

Charakterisierung des formänderungsbedingten Glanzverlusts von organisch bandbeschichteten Feinblechen

Bernd-Arno Behrens, Sven Hübner, Thomas Zarembik, Christoph Michael Gaebel¹⁾

Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Leibniz Universität Hannover

¹⁾ gaebel@ifum.uni-hannover.de

Kurzfassung

Seit den 60er Jahren werden organisch bandbeschichtete Feinbleche im zunehmenden Maße im Bauwesen sowie in der Haushaltsgeräte- und Fahrzeugindustrie, wie z.B. für Fassaden- und Torelemente, Lkw-Aufbauten sowie Kühlschränke und Waschmaschinen, eingesetzt. Prinzipiell handelt sich es bei diesen Halbzeugen um Verbundwerkstoffe, bestehend aus einem metallischen Trägermaterial, zumeist Stahlblech, und einer organischen Beschichtung. Die grundlegende Strategie für den Einsatz von organisch bandbeschichtetem Feinblech lässt sich unter dem Ausdruck „finish first, fabricate later“ zusammenführen. Infolgedessen verkürzt sich die Fertigungstiefe beim Bauteilhersteller, was wirtschaftliche Vorzüge mit sich bringt. Diesem finanziellen Vorteil gegenüber einer kostenintensiven Stückbeschichtung stehen jedoch Einschränkungen hinsichtlich der qualitätsbestimmenden Oberflächeneigenschaften am Endprodukt und der Verarbeitungsmöglichkeiten entgegen. So werden unter umformtechnischen Gesichtspunkten die Prozessgrenzen in den meisten Fällen nicht durch den Blechwerkstoff, sondern durch die darauf befindliche Lackschicht bestimmt. Im Bereich der Weißen Ware werden organisch bandbeschichtete Feinbleche bereits für zahlreiche Gehäusekomponenten mit vergleichsweise simpler Geometrie und geringen Formänderungen eingesetzt. Die Herstellung komplexer Bauteilgeometrien birgt das Risiko einer unzulässigen Minderung der Oberflächenqualität. Einhergehend mit den eingebrachten Formänderungen kommt es infolge der Umformoperationen zu einem Glanzverlust, der eine breitere Anwendung dieser Verbundwerkstoffe in sichtbaren Bereichen verhindert. Fundierte Kenntnisse über die Abhängigkeit des Glanzverlusts von der Formänderung und dem vorliegenden Dehnungszustand können im Rahmen von Machbarkeitsanalysen genutzt werden, um den Glanzverlust zu prognostizieren und folglich frühzeitig Aussagen über die Oberflächenqualität der angestrebten Bauteile zu treffen.

Dieser Artikel befasst sich mit der Charakterisierung des formänderungsbedingten Glanzverlusts von zwei Beschichtungssystemen für den Bereich Weiße Ware. Mithilfe des Versuchsaufbaus des MARCINIAK-Tests gemäß ISO 12004-2 werden in die Materialproben definierte Dehnungszustände und Formänderungen eingestellt. Auf Basis der an den hergestellten Proben ermittelten Glanzwerte erfolgt die Darstellung des formänderungsbedingten Glanzverlusts im Formänderungsdiagramm. Einem Anwender wird es dadurch ermöglicht, eine Grenzformänderungskurve hinsichtlich des für ihn kritischen Glanzverlusts zu definieren und in Umformsimulationen zur Glanzverlustprognose anzuwenden.

Schlüsselwörter

Blechumformung, Coil Coating, Bandbeschichtung, Weiße Ware, Glanzverlust, Lack-FLC

Einleitung und Motivation

Die schützenden, funktionellen sowie optischen Eigenschaften von organischen Beschichtungen auf einem metallischen Blechwerkstoff werden durch verschiedenartige Effekte im Umformprozess nachteilig beeinflusst. So zählen Rissbildungen, Haftungsverluste, Glanzverluste sowie Rauheits- und Welligkeitsänderungen zu den typischen Oberflächenfehlern [1], die insbesondere im Sichtfeld des Kunden ein Ausschusskriterium darstellen können. Während ein Abreiben der Beschichtung eine mechanische Verletzung bei der umformtechnischen Verarbeitung oder der Handhabung [2] darstellt, resultieren die zuvor genannten Fehlerbilder infolge der durch den Umformprozess in das Material eingebrachten Formänderungen.

Die Zielsetzung dieser Untersuchungen liegt auf der Ermittlung des formänderungsbedingten Glanzverlusts, welcher noch vor dem Auftreten anderer Fehlerbilder eine besonders kritische Qualitätsgröße darstellt. Zur Ergebnisdarstellung und zur einfachen Implementierung in Umformsimulationen können beschichtungsbezogene Grenzformänderungskurven (kurz: Lack-FLCs) herangezogen werden [3]. In Analogie zur Grenzformänderungskurve eines Blechwerkstoffs zeigen Lack-FLCs das Erreichen von Formänderungen auf, welche hinsichtlich der Beschichtung als kritisch einzustufen sind.

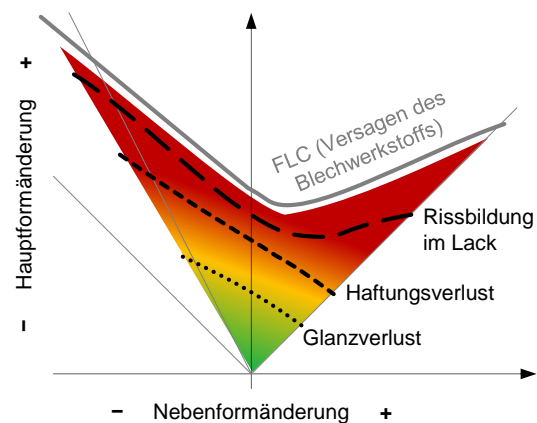


Abbildung 1: Formänderungsdiagramm mit einer FLC und fiktiven Lack-FLCs [4]

Das relevante Fehlerbild und damit das Kriterium für eine Lack-FLC hängen stets von der organischen Beschichtung sowie dem spezifischen Anwendungsfall ab. In Abbildung 1 sind anhand eines fiktiven Beispiels die FLC des Blechs sowie Lack-FLCs bezüglich unterschiedlicher Bewertungskriterien hinsichtlich der Beschichtung skizziert. Während es Ja/Nein-Kriterien gibt, die das erstmalige Auftreten eines Fehlers wie bspw. Rissbildung oder Haftungsverlust beschreiben, können auch quantitative Grenzwerte für sich mit zunehmender Formänderung stetig verändernde Bewertungskriterien herangezogen werden. Die Formänderungen, die mit dem Erreichen des Ja/Nein-Kriteriums oder des definierten Grenzwerts einhergehen, stellen die Lack-FLC dar. Die grundlegende Idee und Anwendbarkeit von Lack-FLCs wurde beispielsweise in [5,6,7,8,9] anhand unterschiedlicher Beschichtungen, Blechsubstrate und Bewertungskriterien gezeigt.

Messung des Glanzwertes

Bei Bauteilen aus organisch bandbeschichteten Feinblechen stellt, abgesehen vom Farbton, der Oberflächenglanz ein quantitativ messbares Bewertungskriterium dar. Die in Abbildung 1 dargestellte Lack-FLC (Glanzverlust) könnte beispielsweise einem formänderungsbedingten Glanzverlust von 50 % entsprechen. Im Rahmen dieses Artikels liegt der Fokus auf der Betrachtung des Oberflächenglanzes als eine hinsichtlich des physiologischen Erscheinungsbildes ausschlaggebende Bewertungsgröße. Gemäß DIN EN ISO 2813 [10] wird das Ergebnis einer Glanzmessung als Glanzwert bezeichnet und in Glanzeinheiten (GU bzw. englisch: gloss units) angegeben. Der relative Glanzverlust LG gemäß Gleichung 1 be-

schreibt weiterhin die auf den unverformten Ausgangszustand bezogene Minderung des Glanzwertes [6]:

$$LG_i = \frac{G_0 - G_i}{G_0} \cdot 100 \% \quad (\text{Gl. 1})$$

G_0 Glanzwert im Ausgangszustand

G_i Aktueller Glanzwert infolge der Umformung

In DIN EN ISO 2813 wird zwischen hochglänzenden, halbgänzenden und matten Oberflächen differenziert und aufgrund der Nichtlinearität des Messverfahrens werden spezifische Messwinkel von 20°, 60° und 85° zur Oberflächennormalen vorgeschrieben (vgl. Abbildung 2). Die zulässigen Wertebereiche für die Messwinkel sind der Norm zu entnehmen. Bei vergleichenden Messungen kann es zwischen dem Ausgangszustand und dem aktuellen, verformten Zustand einer Probe dazu kommen, dass der zulässige Wertebereich für den anfänglich verwendeten Messwinkel unterschritten wird. Aus Gründen der Vergleichbarkeit sind hierbei von der Norm abweichend die Ergebnisse des für den Ausgangszustand relevanten Messwinkels zu betrachten. Generell ist somit zwingend zu jedem Glanzwert der Messwinkel mit anzuführen.

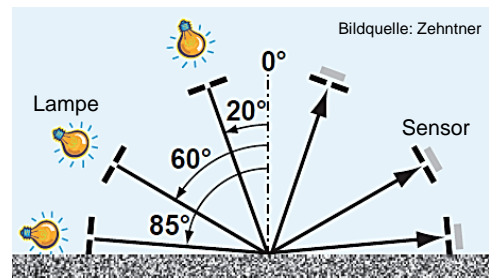


Abbildung 2: Gebräuchliche Messwinkel für die Glanzmessung [11]

Untersuchungswerkstoffe

Im Fokus dieses Artikels stehen zwei organische Bandbeschichtungen für den Bereich Weiße Ware. Es handelt sich hierbei einerseits um eine Zweischichtlackierung auf einer weichen Tiefziehgüte DX54D+Z sowie um ein Colaminat-System, welches über eine transparente Folie über dem Decklack verfügt und ebenfalls auf einer weichen Tiefziehgüte DX54D+ZA appliziert wurde. Ausgewählte Eigenschaften sowie der schematische Aufbau dieser Beschichtungen sind in Abbildung 3 veranschaulicht. Bei beiden Beschichtungen liegt im Anlieferungszustand eine hochglänzende Oberfläche vor, sodass hier gemäß [10] der Glanzwert bei einem Messwinkel von 20° zu betrachten ist. Zur Glanzmessung wird ein Reflektometer vom Typ ZGM 1120.26 der Fa. Zehntner verwendet.

Vorderseitenbeschichtung	Zweischicht-Beschichtung	Colaminat-Beschichtung	Zweischicht-Aufbau	Colaminat-Aufbau
Blechssubstrat	DX54D+Z	DX54D+ZA		
Blechedicke	0,88 mm	0,88 mm		
Aufbau der Vorderseitenbeschichtung	<ul style="list-style-type: none"> Strukturprimer (weiß) PUR-Decklack (weiß) 	<ul style="list-style-type: none"> Strukturprimer (weiß) Polyester-Decklack (weiß) PET-Folie (transparent) 		
Gesamtschichtdicke	25 bis 30 µm	k.A.		
Glanzweite der Vorderseitenbeschichtung	68 ±3 GU (20°-Messwinkel) 91 ±1 GU (60°-Messwinkel)	90 ±9 GU (20°-Messwinkel) 111 ±3 GU (60°-Messwinkel)		

Bild schematisch nach: Stahl-Informationszentrum

Abbildung 3: Spezifische Merkmale / Struktur der organisch beschichteten Feinbleche [3, 12]

Beide Untersuchungswerkstoffe verfügen über eine strukturierte Oberfläche, deren Ausführungen an stückbeschichtete bzw. emaillierte Oberflächen angelehnt sind. Bei beiden Beschichtungen wird diese Strukturierung durch den Primer erzeugt. Das verzinkte und vorbehandelte Blech ist mit einem Strukturprimer überzogen, auf welchem nachfolgend der weiße Decklack aufgebracht ist. Der weiße Strukturprimer orientiert sich farblich am Decklack, um bezüglich des Farbtons Beeinträchtigungen des Erscheinungsbildes zu vermeiden.

Versuchsaufbau und -programm

Zur Ermittlung des formänderungsbedingten Glanzverlusts der beschichteten Feinbleche werden Proben im umgeformten Zustand benötigt, die hinsichtlich Formänderungen und Dehnungszustand ein möglichst breites Spektrum abbilden. Derartige Proben weisen idealerweise auch eine ebene Fläche zur Durchführung der Glanzmessungen auf. Demzufolge wurde auf eine Umformung mithilfe des Versuchsaufbaus nach MARCINIAK gemäß ISO 12004-2 [13] zurückgegriffen. Der Versuchsaufbau ist anhand von Abbildung 4 schematisch verdeutlicht. Die Halbschnittdarstellung zeigt die Umformung einer Vollprobe mit darunterliegender, gelochter Hilfsplatte. Da die Probe und die Hilfsplatte durch den mit Klemmriemen versehenen Blechhalter außen fixiert werden, folgt bei einer Vollprobe ein biaxialer Dehnungszustand in der Probenmitte. Knochenformproben mit unterschiedlicher Stegbreite bedingen Dehnungszustände im Bereich des einachsigen Zugs sowie der ebenen Dehnung [13].

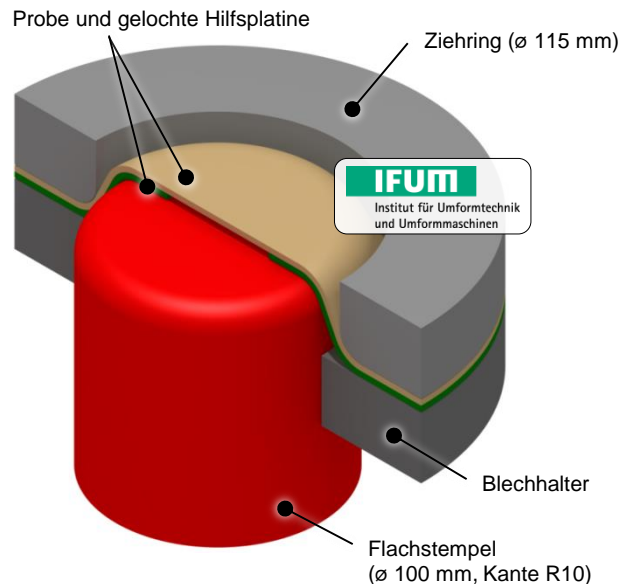


Abbildung 4: Schematischer Versuchsaufbau nach ISO 12004-2 (hier Vollprobe dargestellt) [3]

Gemäß ISO 12004-2 erfolgt zwischen der eigentlichen Probe und der Hilfsplatte keine Schmierung, wohl aber zwischen der Hilfsplatte und dem Flachstempel. Wie anhand von Abbildung 5 beispielhaft veranschaulicht ist, wurden zur Ermittlung der Formänderungen und der Glanzwerte Proben mit einem vor der Umformung applizierten deterministischen Mess-

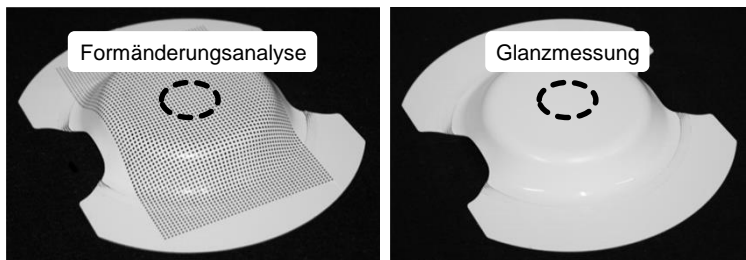


Abbildung 5: Hergestellte Proben zur Ermittlung der Formänderungen und der Glanzwerte in der Probenmitte

raster für das Formänderungsanalysesystem ARGUS der Fa. GOM sowie Proben ohne Messraster ausgewertet. Analog zu den Versuchen für eine konventionelle FLC wurden fünf Probenformen herangezogen. Bei diesen wurden zunächst die Ziehtiefen bei Risseintritt ermittelt, was die maximal erreichbare Ziehtiefe der jeweiligen Probenform darstellt. Basierend auf diesen Werten wurden je Probenform fünf Ziehtiefen von 25 % bis 75 % der maximalen Ziehtiefen eingestellt, um unterschiedliche Formänderungsniveaus zu erzeugen. Die Formänderungen der angefertig-

ten Proben bzw. die Dehnpfade der fünf Probenformen sind im Formänderungsdiagramm in Abbildung 6 dargestellt. Es ist erkennbar, dass geringere Ziehtiefen lediglich zu einer nahezu vernachlässigbar kleinen Formänderung geführt hätten. Im Gegensatz dazu würden größere Ziehtiefen zu einer als kritisch einzustufenden Blechdurchdünnung führen.

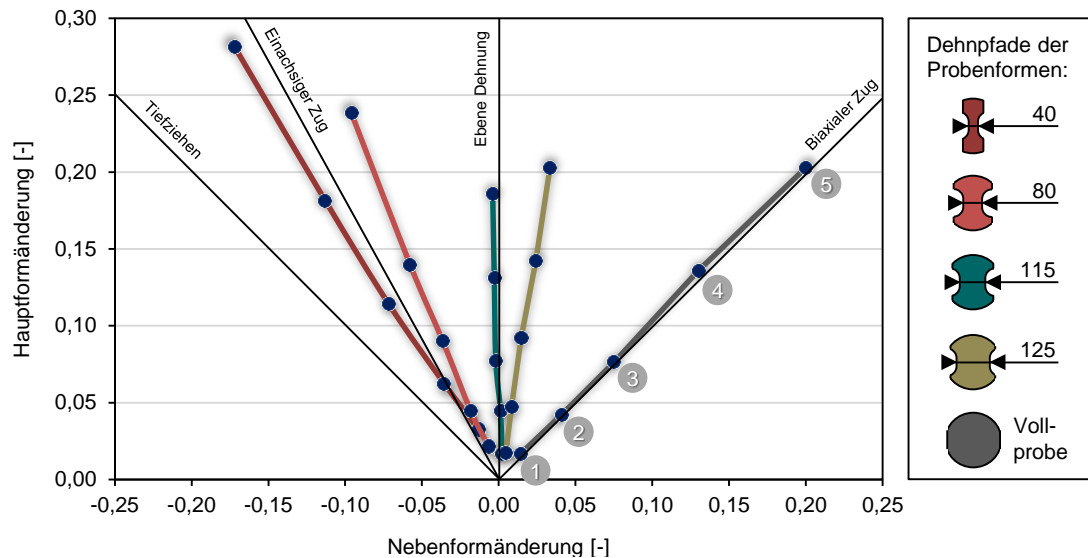


Abbildung 6: Dehnpfade der Probenformen (DX54D+Z mit Zweischicht-Beschichtung) [3]

Die Formänderungen der angefertigten Probensätze für die Feinbleche mit Zweischicht- und Colaminat-Beschichtung unterscheiden sich nur unwesentlich. Da jedoch die Zweischicht-Beschichtung im Ausgangszustand über eine deutlich ausgeprägte Struktur verfügt, wird diese Beschichtung herangezogen, um zu prüfen, ob hier der Glanzverlust oder aber die Einebnung der Oberflächenstruktur die kritische Bewertungsgröße hinsichtlich der Akzeptanz für Bauteiloberflächen im Sichtfeld des Kunden darstellt. Hierzu werden exemplarisch die umgeformten Vollproben mit den fünf Ziehtiefen (vgl. Ziffern in Abbildung 6) sowie das unverformte Probenmaterial herangezogen. Von Seiten eines Bauteilherstellers wird für die Zweischicht-Beschichtung als Akzeptanzgrenze ein Glanzverlust von 50 % bei 20° Messwinkel genannt. In Abbildung 7 sind Darstellungen der Topografie basierend auf chromatisch-konfokalen Abstandsmessungen mittels eines FRT MicroProf sowie die Abhängigkeit der Glanzwerte bei 20° und 60° Messwinkel sowie der Mittenrauheit von der Vergleichsformänderung aufgeführt. Während in der Topografiedarstellung unten links die Struktur noch im Ausgangszustand (0) vorliegt, erfolgt mit zunehmender Vergleichsformänderung bzw. Ziehtiefe (1 bis 5) eine Rauheitszunahme bei gleichzeitiger Struktureinglättung. Anhand dieser Darstellung wird deutlich, dass bereits die zweite Ziehtiefe (2) hinsichtlich des Glanzverlusts die Akzeptanzgrenze übersteigt. Die dort vorliegende Struktureinglättung fällt jedoch noch nicht kritisch aus, sodass der Glanzverlust die relevante Bewertungsgröße darstellt. Weiterhin liegt bei Betrachtung des 20° Messwinkels bis zum Erreichen der Akzeptanzgrenze eine große Sensitivität hinsichtlich der eingebrachten Formänderungen vor. Bei größeren Vergleichsformänderungen wechselt die Oberfläche jedoch zu Halb- bzw. Mattglanz und die Messergebnisse erreichen bei diesem Messwinkel den Sättigungsbereich. Infolgedessen wird in der nachfolgenden Charakterisierung des formänderungsbedingten Glanzverlusts stets der 20° Messwinkel betrachtet.

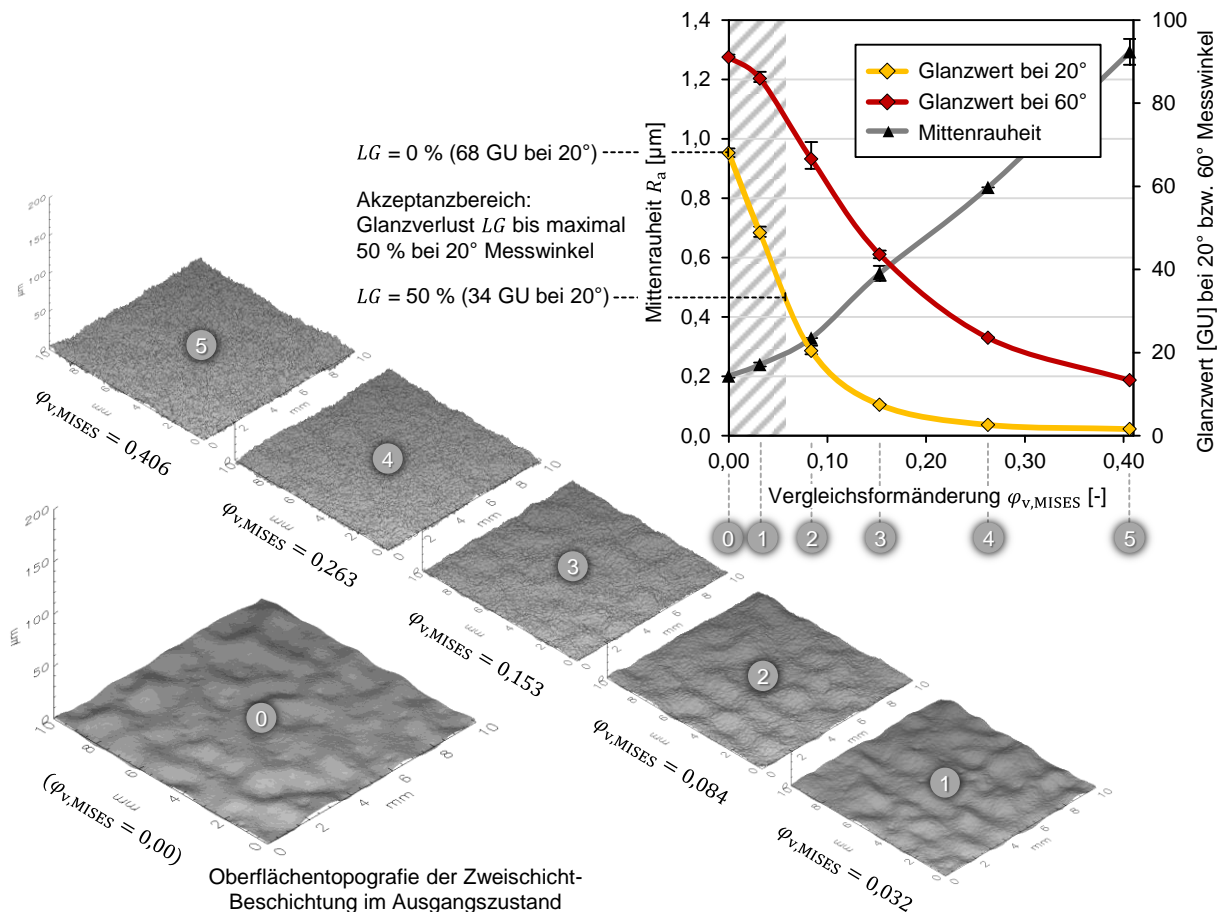


Abbildung 7: Entwicklung von Rauheit, Topografie und Glanz in Abhängigkeit der Vergleichsformänderung nach VON MISES bei Vollproben mit der Zweischicht-Beschichtung

Anhand der umgeformten Probensätze der Zweischicht- und Colaminat-Beschichtung wurden die Formänderungen sowie die Glanzwerte in einem breiten Bereich ermittelt. Basierend auf diesen Größen ist eine dreidimensionale Darstellung des Glanzwertes in Abhängigkeit der Haupt- und Nebenformänderungen und damit des Dehnungszustands möglich.

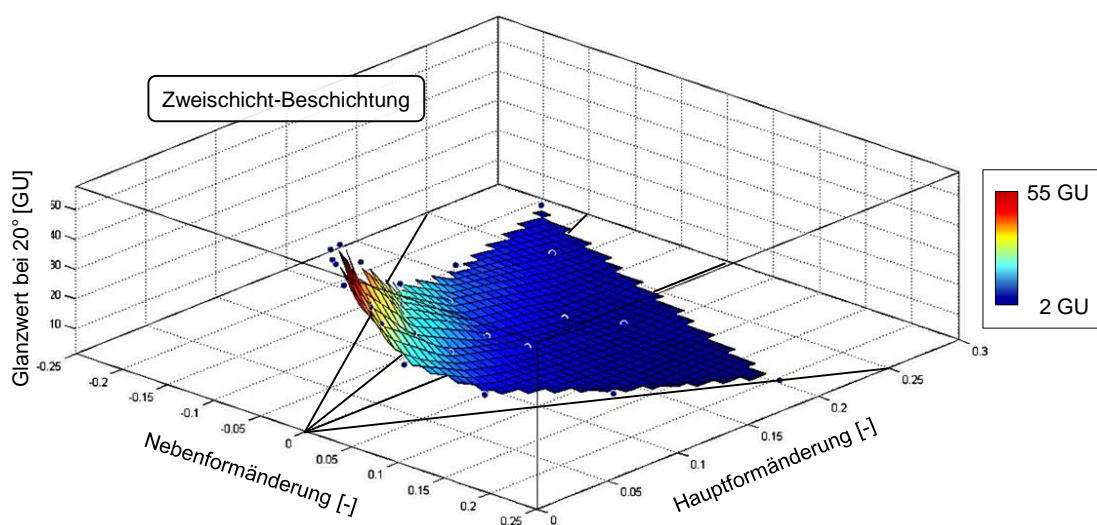


Abbildung 8: Glanzwertentwicklung der Zweischicht-Beschichtung (20° Messwinkel) [3]

Es wird eine Darstellung in Anlehnung an das Formänderungsdiagramm (FLD) gewählt. Das FLD liegt dabei in der horizontalen Ebene vor, während die Glanzwerte für den 20° Messwinkel in der Senkrechten aufgetragen sind. Eine farblich abgestufte Füllfläche verbindet die Messwertkoordinaten (blaue Kreispunkte). Hohe Glanzwerte sind rot markiert, während geringe Glanzwerte dunkelblau eingehüllt sind. In Abbildung 8 ist die Glanzwertentwicklung der Zweischicht-Beschichtung dargestellt. Analog dazu zeigt Abbildung 9 die Ergebnisse der Colaminat-Beschichtung.

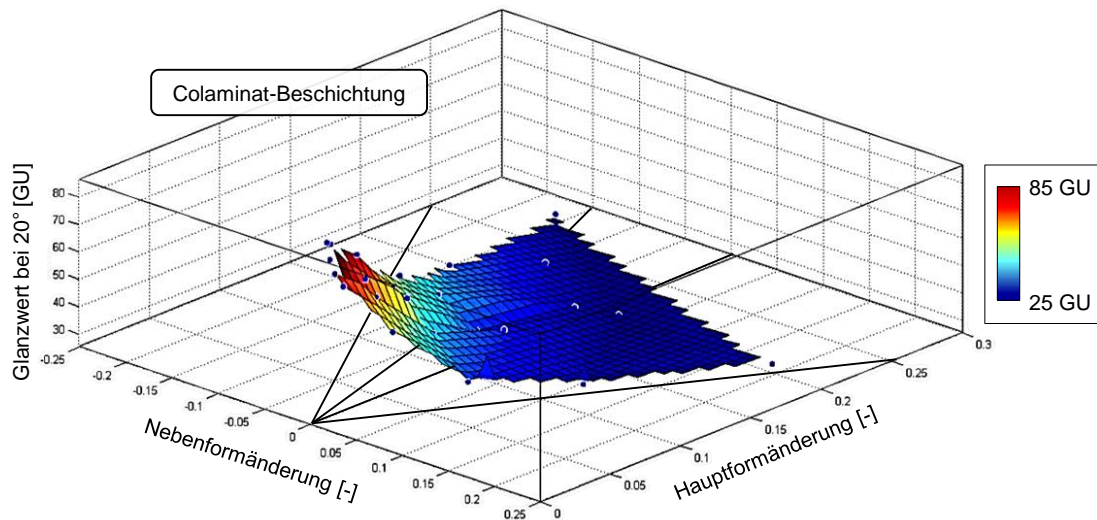


Abbildung 9: Glanzwertentwicklung der Colaminat-Beschichtung (20° Messwinkel) [3]

Anhand dieser Darstellungen zeigt sich, dass trotz des gänzlich unterschiedlichen Beschichtungsaufbaus ein prinzipiell ähnlicher Verlauf der einhüllenden Messwertfläche gegeben ist. Bei geringen Formänderungen resultieren erwartungsgemäß die höchsten Glanzwerte nahe dem Ausgangszustand. Mit zunehmender Hauptformänderung fallen die Glanzwerte deutlich ab und erreichen schließlich ein Sättigungsniveau. Darüber hinaus zeigt sich bei beiden Beschichtungen eine Abhängigkeit der Glanzwertentwicklung vom Dehnungszustand. Weiterhin muss erwähnt werden, dass die Colaminat-Beschichtung bei geringen Formänderungen ein höheres Wertenniveau als die Zweischicht-Beschichtung aufweist, was sich durch den höheren Glanzwert im Ausgangszustand begründet. Darüber hinaus ist das Sättigungsniveau der Glanzwerte bei hohen Formänderungen deutlich höher als bei der Zweischicht-Beschichtung. So weist keine Colaminat-Probe einen Glanzwert unter 25 GU bei 20° auf, während Proben der Zweischicht-Beschichtungen mit sehr hohen Formänderungen Glanzwerte von etwa 2 GU bei 20° aufweisen. Dieser Unterschied in der Glanzentwicklung kann auf die transparente Deckfolie der Colaminat-Beschichtung zurückgeführt werden. Als oberste Schicht der Beschichtung beeinflusst sie maßgeblich den Glanzwert und verfügt gegenüber der PUR-Deckschicht der Zweischicht-Beschichtung über ein durchaus anderes Dehnungsverhalten.

Zur besseren Gegenüberstellung der Ergebnisse kann auch der relative Glanzverlust LG gemäß Gleichung 1 herangezogen werden. In den Formänderungsdiagrammen in Abbildung 10 sind die relativen Glanzverluste in 10 %-Abstufungen aufgetragen. Die Kurvenverläufe resultieren aus einer PCHIP-Interpolation (stückweise kubisch hermitesche Interpolation) zwischen den Messwerten entlang der in Abbildung 6 dargestellten Dehnpfade. In diesem beschichtungsbezogenen Formänderungsdiagramm (kurz: Lack-FLD) wird die

Abhängigkeit des formänderungsbedingten Glanzverlusts vom Dehnungszustand veranschaulicht. Ergänzend zu den Kurvenverläufen sind auch lineare Trendlinien mit aufgeführt, welche verdeutlichen, dass hinsichtlich des Glanzverlusts bei beiden Beschichtungssystemen eine lineare Abhängigkeit vorliegt.

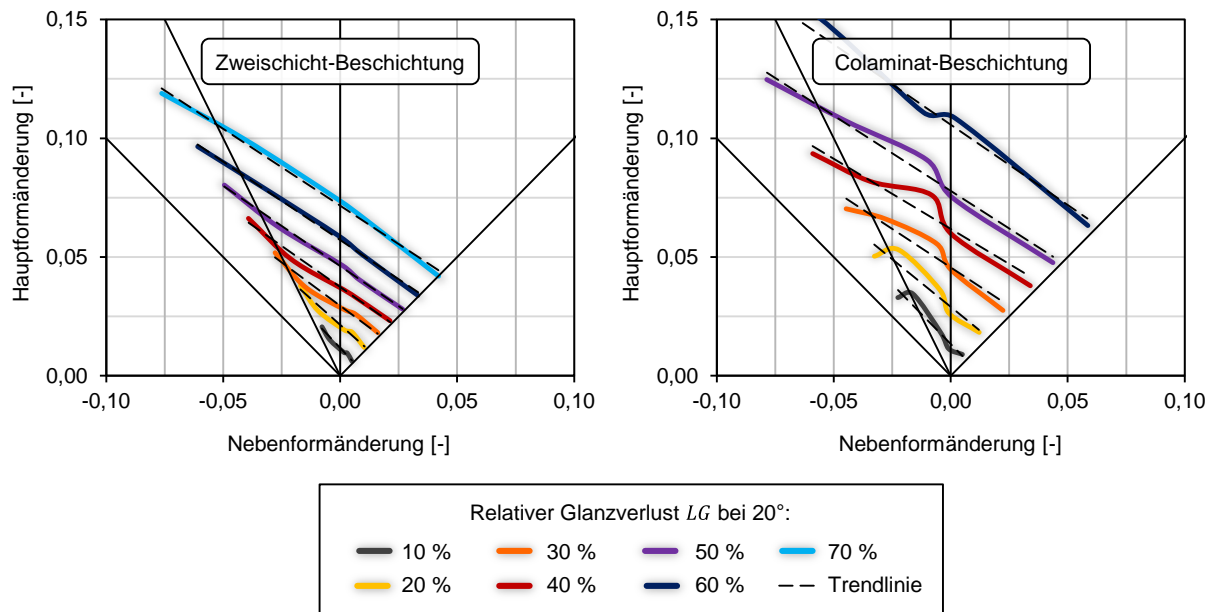


Abbildung 10: Lack-FLDs bezüglich des relativen Glanzverlusts LG (20° Messwinkel) der betrachteten Zweischicht-Beschichtung und Colaminat-Beschichtung

Anhand der beiden ermittelten Lack-FLDs kann ein potenzieller Anwender eine seinen spezifischen Qualitätsansprüchen entsprechende Lack-FLC wählen. Im Fall der Zweischicht-Beschichtung stellt ein relativer Glanzverlust von 50 % bei 20° das anwenderseitige Grenzkriterium für die Lack-FLC dar. Diese entspricht dem violetten Kurvenverlauf im linken Diagramm in Abbildung 10.

Zusammenfassung

Dieser Artikel befasste sich mit Versuchsreihen zur Charakterisierung des formänderungsbedingten Glanzverlusts von zwei organisch bandbeschichteten Feinblechen für Weiße Ware-Anwendungen. Es wurde der Versuchsaufbau des MARCINIAK-Tests gemäß ISO 12004-2 herangezogen. Abweichend zu dessen eigentlichen Einsatzzweck, der Probenumformung bis zum Risseintritt im Blechwerkstoff, wurden mithilfe dieses Versuchsaufbaus organisch bandbeschichtete Proben mit definierten Probenformen und Ziehtiefen umgeformt, um anschließend die Glanzwertentwicklung in Abhängigkeit der Formänderungen und des Dehnungszustands zu bestimmen. Hierzu wurden Probensätze mit und ohne Messraster für das Formänderungsanalysesystem ARGUS ausgewertet.

Anhand von zwei möglichen Formen der Ergebnisdarstellung wird der formänderungsbedingte Glanzverlust einer Polyurethan-Zweischicht-Beschichtung sowie einer Colaminat-Beschichtung veranschaulicht. Während die dreidimensionale Darstellungsform das Formänderungsverhalten hinsichtlich der resultierenden Glanzwerte betrachtet und damit auch den bei höheren Formänderungen vorliegenden Sättigungsbereich anschaulich darstellt, bietet die Lack-FLD-Darstellung weitere Vorzüge. In diesem zweidimensionalen Diagramm

wird der relative Glanzverlust anhand von interpolierten Kurvenverläufen skizziert. Diese Kurvenverläufe entsprechen zugleich potenziellen beschichtungsbezogenen Grenzformänderungskurven (Lack-FLCs), deren Bestimmung die übergeordnete Zielsetzung dieser Untersuchungen darstellte. Das Anwendungspotenzial von Lack-FLCs besteht insbesondere in der Nutzung als post-processing-Größe im Rahmen von Umformsimulationen zur Prognose eines kritischen Glanzverlusts. Darüber hinaus ist auch die vergleichende Bewertung von Beschichtungssystemen denkbar. Da die Qualitäts- bzw. Grenzkriterien für eine Lack-FLC stets beschichtungs- und anwendungsspezifisch sind, können prinzipiell sehr unterschiedliche Kriterien relevant sein. Neben der hier gezeigten Betrachtung des relativen Glanzverlusts könnte auch das Unterschreiten eines absoluten Glanzwerts als Kriterium für eine Lack-FLC herangezogen werden.

Ausblick

Im Rahmen des IGF-Vorhabens 18105 N „Lack-FLC“ wurden am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen umfangreiche Untersuchungen an organisch bandbeschichteten Feinblechen durchgeführt. Diese beinhalten neben der erfolgreichen Anwendung von Lack-FLCs zur Prognose des Glanzverlusts von Ziehteilen mithilfe der Simulation auch eine weiterführende Methodenentwicklung. Während die hier gezeigten Untersuchungen auf eine Analyse der Proben nach der Umformung (ex situ) basieren, wurde weiterhin auch ein in situ-Verfahren zur Ermittlung des formänderungsbedingten Glanzverlusts entwickelt. Mit diesem ist die simultane Erfassung von Formänderungen und Glanzwert während des Umformvorgangs im MARCINIAK-Versuchsaufbau möglich. Dies stellt eine sehr effiziente Vorgehensweise dar, wodurch nur wenige Proben zur Bestimmung einer Lack-FLC benötigt werden. Für weiterführende Informationen möchten die Autoren auf den über die EFB erhältlichen Forschungsbericht Nr. 444 [3] sowie das EFB-Merkblatt „Charakterisierung des dehnungsbedingten Glanzverlustes von organischen Bandbeschichtungen“ [4] verweisen.

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.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Literatur

- [1] Jandel, A.-S.; Meuthen, B.: Coil Coating - Bandbeschichtung: Verfahren, Produkte und Märkte. 2013
- [2] Behrens, B.-A.; Hübner, S.; Gnaß, S.; Gaebel, C.M.: Bewertung von Zieh- und Schutzfolien für die Umformung von organisch bandbeschichteten Feinblechen. In: umformtechnik.net Whitepaper-Publikation. Meisenbach Verlag Bamberg. 2016
- [3] Behrens, B.-A.; Gaebel, C.M.; Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung (Hrsg.): Entwicklung einer Charakterisierungsmethodik für bandbeschichtete Feinbleche / Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Leibniz Universität Hannover. Garbsen : EFB-Forschungsbericht Nr. 444, 2016. – Forschungsbericht. BMWi-Förderprogramm Industrielle Gemeinschaftsforschung, IGF 18105 N/1
- [4] Behrens, B.-A.; Gaebel, C.M.; Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung - Arbeitskreis Technologie Feinbleche (Hrsg.): Charakterisierung des dehnungsbedingten Glanzverlustes von organischen Bandbeschichtungen : Verfahren zur Ermittlung einer Lack-FLC. Hannover, EFB-Merkblatt Nr. 6350, 2017
- [5] Arcelor Flat Carbon Steel Europe: User Manual: Organic Coated Steel (PR-UM-OCO-EN-08/2004) (Firmenschrift). 2004
- [6] Pham, H.-D.: Process Design for the Forming of Organically Coated Sheet Metal. Dortmund, Technische Universität Dortmund, Fakultät Maschinenbau, Diss., 2011
- [7] Son, Y. et al.: Experimental evaluation of coating delamination in vinyl-coated metal forming. In: Journal of Mechanical Science and Technology. 2012, 26(10), 3223-3230. - DOI 10.1007/s12206-012-0824-6
- [8] 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
- [9] Behrens, B.-A.; Gaebel, C.M.: Umformtechnische Verarbeitung von Edelstahl mit Klarlackbeschichtung / Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Leibniz Universität Hannover. Garbsen : EFB-Forschungsbericht Nr. 374, 2013. – Forschungsbericht. BMWi-Förderprogramm Industrielle Gemeinschaftsforschung, IGF 16386
- [10] Norm DIN EN ISO 2813:2014: Beschichtungsstoffe – Bestimmung des Glanzwertes unter 20°, 60° und 85°, Berlin, Beuth Verlag, 2015
- [11] Zehntner GmbH: Einleitung – Glanzmessung. (Firmenschrift) Sissach, Schweiz, Verfügbar unter: www.zehntner.com/download/prospekt_intro_gloss_d_e.pdf, 2011
- [12] Stahl-Informations-Zentrum: Charakteristische Merkmale 093: Organisch bandbeschichtete Flacherzeugnisse aus Stahl. Ausgabe 2012
- [13] Norm DIN EN ISO 12004-2:2009-02: Metallische Werkstoffe - Bleche und Bänder – Bestimmung der Grenzformänderungskurve - Teil 2: Bestimmung von Grenzformänderungskurven im Labor, Berlin, Beuth Verlag, 2014