Klebmasse der Folie kommt.

Eine Schutzfolie (Folie A) sowie eine Ziehfolie (Folie C) zeigten anhand der hergestellten Tiefziehteile sowie in Streifenziehversuchen, welche die Beanspruchung in einem Umformprozess experimentell nachbildeten, positive Effekte. Bei einem Prüfvorgang mit flachem Werkzeugkörper konnte durch beide Folien der Glanzwert des Versuchswerkstoffes auf Niveau des Anlieferungszustands beibehalten werden. In einem weiteren Prüfkonzert wurde die Werkstoffumlenkung an einer Ziehkante nachgebildet, wodurch der Versuchswerkstoff hohe Flächenpressungen in der Kontaktzone sowie infolge der Zugbelastung des Blechstreifens Formän-

derungen erfährt. Gleichermaßen wirkt dieses Belastungskollektiv auch auf die auf den Werkstoff applizierten Folien sowie dementsprechend in der Grenzschicht zwischen Folie und Decklack. In diesen Versuchsreihen zeigte sich, dass Folie C, und in geringerem Maße auch Folie A, geeignet sind, den Glanzverlust infolge der Kontaktbeanspruchung zu reduzieren. Da dieses Versuchskonzept neben der Applikation von Flächenpresungen auch eine Dehnung von Versuchswerkstoff und Folie bedingt, kann den erzielten Ergebnissen ein großer Praxisbezug zugerechnet werden.

Ausblick

Der Einsatz von Schutz- und Ziehfolien bei der Umformung von organisch bandbeschichteten Blechen zeigt ein großes Potenzial, die Qualität des Lacks während der Verarbeitungsprozesse zu erhalten. Neben Ziehoperationen sind auch nachfolgende Prozessschritte wie Beschnitt- und Abkantoperationen mit engen Biege- radien als kritisch einzustufen. Eine weiterführende Betrachtung sollte somit auch das Haftungsverhalten der Folien an

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 18105 N der Forschungsvereinigung Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. 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.

Die Autoren danken der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) und der Europäischen Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. (EFB) für die Förderung. Weiterer Dank gilt den Mitgliedsunternehmen des projektbegleitenden Ausschusses und ihren Vertretern für die Unterstützung dieses IGF-Vorhabens und die gute Zusammenarbeit.

Schnittkanten, den potenziellen Einfluss der Prozesstemperatur [8] sowie den Einfluss durch die Foliendicke auf das Versagensverhalten der Folien untersuchen.

Wie im Rahmen der Ziehfolienbewertung anhand der Streifenziehversuche mit Werkstoffumlenkung bereits erwähnt, kommt es bei der Umformung von organisch bandbeschichteten Blechen auch zu einem formänderungsbedingten Glanzverlust. Im Rahmen des IGF-Vorhabens 18105 N „Lack-FLC“ wurde am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen ein Prüfverfahren zur Ermittlung des formänderungsbedingten und dehnungszustandsabhängigen Glanzverlusts entwickelt. Die Prüfergebnisse können u.a. in numerischen Simulationen zur Optimierung des Umformprozesses und der Bauteilgeometrie verwendet werden. Zur weiterführenden Information möchten die Autoren auf den über die EFB erhältliche Forschungsbericht sowie das Merkblatt „Charakterisierung des dehnungsbedingten Glanzverlustes von organischen Bandbeschichtungen“ [9] verweisen.

Industrielle
Gemeinschaftsforschung



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Literatur

- [1] ECCA-Gruppe Deutschland e.V.: www.ecca.de (Internetpräsenz der European Coil Coating Association). 2016
- [2] Goldschmidt, A.; Streitberger, H.-J.: BASF Handbuch Lackiertechnik. 2014
- [3] Behrens, B.-A.; Gaebel, C. M.: Formability of an anti-fingerprint clear coating on satin stainless steel sheet metal, Production Engineering – Research and Development (WGP) (Prod. Eng. Res. Devel. DOI 10.1007/s11740-012-0434-2). 2012
- [4] Jandel, A.-S.; Meuthen, B.: Coil Coating - Bandbeschichtung: Verfahren, Produkte und Märkte. 2013
- [5] Stahl-Informations-Zentrum: Charakteristische Merkmale 093: Organisch bandbeschichtete Flacherzeugnisse aus Stahl. Ausgabe 2012
- [6] Norm DIN EN 10169:2012-06: Kontinuierlich organisch beschichtete (bandbeschichtete) Flacherzeugnisse aus Stahl – Technische Lieferbedingungen. 2012
- [7] Arcelor Flat Carbon Steel Europe: User Manual: Organic Coated Steel (PR-UM-OCO-EN-08/2004) (Firmenschrift). 2004
- [8] Gaebel, C. M.: Formability of an anti-fingerprint coating considering the corrosion behavior of the stainless steel substrate, WGP Congress 2013, 22./23. Juli 2013 in Erlangen, Advanced Materials Research Vol. 769, ISSN 1022-6680, pp 189-196 (Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.769.189). 2013
- [9] Behrens, B.-A.; Gaebel, C. M.: Charakterisierung des dehnungsbedingten Glanzverlustes von organischen Bandbeschichtungen - Verfahren zur Ermittlung einer Lack-FLC. Vorstellung des Merkblattentwurfs beim EFB-Arbeitskreis „Übergreifende Optimierung“, 26. Januar 2016 in Dresden. 2016