

KATHRIN MAIER, BSC

SANDWICHWERKSTOFFE: CHARAKTERISIERUNG
UND FORMGEBUNGSVERMÖGEN

Version 1.0

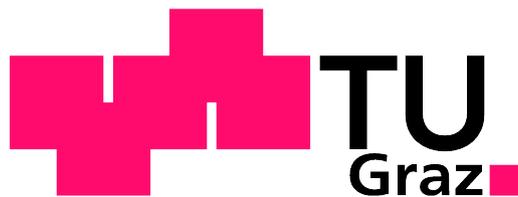
Kathrin Maier, BSc

Sandwichwerkstoffe: Charakterisierung und Formgebungsvermögen

MASTERARBEIT

Zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieurin

Masterstudium
Advanced Materials Science



Technische Universität Graz

Betreuer:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralf Kolleck

Institut für Werkzeugtechnik und spanlose Produktion

Graz, 1. Dezember 2014

Kathrin Maier, BSc: *Sandwichwerkstoffe: Charakterisierung und Formgebungsvermögen*, MASTERARBEIT

Technische Universität Graz ©

TITEL DER ARBEIT:

Sandwichwerkstoffe: Charakterisierung und Formgebungsvermögen

EINGEREICHT VON:

Kathrin Maier, BSc

Matrikelnummer: 0510682

STUDIENGANG:

Masterstudium Advanced Materials Science

Kennzahl: F 066 482

BETREUER:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralf Kolleck

Institut für Werkzeugtechnik und spanlose Produktion

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

0.1 ABSTRACT

The car - considered as the epitome of mobility - contributes significantly to the entire ecological balance. Especially carbon dioxide (CO₂) enhances global warming. CO₂ reduction is a major task for the automobile industry. In addition to fuel-saving engines and streamlined bodies the lowest possible vehicle weight shows a large impact.

Weight reduction of vehicles may be achieved through the use by light materials, such as sandwich materials, innovative design and advances in the state of manufacturing technologies. Especially for the automotive industry, sandwich materials are interesting, as they open up entirely new possibilities in terms of lightweight construction and stability.

To take advantage of expansion of mechanical strength of the components to a high degree, it is necessary to test and characterize various types of sandwich materials by deep-drawing. In this thesis sandwich materials vary in top layer materials, thickness of the core and in diameter. Concluding a study of the results and a future oriented outlook round off this work.

0.2 KURZFASSUNG

Um geforderte Umweltschutzziele zu erreichen und die globale Erwärmung zu minimieren, müssen die CO₂-Emissionen reduziert werden. Das kann in der Automobilindustrie durch kraftstoffsparende Motoren und durch ein niedrigeres Fahrzeuggewicht erreicht werden. Leichte Materialien, innovatives Design und Fertigungsverfahren sind der Schlüssel, um das Ziel der Gewichtsminimierung zu erreichen.

Der Einsatz von Sandwichwerkstoffen bietet die Möglichkeit der Gewichtsreduzierung bei gleichbleibenden mechanischen Eigenschaften. Um das Spektrum des Einsatzes von Sandwichwerkstoffen im Automobilbau zu erweitern, ist es notwendig das Formänderungsvermögen zu charakterisieren. Um Aufschluss über das Formänderungsvermögen gewinnen zu können, werden standardisierte Tiefziehversuche eingesetzt, um eine Bewertung auch im Hinblick auf andere Werkstoffe durchführen zu können.

Im Speziellen werden in dieser Arbeit Sandwichwerkstoffe mit unterschiedlichem Aufbau charakterisiert. Der Aufbau variiert im Material der Decklagen, der Dicke des Kerns und den Durchmessern. Eine Parameterstudie der Ergebnisse und ein Ausblick runden diese Arbeit letztendlich ab.

0.3 DANKSAGUNG

Für das Gelingen der Arbeit bedanke ich mich besonders bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralf Kolleck und Herrn DI Philipp Reischl, BSc.

Außerdem bedanke ich mich recht herzlich bei der Firma 4a manufacturing GmbH für die Ermöglichung und die Unterstützung des Projektes.

Besonderer Dank gilt auch dem gesamten Team des Instituts für Werkzeugtechnik & Spanlose Produktion für die vielen schönen und arbeitsreichen Stunden.

Meiner Familie und meinen Freunden danke ich für die Unterstützung während meines ganzen Studiums.



Abbildung 0.1: Institut für Werkzeugtechnik & Spanlose Produktion und 4a manufacturing GmbH

INHALTSVERZEICHNIS

0.1	Abstract	v
0.2	Kurzfassung	vi
0.3	Danksagung	vii
1	VERWENDETE ABKÜRZUNGEN	xi
i	EINLEITUNG	1
2	EINLEITUNG	2
ii	HAUPTTEIL	4
3	STAND DER TECHNIK	5
3.1	Leichtbau	5
3.1.1	Ziele des Leichtbaus	5
3.2	Verbundwerkstoffe (Komposite)	8
3.2.1	Sandwichwerkstoffe	10
3.2.2	Leichtbau Sandwichwerkstoffe	12
3.3	Umformtechnik	15
3.3.1	Umformgrad, Fließspannung und Fließkurve	17
3.3.2	Formänderungsvermögen	19
3.3.3	Grenzziehverhältnis	20
3.3.4	Grenzformänderung	21
3.3.5	Tiefziehen	23
3.3.6	Fehler beim Tiefziehen	26
3.4	Vermessung	27
3.4.1	Argus	28
4	ZIELSETZUNG DER ARBEIT	29
5	VERSUCH	30
5.1	Versuchsaufbau	30

5.2	Versuchsdurchführung	30
5.3	Untersuchter Werkstoff	31
5.3.1	Decklagenmaterialien	31
5.3.2	Schaumkern	33
5.4	Try-Out Versuche	34
5.4.1	Evaluierung der Try-Out Versuche	35
iii	VALIDIERUNG	46
6	ERGEBNISSE	47
6.1	Ergebnisse der tiefgezogenen Platinen	47
6.2	Ergebnisse der Argus Vermessung	54
iv	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	58
7	ZUSAMMENFASSUNG	59
8	AUSBLICK	61
	LITERATURVERZEICHNIS	63
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	66
	TABELLENVERZEICHNIS	68

V ANHANG	69
A ANHANG DATEN	70
A.1 Versuchsergebnisse	70
A.2 Datenblätter	78

VERWENDETE ABKÜRZUNGEN

4a Manufacturing	Firmenbezeichnung
BT	Bauteil
CCD	charge coupled device
FLC	Forming Limit Curve
GOM	Gesellschaft für optische Messtechnik
KFZ	Kraftfahrzeug
kfz	kubisch-flächenzentriert
krz	kubisch-raumzentriert
SMC-400-2.0x1.3	Bezeichnung der hydraulischen Schüler-Pressen

Die folgende Tabelle zeigt die verwendeten mathematischen Symbole und ihre Bedeutung.

Symbol	Bedeutung
a	Umformweg
A	wahre Fläche
A_0	Ausgangsfläche
A_{80}	Bruchdehnung
b	Breite
b_0	Ausgangsbreite
$\beta_{0,max}$	Grenzformänderung
d	Durchmesser
d_0	Ausgangsdurchmesser
D_0	Platindurchmesser
d_{St}	Stempeldurchmesser
dl	Längenänderung
E-Modul	Elastizitätsmodul
ϵ	Dehnung
F	Kraft
F_m	maximale Kraft
G	Schubmodul
k_f	Fließspannung
l	Länge
l_0	Ausgangslänge
φ	Umformgrad
$\dot{\varphi}$	Umformgeschwindigkeit
R	senkrechte Anisotropie

\bar{R}	mittlere Anisotropie
ρ	Dichte
σ	Spannung
σ_m	mittlere Spannung
t	Blechdicke
t_0	Ausgangsdicke
τ	Schubspannung

Teil I

EINLEITUNG

2

EINLEITUNG

Bei Klimaschutzdiskussionen und der damit verbundenen europäischen Gesetzgebung wird gefordert, den CO₂ Ausstoß für Fahrzeuge bis 2020 auf 95 g pro gefahrenen Kilometer zu senken. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es zwingend notwendig das Fahrzeuggewicht zu reduzieren. Dabei liegen die Herausforderungen im werkstofflichen und im konstruktiven Leichtbau, sowie in der Auslegung und Optimierung.

Ein viel versprechender Lösungsansatz, um attraktive Leichtbaulösungen im Fahrzeug umzusetzen, findet sich bei Sandwichwerkstoffen. Sandwichwerkstoffe bestehen mit geringem Gewicht, hoher Steifigkeit, kostengünstiger Herstellung und anwendungsorientiertem Materialaufbau.

Die Charakterisierung und das Formgebungsvermögen sind entscheidende Parameter für die optimale Nutzung für Sandwichwerkstoffe.

Um hierüber Aufschluss zu erhalten, sind standardisierte Tiefziehversuche mit der Bewertung des erzielbaren Grenzziehverhältnisses von höchster Priorität. Aufgrund des anwendungsorientierten Materialaufbaus von Sandwichwerkstoffen und der unterschiedlichen Eigenschaften ist ein Vergleich dieser Materialien notwendig. Im Rahmen dieser Arbeit werden Sandwichmaterialien mit unterschiedlichem Aufbau auf ihre Tiefziehbarkeit getestet. Um ideale Parameter und Werkzeugeinstellungen zu nutzen, werden vorab Try-Out Versuche durchgeführt. In der Hauptversuchsreihe werden die

*Klimaschutzziele:
Reduktion
Fahrzeuggewichts
notwendig*

*Sandwichwerkstoffe:
attraktive Lösung, um
Gesamtgewicht von
Fahrzeugen zu
minimieren.*

*Tiefziehversuche zeigen
das Formgebungsvermögen.*

unterschiedlichen Materialien bei einer höchstmöglichen Ziehtiefe variiert.

Der richtig gewählte Einsatz von Sandwichwerkstoffen gewährt es, den ökonomisch besten Materialmix zu erhalten und das Gesamtgewicht maßgeblich zu reduzieren, um somit das Gesetz für den CO₂ Ausstoß einzuhalten und die Umwelt zu schonen.

Teil II

HAUPTTEIL

3

STAND DER TECHNIK

3.1 LEICHTBAU

Definition 1: *Leichtbau ist eine Konstruktionstechnik, die unter integrativer Nutzung aller konstruktiven, werkstoff- und fertigungstechnischen Mittel bei der Gesamtstruktur und bei deren Elementen die Masse reduziert und die Gebrauchsgüte erhöht (Abbildung 3.1). [7]*

Definition Leichtbau

Leichtbau in Straßen- und Schienenfahrzeugen, Luft- und Raumfahrt, Werkzeugmaschinen, Apparaten und Robotern - so vielfältig wie die Anwendungen des Leichtbaus, so unterschiedlich sind auch seine Zwecke, Mittel und Bedingungen im Einzelfall. Dementsprechend breit ist auch seine theoretische und technologische Bandbreite. [27]

Anwendungsgebiete des Leichtbaus

Gesetzliche Bestimmungen zur Reduktion von Schadstoffemissionen, Energieersparnis, idealer Einsatz der Werkstoffressourcen, Biokompatibilität und die Möglichkeit zum Downsizing sind die treibenden Kräfte für den Leichtbau (Abbildung 3.1).

Treibende Kräfte des Leichtbaus

3.1.1 Ziele des Leichtbaus

Im Leichtbau wird ein minimales Baugewicht unter höchstmöglicher Ausnutzung angestrebt. Aufgrund der nutzbaren Werkstoffkennwerte und der zulässigen Verformung entstehen jedoch Einschränkungen. Daher werden in der Praxis meist Kompromisse in Bezug auf den Werkstoff, die Herstellung oder die Bauweise eingegangen. Insofern

Ziele des Leichtbaus



Abbildung 3.1: Einflussfaktoren Leichtbau [27]

ist ein optimierter Leichtbau umzusetzen - hier ist aber nicht mit einer Kostensenkung gegenüber Massivbauteilen zu rechnen. Mehrkosten fallen an, da die Konzeption im Werkstoffeinsatz, in der Herstellung und Untersuchung sehr aufwändig ist. Beim Vergleich der Vor- und Nachteile soll der Kosten-Nutzen-Faktor nicht außer Acht gelassen werden. [8]

In der Fahrzeugtechnik hat eine Gewichtsreduzierung große Vorteile [8]:

Vorteile des Leichtbaus

- geringerer Rollwiderstand
- geringerer Beschleunigungswiderstand
- geringerer Steigungswiderstand
- weniger Treibstoffverbrauch
- weniger CO₂ Emissionen
- insgesamt geringerer Energieverbrauch.

Dabei muss darauf geachtet werden, dass die Funktion, die Sicherheit und die Lebensdauer nicht herabgesetzt werden dürfen. [8]

Der gegenwärtige Leichtbau ist besonders geprägt von den Fortschritten in der Materialwissenschaft, der Füge- und Umformtechnik und der Finite Elemente Methode. Der Fortschritt in der Materialwissenschaft, ermöglicht es mit metallischen und polymeren Verbundwerkstoffen Hochleistungswerkstoffe mit hoher Funktionalität, hoher Steifigkeit und geringem Gewicht bereitzustellen. [14]

Leichtbau wird beeinflusst von: Materialwissenschaft, Füge- und Umformtechnik und Finite Elemente Methode.

Die Anforderungen an den Leichtbau werden immer höher und die interdisziplinäre Ingenieurwissenschaft rückt in Gebieten wie der Festigkeitslehre, Informatik, Materialwissenschaft und der Fertigungstechnik immer näher zusammen.

Es werden drei verschiedene Leichtbaustrategien unterschieden [14]:

Leichtbaustrategien

- Stoffleichtbau
- Formleichtbau
- Bedingungsleichtbau

Der ursprüngliche Werkstoff wird durch einen anderen Werkstoff mit besseren Eigenschaften, bezogen auf das Gewicht, ausgetauscht. Das kann durch Substitution von konventionellen Stahlwerkstoffen durch neuartige, höher-feste Stähle, Aluminiumlegierungen oder Verbundwerkstoffe erfolgen. (zB: Titanschrauben statt Stahlschrauben, pressgehärtete B-Säule) [7]

Stoffleichtbau

Durch gezielte Adaption der Werkstückmassen an die Belastungssituation wird die Werkstoffverteilung der Tragstruktur abgestimmt. Es werden dazu Bereiche höherer Belastung verstärkt, während bei geringer belasteten Bereichen die Blechdicken reduziert werden. (zB: Tailor Rolled Blanks) [7]

Formleichtbau

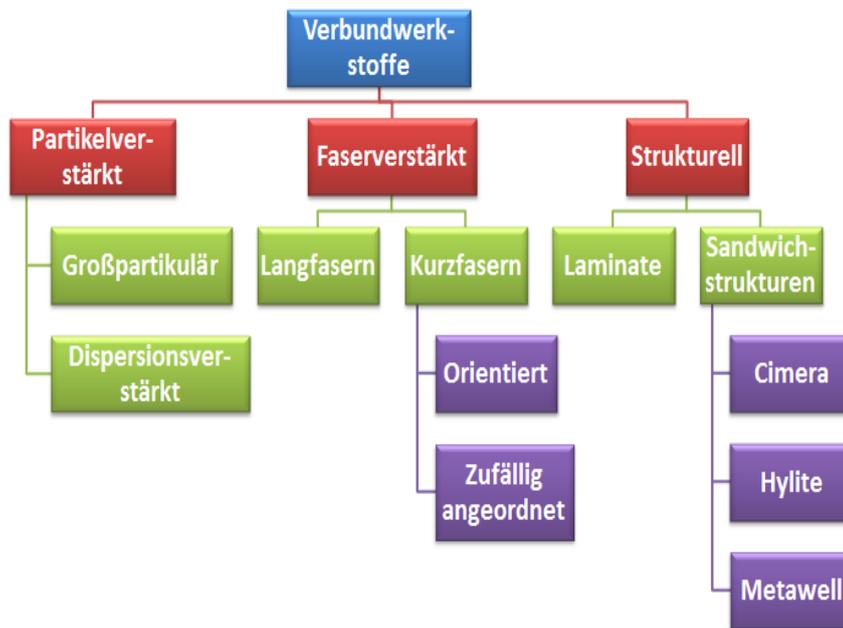


Abbildung 3.2: Klassifizierungsschema für Verbundwerkstoffe [22]

Genaue Analyse der Einsatzbedingungen und der Zuverlässigkeit werden für Gewichtseinsparungen berücksichtigt. (zB: KFZ Unterbodenplatte) [8]

Bedingungsleichtbau

3.2 VERBUNDWERKSTOFFE (KOMPOSITE)

Verbundwerkstoffe bestehen aus mindestens zwei Werkstoffen, die unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Dadurch wird ein Werkstoff mit neuen Eigenschaften, der die einzelnen Bestandteile der beteiligten Ausgangswerkstoffe übertrifft, generiert. Durch die Kombination der Werkstoffe wird eine Verbesserung der Werkstoffeigenschaften und der Zähigkeit angestrebt. Vorteile entstehen in den hohen spezifischen Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften. [22]

*Verbundwerkstoffe:
mindestens zwei
Werkstoffe mit
unterschiedlichen
Eigenschaften*

Um Verbundwerkstoffe zu klassifizieren, wird oft das Schema in Abbildung 3.2 herangezogen.

Partikelverstärkte Verbundwerkstoff bestehen aus einer gleichachsigen dispersen Phase. Dadurch ist die Ausdehnung der Partikel in alle Richtungen nahezu gleich. [22]

*Partikelverstärkte
Verbundwerkstoffe*

Partikel in Teilchenverbunden besitzen unterschiedliche Geometrien, sollten aber circa die gleiche Längenausdehnung in alle Raumrichtungen haben. Um eine gute Verstärkung zu erreichen, werden möglichst kleine Partikel, die gleichmäßig in der Matrix verteilt sind, angestrebt. Mechanische Eigenschaften und der E-Modul hängen vom Volumenverhältnis der beiden Phasen des Verbundwerkstoffs ab. [22]

*Großpartikuläre
Verbundwerkstoffe*

Feine Partikel eines sehr harten Werkstoffs können metallische Werkstoffe verstärken. Die Partikel müssen so gewählt werden, dass sie nicht mit dem Matrixwerkstoff reagieren.

*Dispersionsverstärkte
Verbundwerkstoffe*

Bei Faserverstärkten Kompositen liegt die disperse Phase in Faserform vor. Hohe Festigkeit und/oder Steifigkeit in Bezug auf die Masse kann mit faserverstärkten Verbundwerkstoffen erreicht werden. [22]

*Faserverstärkte
Verbundwerkstoffe*

Langfaser Verbundwerkstoffe hängen stark vom Spannungs-Dehnungs-Verhalten der Fasern und der Matrixphase sowie dem Volumenverhältnis und der Richtung der Spannungen ab. Die Länge der Fasern bewegt sich zwischen 1 mm und 50 mm. Die Eigenschaften eines Langfaser-Verbundwerkstoffs sind, aufgrund der Faserausrichtung, anisotrop (=richtungsabhängig). [22]

*Langfaser
Verbundwerkstoffe*

Kurzfasern in Verbundwerkstoffen haben eine Länge zwischen 0,1 mm und 1 mm. Durch die Kürze der Fasern ist der Verstärkungseffekt nicht so ausgeprägt wie bei Lang- oder Endlosfasern. Durch die Orientierung der Fasern verhält sich der Werkstoff anisotrop, was zu einer maximalen Festigkeit entlang der Faserausrichtung führt. [22]

Orientierte Kurzfasern

Kurzfaserverbundwerkstoffe mit statistisch angeordneten Fasern werden bei Bauteilen mit Spannungen aus unterschiedlichen Richtungen vorzugsweise eingesetzt. Durch statistische Anordnung der Fasern verhält sich der Werkstoff isotrop. [22]

Kurzfaserverbundwerkstoffe statistisch angeordnete Fasern

Bei Strukturverbundwerkstoffen hängen die Eigenschaften nicht nur von den Werkstoffeigenschaften, sondern ebenso vom geometrischen Aufbau der Strukturelemente ab. Die Strukturbauteile können homogen oder aus Verbundwerkstoffen aufgebaut sein. [22]

Schichtverbundwerkstoffe

Lamine bestehen aus verklebten gestapelten Schichten aus zweidimensionalen Lagen oder Platten, die in eine bevorzugte Richtung eine hohe Festigkeit aufweisen. Die Ausrichtung der Lagen wechselt sich von Schicht zu Schicht ab, um eine relativ hohe Festigkeit in allen Richtungen zu erhalten. [22]

Lamine

3.2.1 Sandwichwerkstoffe

Sandwichwerkstoffe kombinieren geringes Gewicht mit hoher Steifigkeit und Festigkeit. Sie kommen daher oft als Trägerelemente zum Einsatz. Ein Sandwich-Blech besteht aus zwei äußeren Deckschichten, in deren Mitte sich ein fest verklebter Kern befindet (Abbildung 3.3). Die Deckschichten bestehen aus einem relativ steifen und festen Werkstoff. Der Kernwerkstoff ist leicht und hat einen niedrigen E-Modul. [22]

Sandwichwerkstoffe: geringes Gewicht, hohe Steifigkeit und Festigkeit

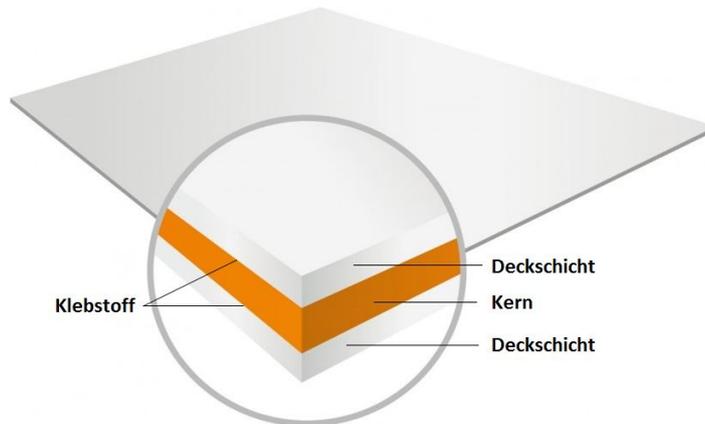


Abbildung 3.3: Aufbau Sandwichwerkstoff [20]

3.2.1.1 Decklage

Die Decklagen bestehen meist aus Stahl, Aluminiumlegierungen, faserverstärkten Kunststoffen oder Titan. Die beiden Decklagen geben der Struktur die nötige Steifigkeit und Festigkeit. Die Dicke der Decklage muss genügend dick sein, um äußeren Zug- und Druckspannungen entgegen zu wirken.

Decklagen sind meist aus Stahl, Aluminium, faserverstärkten Kunststoffen oder Titan.

3.2.1.2 Schaumkern

Der Kernwerkstoff hat meist einen niedrigen E-Modul. Häufig verwendet werden feste Polymerschäume wie Phenoplaste, Epoxide oder Polyurethane. Ebenso wird auch ein Holzkern oder ein Kern aus einer Wabenstruktur verwendet. Der Kern stützt vor allem die Deckschichten. Ausreichende Scherfestigkeit und genügend Dicke muss der Kern aufweisen, um gegenüber quer verlaufenden Scherspannungen zu bestehen. Zug- und Druckfestigkeit des Kerns sind deutlich geringer als in den Decklagen.

Der Kern besteht aus Werkstoffen mit einem niedrigen E-Modul.



Abbildung 3.4: Sandwichmaterial Hylite [1]

3.2.1.3 Kleben

Definition 2: *Kleben ist das Fügen von gleichen oder ungleichen Werkstoffen unter Verwendung eines Klebstoffes.*

Durch das Kleben wird der Grundwerkstoff wenig beeinflusst und es können unterschiedlichste Werkstoffe verbunden werden. Diesen Vorteilen steht jedoch eine geringe thermische Belastbarkeit der Klebeverbindung gegenüber. Klebstoffe fügen durch die Oberflächenhaftung (Adhäsion) zwischen dem Fügeteil, dem Bindemittel und der inneren Festigkeit des Bindemittels selbst (Kohäsion) gleiche und unterschiedliche Werkstoffe. [12]

3.2.2 Leichtbau Sandwichwerkstoffe

Hylite ist aus Aluminiumdecklagen, einem Polypropylenkern und zwei Schutzfolien aufgebaut (Abbildung 3.4). Aufgrund der Schutzschicht sind viele unterschiedliche Fügeverfahren anwendbar. Das Material Hylite ist umformbar, temperaturbeständig bis 150° und biegesteif. [1]

Hylite

Metawell besteht aus zwei Decklagen aus Aluminium. Zwischen den beiden Decklagen befindet sich ein wellenförmiges Blech (Abbildung 3.5). Durch diesen Aufbau ergibt sich ein sehr leichtes und

Metawell

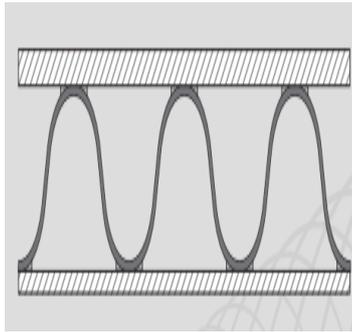


Abbildung 3.5: Sandwichmaterial Metawell [10]

biegesteifes Material mit einer ebenen Oberfläche. Je nach Anwendung werden unterschiedliche Materialaufbauten und Beschichtungen kombiniert. Genaue Informationen dazu befinden sich im Datenblatt der Firma Metawell GmbH. [10]

Alucobond besteht aus zwei Aluminiumdeckschichten und einem Kunststoffkern. Das Material weist eine hohe Planheit, Farbvielfalt und leichte Verformbarkeit auf. [2]

Alucobond

Litecor ist ein Stahl-Polymer-Werkstoffverbund und besteht aus zwei 0,2 mm bis 0,3 mm dicken Stahlblechen, dazwischen befindet sich ein 0,3 mm dicker Kunststoffkern. Dieser Verbund ist biege- und beulsteif, besitzt eine hohe Festigkeit und niedriges Gewicht. Materialspezifische Informationen werden von der Firma Thyssen Krupp AG im Datenblatt zur Verfügung gestellt. [19]

Litecor

Der Sandwichwerkstoff Cimera ist derzeit der dünnste Sandwichwerkstoff der Welt. Durch die steifen Decklagen und den sehr leichten Kern kann eine hohe Steifigkeit bei geringem Gewicht erreicht werden. Im Vergleich zu Stahl kann eine Gewichtseinsparung von bis zu 80 % erreicht werden. Aufgrund der optimierten und anwendungsbezogenen Kombination der Materialien kann am Rohmaterial gespart werden, wodurch niedrige Umformkräfte zum Einsatz kommen. In Abbildung 3.6 ist die deutlich höhere Festigkeit des Sandwichwerkstoffs Cimera im Gegensatz zu Aluminium, bei einer Belastung von

Cimera

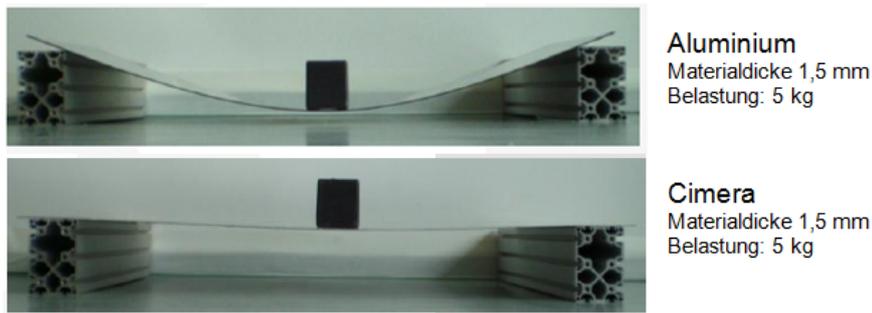


Abbildung 3.6: Belastung 5 kg, Blechdicke 1,5 mm Aluminium und Cimera [4]

5 kg und einer Blechdicke von jeweils 1,5 mm zu sehen. Zusätzlich zur höheren Festigkeit, kann eine Gewichtseinsparung von 45 % erreicht werden. Im Gegensatz zu anderen Leichtbauwerkstoffen ist das Material Cimera auch kostengünstiger. Je nach Anforderung kann die Dicke der Deckschichten und des Kerns variieren und produktspezifisch angepasst werden. Daher kann eine große Bandbreite von Anwendungen, wie zum Beispiel Lautsprecher, Aufhängungselemente für KFZ-Flüssigwasserstofftanks und Unterbodenplatten, abgedeckt werden. [4]

3.2.2.1 Herstellungsverfahren vom Sandwichwerkstoff Cimera

Die Produktion des Sandwichmaterials Cimera wird speziell auf das Endprodukt angepasst. Schaumfolien werden ab einer Dicke von 0,15 mm bis 3 mm mit dem Schneidverfahren hergestellt. Schaumplatten mit mehr als 3 mm Dicke werden direkt geschäumt. Mit einer Laminieranlage wird das Verbundmaterial mit der Hot-Melt Klebtechnik hergestellt. Der Zuschnitt der Lamine erfolgt über Rollenschneider. [4]

Cimera wird mittels Hot-Melt Klebtechnik in einer Laminieranlage hergestellt.

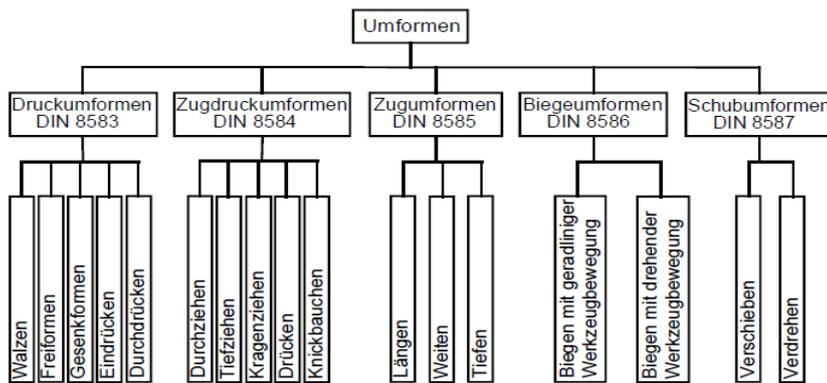


Abbildung 3.7: Unterteilung der Umformverfahren [6]

3.3 UMFORMTECHNIK

Definition 3: Umformtechnik ist eine Gruppe aus verschiedenen Verfahren der Fertigungstechnik, durch die die Form eines festen Körpers, unter Beibehaltung der Masse und des Stoffzusammenhangs, verändert wird. [16]

Die Umformtechnik verändert die Form eines festen Körpers unter Beibehaltung der Masse und des Stoffzusammenhangs.

Die Verfahren in der Umformtechnik werden nach der wirksamen Spannung unterteilt (Abbildung 3.7).

Es wird zwischen dem Begriff des Umformens (Änderung der Form *mit* Beherrschen der Geometrie) und dem des Verformens (= Ändern der Form *ohne* Beherrschen der Geometrie) unterschieden. [16]

3.3.0.2 Anisotropie

Bei der Umformung von vielkristallinen Werkstoffen muss die Richtungsabhängigkeit (=Anisotropie) berücksichtigt werden. [16] Ausgeprägte Texturen haben eine Anisotropie zur Folge. Der R-Wert

Anisotropie ist die Richtungsabhängigkeit von vielkristallinen Werkstoffen.

(=senkrechte Anisotropie) (Gleichung 3.1) gilt als Maß für die Anisotropie der plastischen Eigenschaften von Blechwerkstoffen. [15]

$$R = \frac{\ln \frac{b_0}{b}}{\ln \frac{t_0}{t}} = \frac{\varphi_b}{\varphi_t} \quad (3.1)$$

Aufgrund der unterschiedlichen Walzrichtung von Blechen ändert sich auch der R-Wert. Um R-Werte aus den unterschiedlichen Richtungen zu erhalten, werden Flachproben unter verschiedenen Winkeln (0° , 45° und 90°) zur Walzrichtung entnommen. Der mittlere R-Wert, der senkrechten Anisotropie, gibt Aufschluss über die Anisotropie von Blechen (Gleichung 3.2) . [15]

$$\bar{R} = \frac{1}{4}(R_{0^\circ} + 2R_{45^\circ}) + R_{90^\circ} \quad (3.2)$$

Bei Tiefziehversuchen erhöht ein höherer \bar{R} -Wert die Bodenreißkraft. Somit steigt durch die höhere Verfestigung die übertragbare Kraft im Ziehteil. [16]

$R > 1$ Bei einem R-Wert größer als eins fließt das Material mehr aus der Blechbreite als aus der Blechdicke. Das bedeutet, dass die Festigkeit in Breitenrichtung kleiner ist als in Dickenrichtung. Beim Tiefziehen heißt das, dass das Material im Flanschbereich stärker aus der Breite als aus der Dicke fließt. Bei einem großen R-Wert wird weniger Kraft benötigt. [6]

$R = 1$ Wenn der R-Wert gleich eins ist, heißt das, dass das Material gleichermaßen aus der Blechbreite und der Blechdicke fließt. [16]

$R < 1$ Vor allem im Auslauf der Stempelkante und im Bodenbereich fließt das Material hauptsächlich aus der Blechdicke und kaum aus der Breite. [16]

3.3.1 Umformgrad, Fließspannung und Fließkurve

Um das Umformverhalten von Materialien zu kennen, sind die Kenntnis und die Berechnung des Umformgrads, der Fließspannung und der Fließkurve essentiell.

3.3.1.1 Umformgrad

Der Umformgrad dient zur Beschreibung von plastischen Formänderungen und besteht aus dem Verhältnis der Längenänderung zur wahren Länge - integriert über den Umformweg (Gleichung 3.3 und 3.4).[6]

Der Umformgrad beschreibt die plastische Formänderung.

$$d\varphi = \frac{dl}{l} \quad (3.3)$$

$$\varphi = \int_a^b \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_b}{l_a} \quad (3.4)$$

Der Umformgrad kann, wie in Gleichung 3.5 dargestellt, ebenso über die Dehnung ϵ definiert werden.

$$\varphi = \ln(\epsilon + 1) \quad (3.5)$$

Die Umformgeschwindigkeit (Gleichung 3.6) ist definiert [16]:

$$\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (3.6)$$

3.3.1.2 Fließspannung

Im Gegensatz zur Festigkeitslehre ist es in der Umformtechnik üblich, die Kraft im Bezug auf die tatsächliche Fläche zu kennen. Und da beim Umformen plastisches Fließen des Werkstückes eingeleitet oder erhalten werden muss, ist die Fließspannung wie in Gleichung 3.7 definiert. [16]

$$k_f = \frac{F}{A} \quad (3.7)$$

Definition 4: Die Fließspannung ist die Spannung, die im einachsigen Spannungszustand unbedingt notwendig ist, um beim derzeitigen Umformgrad plastisches Fließen einzuleiten oder zu erhalten. [16]

Die Fließspannung ist abhängig von (Abbildung 3.8) [6]:

- Umformgrad φ
- Umformgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$
- Temperatur
- Anisotropie
- mittlerer Spannung σ_m

Aus Abbildung 3.8a. ist ersichtlich, dass mit steigender Umformtemperatur die Fließspannung sinkt. Das ist auf die Materialerweichung bei steigender Temperatur zurückzuführen. Die Kurve 1 der Abbildung 3.8b. zeigt, dass bei Kaltumformung der Umformgrad bei steigender Fließspannung zunächst bis zu einem Höchstwert ansteigt und dann wieder sinkt. Wenn der Einfluss bei der Warmumformung einen Höchstwert erreicht, sinkt er bzw. bleibt bei steigendem Umformgrad konstant. Der Einfluss des Umformgrads bei Warmumformungen ist abhängig von der Erholung und Rekristallisation. In

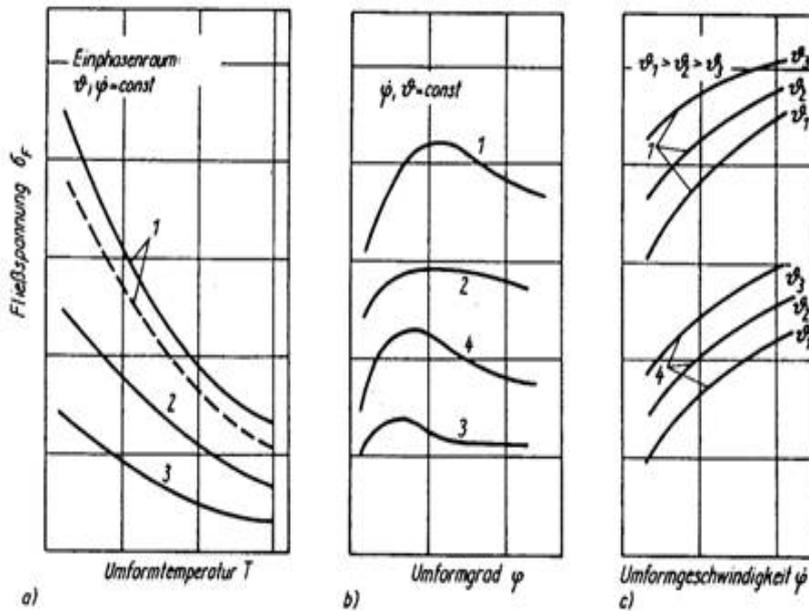


Abbildung 3.8: Fließspannung in Abhängigkeit von a. Umformtemperatur T , b. Umformgrad φ und c. Umformgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$ [17]

Abbildung 3.8c. sieht man, dass bei steigender Umformgeschwindigkeit ebenso die Fließspannung steigt. [17]

3.3.1.3 Fließkurve

Die Fließkurve wird um möglichst exakte Reproduzierbarkeit der Spannungs- und Bewegungsverhältnisse in der Umformzone durch Versuche bestimmt. Sehr oft kommen der Zugversuch, Torsionsversuch und der Stauchversuch zum Einsatz. Für verschiedene Materialien kann die Fließkurve auch aus der chemischen Zusammensetzung mit Simulationsprogrammen berechnet werden. [15]

3.3.2 Formänderungsvermögen

Definition 5: Das Formänderungsvermögen ist der beim Bruch erreichte Vergleichsumformgrad φ_B . [16]

Das Formänderungsvermögen ist abhängig von [6]:

- Gestalt
- Art der Krafteinleitung
- Oberflächeneinflüsse
- Temperatur
- Schwingungen
- hydrostatische Spannung
- mittlere Umformgeschwindigkeit
- zeitliche Änderung der mittleren Umformgeschwindigkeit

Um das Formänderungsvermögen zu ermitteln, müssen einheitliche Bedingungen für all diese Faktoren geschaffen werden.

3.3.3 Grenzziehverhältnis

Das Grenzziehverhältnis gibt an wie groß die Platine im Verhältnis zum Stempeldurchmesser sein darf, damit kein Riss in der Zarge auftritt. [25]

$$\beta_{0,\max} = \frac{D_{0,\max}}{d_{St}} \quad (3.8)$$

Der Flansch der bei einer tiefgezogenen Platine ersichtlich ist, stellt die Umformzone dar. Je größer aber die Umformzone wird, desto mehr Kraft muss vom Ziehboden über die Zarge bis hin zum Flansch übertragen werden. Somit steigt in der Zarge die Zugspannung. Wird die Platine über das Grenzziehverhältnis hinaus tiefgezogen, wird die Zugspannung so groß, dass es zuerst zu einer Einschnürung und daraufhin zu einer Rissbildung kommt. [25]

Tiefziehstähle können ein Grenzziehverhältnis von 2,0 erreichen. [25] Hingegen erreichen Aluminiumlegierungen nur ein Grenzziehverhältnis von 1,8. [18]

Das Grenzziehverhältnis hängt ab von [25]:

- Werkstoff
- Blechdicke
- Reibung
- Blechhalterkraft
- Ziehspalt
- Stempel- und Ziehradius

Um einen Riss, bei einem höheren Ziehverhältnis als dem Grenzziehverhältnis, vorzubeugen, wird die Platine in mehreren Schritten tiefgezogen. Hierbei ist darauf zu achten, dass jeder einzelne Weiterzug das Grenzziehverhältnis nicht überschreiten darf. Somit kann insgesamt ein höheres Ziehverhältnis erreicht werden. [25]

3.3.4 Grenzformänderung

Grenzformänderungen zeigen, ab wann Versagen eintritt. Die Grenzformänderung hängt zusätzlich zu den Faktoren, die das Formänderungsvermögen beeinflussen, noch vom Fertigungsverfahren und dem System Werkstück-Werkzeug ab. [16]

Grenzformänderungen zeigen, ab wann Versagen eintritt.

3.3.4.1 Grenzformänderungskurve

Aufgrund von zu hohen Dehnungszuständen, die das Material nicht ertragen kann, kommt es zum Werkstoffversagen durch Einschnürung bzw. Reißen. Die Grenzformänderungskurve (Abbildung 3.9)

Die Grenzformänderungskurve zeigt für unterschiedliche Beanspruchungszustände, wann Versagen eintritt.

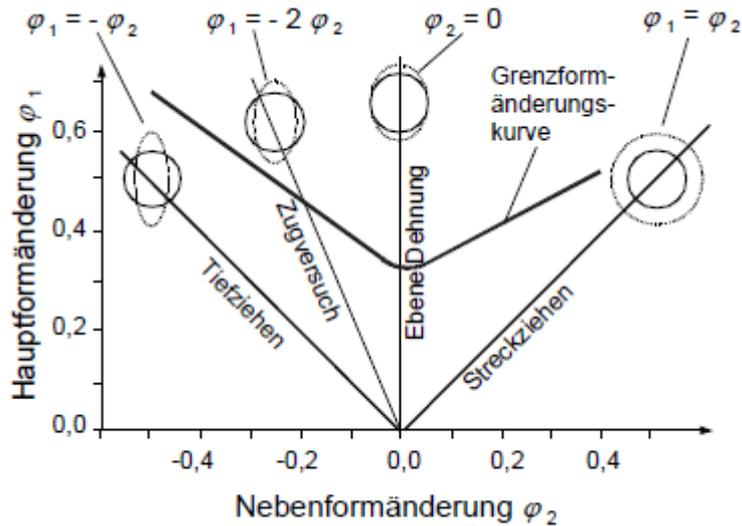


Abbildung 3.9: Grenzformänderungskurve (FLC - forming limit curve) [6]

zeigt für unterschiedliche Beanspruchungszustände, wann Versagen eintritt. Oberhalb der Kurve kommt es zur Schädigung (Einschnürung, Risse) des Bauteils. Unter der Kurve wird das Bauteil nicht geschädigt. Durch die unterschiedlichen Formänderungsverhältnisse wird die Änderung der Probe simuliert. [6]

Einflüsse auf die Grenzformänderungskurve [16]:

- Blechdicke
- Anisotropie
- Temperatur
- Reibung
- Geschwindigkeit

Im Automobilbau wird der Test nach Nakajima eingesetzt, um die Grenzformänderungskurve zu bestimmen. Hier werden ein Halbkugelstempel mit einem Durchmesser von 100 mm, ein Ziehring und

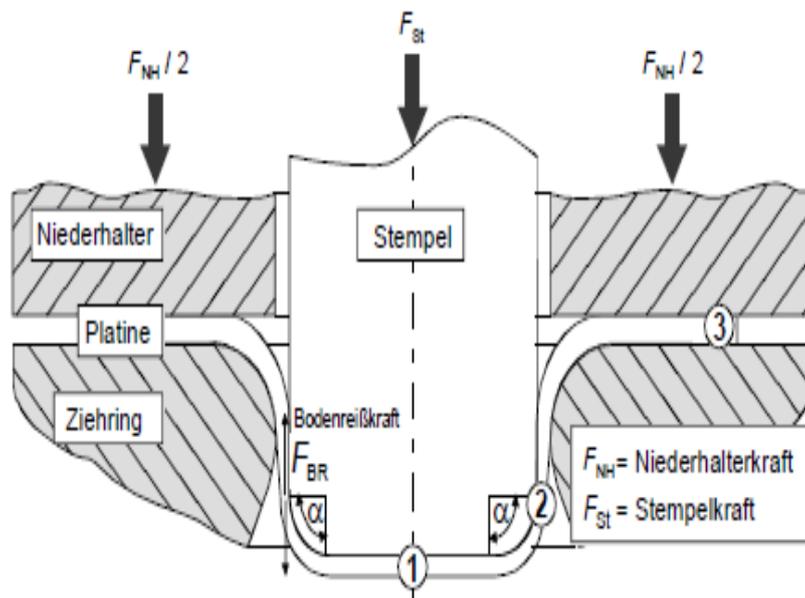


Abbildung 3.10: Tiefziehversuch [6]

ein Blechhalter eingesetzt. Es werden definierte Formänderungskombinationen für jeden Werkstoff mit sechs rechteckigen Proben, die in der Breite variieren, getestet. [6]

3.3.5 Tiefziehen

Definition 6: Tiefziehen (Abbildung 3.10) ist das Zugdruckumformen einer Platine (Blech, Folie, Tafel) in einem Hohlkörper mit kleinerem Umfang ohne eine beabsichtigte Veränderung der Blechdicke. [16]

Die Umformung beim Tiefziehen kann in Tiefziehen mit Werkzeugen, mit Wirkmedien und mit Wirkenergien gegliedert werden. Tiefziehen mit Werkzeugen wird entweder mit einem starren oder nachgiebigen Kissen oder Stempel durchgeführt. In der Praxis werden hauptsächlich starre Werkzeuge verwendet. [15]

Beim Tiefziehen wird die Platine mit dem Ausgangsdurchmesser d_0 zwischen Ziehring und Blechhalter zentriert eingelegt. Die Blechhalterkraft, die durch die Presse aufgebracht wird, verhindert eine Faltenbildung 1. Ordnung im Flanschbereich. Als Erstes wird der Ziehboden vom Ziehstempel ausgeformt (=Streckziehen). Die größte Blechdickenabnahme findet über dem Ziehringradius oder über dem Stempelradius statt. Risse werden im Bereich der kleinsten Blechdicke vor dem Einzug des Flansches gebildet. Der Tiefziehvorgang beginnt, wenn die durch den Ziehstempel eingeleitete Kraft größer als die Flanscheinzugskraft und die Reibkraft im Flansch ist. Der Werkstoff fließt nun aus dem Flanschbereich in die Zarge. Hier wird das Blech außen am Flansch dicker. (Abbildung 5.1) [6]

Zuerst wird eine Platine zwischen Ziehring und Blechhalter zentriert eingelegt, danach wird die Blechhalterkraft durch die Presse aufgebracht und die Platine gezogen.

Beim Tiefziehen wird die Umformkraft in den Boden des Ziehteils eingeleitet und über die Zarge in die Umformzone gebracht. Im Tiefziehvorgang kommen drei unterschiedliche Beanspruchungen vor (Abbildung 3.11 und Abbildung 3.10).

Beanspruchungsarten beim Tiefziehen [6]:

1. Bodenbereich: Zugbeanspruchung
2. Auslauf der Stempelkante: ebener Dehnungszustand, der ohne Beachtung der Normalspannung durch eine direkte und indirekte Zugbeanspruchung beschrieben ist.
3. Flanschbereich: Zug- und Druckbeanspruchung

Beim Tiefziehen ist der Werkstoff verschiedenen Spannungszuständen ausgesetzt.

3.3.5.1 Maximale Ziehtiefe

Die maximale Ziehtiefe ist der größte Abstand zwischen Blechhalterbasisfläche und Ziehteilinnenoberfläche am Ende des Umformvorgangs. [25]

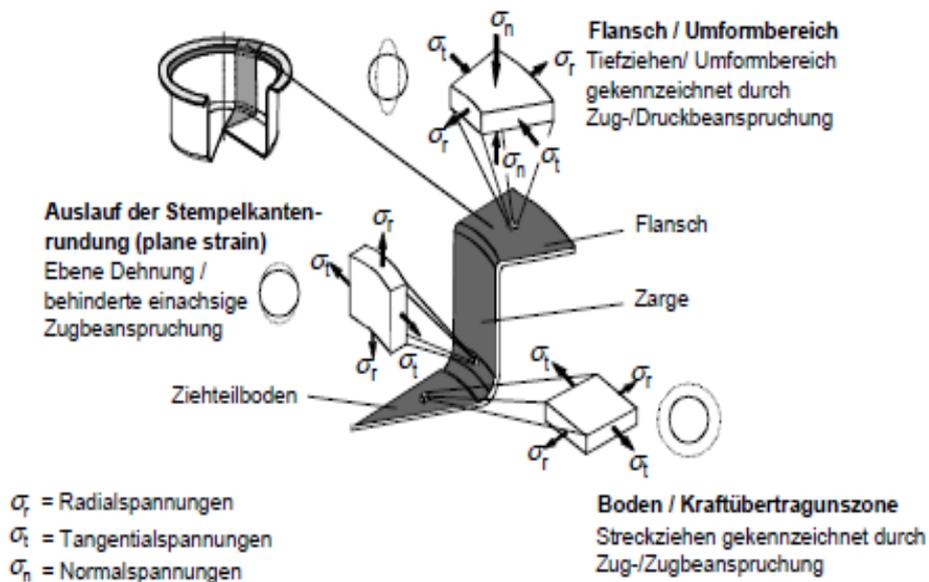


Abbildung 3.11: Unterschiedliche Beanspruchungen beim Tiefziehen [6]

3.3.5.2 Schmierstoff

Da es in der Umformtechnik durch Kraftübertragung zwischen relativ zueinander bewegten Oberflächen zu hoher Reibung kommt, ist der Einsatz von Schmiermitteln unerlässlich. Die Reibung verursacht einen höheren Verschleiß der Werkzeuge und ruft Oberflächenschäden am Werkstück hervor. Ebenso wirkt sich die Reibung auf den Ablauf und das Ergebnis des Umformvorgangs aus, indem bei zu hohen Reibkräften ein Riss früher eingeleitet wird und somit ein niedrigeres Grenzziehverhältnis erreicht wird. Die Auswahl des richtigen Schmierstoffs ist daher von besonderer Bedeutung. Welcher Schmierstoff verwendet wird, hängt hauptsächlich vom Material des Werkstücks, von seiner Oberflächenbeschaffenheit und dem Material des Werkzeugs ab. [16]

3.3.6 Fehler beim Tiefziehen

Fehler die beim Tiefziehen auftreten können sind:

- Falten 1. Ordnung
- Falten 2. Ordnung
- Zipfelbildung
- Riss im Boden

Falten am Flansch (Abbildung 3.12) kommen durch zu geringe Blechhalterkräfte oder einen unebenen Blechhalter zustande. [16]

Falten 1. Ordnung

Längsfalten in der Zarge (Abbildung 3.12) kommen durch eine zu geringe formschlüssige Stützung in der freien Zone zustande. Es muss der Zuschnitt oder die Blechhalterkraft vergrößert werden, um eine Besserung zu erzielen. [16]

Falten 2. Ordnung

Zipfelbildung (Abbildung 3.12) kommt bei ungleicher Blechdicke oder Anisotropie des Werkstoffs zustande. [16]

Zipfelbildung

Risse im Boden (Abbildung 3.12) kommen nach der Bildung von einem kurzen Zargenansatz (Höhe $< 40\%$ des Stempeldurchmessers) zustande. Es reißt der Boden, bis auf einen schmalen Steg, von der Zarge ab. Dies kommt bei einem zu großen Ziehverhältnis zustande. Abhilfe kann nur ein kleineres Ziehverhältnis schaffen. [16]

Riss im Boden

Bodenreißer können auch entstehen, wenn der Zuschnitt nicht zentriert eingelegt wurde oder die Blechdicke variiert. Bei einem beinahe gelungenen Zug, bei dem der Flansch starke Falten hat, ist entweder der Blechhalterdruck zu gering, der Ziehspalt oder die Ziehkantenabrundung zu groß. Wenn eine sehr kurze Zarge erreicht wird, ist meistens der Stempel nicht zentrisch zum Ziehring. [15]

Der Boden wird, ohne Zargenbildung, komplett abgerissen. Dies kann nur passieren, wenn das Ziehwerkzeug als Schneidwerkzeug

Abgerissener Boden



Abbildung 3.12: Fehler beim Tiefziehen: Riss im Boden, Falten 1. Ordnung, Falten 2. Ordnung, Zipfelbildung [15]

wirkt. Das Ziehwerkzeug wirkt als Schneidwerkzeug, wenn die Ziehkantenabrundung zu scharfkantig ist, ein zu kleiner Ziehspalt gewählt wurde, die Ziehgeschwindigkeit zu groß ist oder ein zu großer Blechdruck wirkt. [15]

Der Zargenrand wird ausgefranst, wenn wenn der Ziehspalt zu weit ist, die Ziehkantenabrundung oder der Blechhalterdruck zu klein ist. Das Ziehteil ist bis auf die Fransen und senkrechten Falten gelungen. [15]

*Ausgefranst
Zargenrand*

Bei beinahe zur Gänze durchgezogenen Blechen ist eine unvermeidliche Erscheinung bei allen Blechen mit ebener Anisotropie. [15]

Zipfelbildung

Um den Fehlern entgegen zu wirken, müssen Werkzeug, Kräfte und Material angepasst werden. Dies erfolgt meist nach Try-Out Tests, bei denen der Fehler verifiziert werden kann.

3.4 VERMESSUNG

Um eine Aussage über den untersuchten Werkstoff treffen zu können, ist die Vermessung der Bauteile von Bedeutung. Beim Tiefziehen von Blechen ist vor allem die Ziehtiefe der Bauteile wirtschaftlich und technisch von großer Wichtigkeit. Die Vermessung der Ziehtiefe erfolgt mittels Messschieber.

3.4.1 Argus

Das System Argus der Firma GOM - Gesellschaft für Optische Messtechnik mbH ist ein Formänderungsanalyzesystem und unterstützt die Vermessung mit genauen Ergebnissen der Formänderungsverteilung auf Bauteilen. [9]

Argus ist ein Formänderungsanalyzesystem

Zuerst wird ein Punktgitter auf die unverformte Platine geätzt. Während des Umformvorgangs verformen sich die Punkte mit dem Material mit. Um die Verformung zu digitalisieren, werden mit einer hochauflösenden CCD Kamera Bilder aus unterschiedlichen Positionen gemacht. Unter der Verwendung von photogrammetrischen Auswerteverfahren definiert die Argus Software automatisch die Position der Punkte im 3-Dimensionalen. Über die Distanz der Punktgitter wird ein fein aufgelöstes Netz erstellt, womit die Verteilung der Dehnungen im Argus System berechnet wird. [9]

Arbeitsablauf

Mit dem Argus System kann die Topographie, minimale und maximale Dehnung, Dickenabnahme des Bauteils und das Formänderungsdiagramm für die untersuchte Platine ermittelt werden. Die Daten können in unterschiedlichen Formaten gespeichert und weiterverarbeitet werden. [9]

Topographie, minimale und maximale Dehnung, Dickenabnahme und das Formänderungsdiagramm können ermittelt werden.

4

ZIELSETZUNG DER ARBEIT

Im Rahmen dieser Arbeit sollen unterschiedliche Sandwichwerkstoffe auf ihr Formänderungsvermögen untersucht werden. Der Aufbau der Sandwichmaterialien variiert im Material der Deckschicht, der Dicke der Kernschicht und in den verwendeten Durchmessern. Das bedeutet, dass Tiefziehversuche mit den unterschiedlichen Materialien durchgeführt werden, bei denen die höchstmögliche Ziehtiefe angestrebt wird. Um die höchstmögliche Ziehtiefe zu ermitteln, werden vorab Try-Out Versuche durchgeführt. Eine Parameterstudie der unterschiedlich aufgebauten Sandwichmaterialien zeigt dann die Auswirkungen des Materialaufbaus auf das Formänderungsvermögen.

Sandwichwerkstoffe haben aufgrund ihres geringen Gewichts, ihrer Steifigkeit, ihres individuellen Materialaufbaus und ihrer Umformbarkeit ein hohes Potential im Automobilbau. Mit dieser Arbeit werden unterschiedliche Materialkombinationen getestet und ausgewertet.

Die Versuche und Auswertungen dieser Arbeit bilden die Basis, um Sandwichmaterialien in Zukunft in einem breiteren Spektrum anwendungsspezifisch einzusetzen.

Untersuchung des Formänderungsvermögens von Sandwichwerkstoffen.

Untersuchung des Formänderungsvermögens von Sandwichwerkstoffen.

VERSUCH

5.1 VERSUCHSAUFBAU

Die Tiefziehversuche werden mit der Presse SHC-400 – 2.0x1.3 mit Speicherantrieb, der Firma Schuler, durchgeführt. Es handelt sich dabei um eine hydraulisch Presse.

Technische Daten der Presse werden im Anhang A.2 zusammengefasst.

5.2 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Zur Durchführung eines Tiefziehversuchs werden zunächst Platine und Tiefziehwerkzeug geölt, indem es mit einer Walze aufgetragen wird. Der Prozessablauf (dargestellt in Abbildung 5.1) findet in folgenden Schritten statt [25]:

1. Definiertes Einlegen der geölten Platine in das Werkzeug
2. Schließen von Blechhalter und Matrize
3. Zur Vermeidung von Falten im Flansch wird eine Blechhalterkraft aufgebracht
4. Durch die Bewegung des Stempels relativ zum Blechhalter und der Matrize kommt es zur Umformung

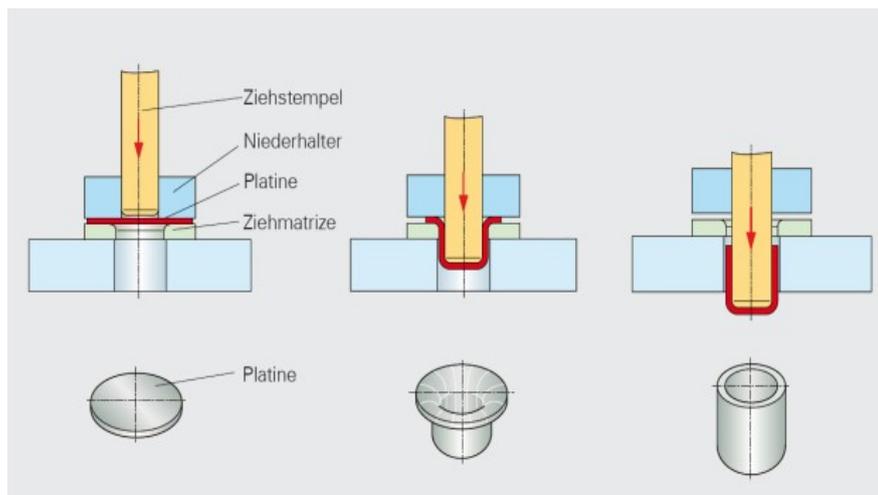


Abbildung 5.1: Prozessablauf Tiefziehen [13]

Nach diesem Vorgang wird der Napf aus dem Werkzeug entfernt, gereinigt und evaluiert. Genau wurde die Durchführung des Tiefziehversuchs im Kapitel 3.3.5 erklärt.

Bei allen Versuchen wird die Platine manuell eingelegt und das Ziehöl händisch ohne abwiegen der verwendeten Menge aufgetragen. Die Zuschnitte der verwendeten Platinen weisen Abweichungen in ihrer Rundheit auf.

Parameter zu den eingesetzten Materialien werden im Kapitel 5.3 beschrieben.

5.3 UNTERSUCHTER WERKSTOFF

5.3.1 Decklagenmaterialien

Es werden zwei unterschiedliche Decklagen (DC04, Reinaluminium) verwendet. Die Decklagendicke ist bei DC04 0.2 mm und bei Al 0.3 mm, dh. bei den DC04 Platinen ist die Schicht des Schaumkerns um insgesamt 0.2 mm höher.

Tabelle 5.1: Chemische Zusammensetzung in Massenanteile in % des Werkstoffes DC04 [21]

Werkstoff	max C	max Si	max Mn	max P	max S	min Al	max Ti+Nb
DC04	0,08	-	0,40	0,03	0,03	-	-

Tabelle 5.2: Mechanische Eigenschaften [21] und [5]

Werkstoff	Dicke [mm]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A ₈₀ in [%]	R ₉₀	n
DC04	0,7 – 1,5	140 – 210	270 – 350	38	1,6	0,180
Aluminium 99,5	0,5 – 1,5	20	65 – 95	22	-	-

5.3.1.1 DC04

Der Werkstoff DC04 ist ein typischer Tiefziehstahl (Tabelle 5.1), der sehr gute Umformeigenschaften und eine gute Alterungsbeständigkeit hat. Die hohen Dehnungswerte decken einen großen Bereich der Streckgrenze ab. Die mechanischen Eigenschaften werden in der Tabelle 5.2 zusammengefasst. Materialien mit hohen R-Werten (Kapitel 3.3.0.2) verhalten sich beim Tiefziehen günstiger, da die Stabilität gegen die Einschnürung bei der Zarge und der Materialfluss unter dem Blechhalter verbessert wird. Der Werkstoff DC04 ist ein unlegierter Qualitätsstahl, der in Automobilteilen im Innen- und Außenbereich häufig eingesetzt wird. [21]

Werkstoff DC04

DC04 mechanische Eigenschaften

5.3.1.2 Reinaluminium 99,5

Aluminium zählt wegen seiner geringen Dichte ($\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3$) zu den Leichtmetallen. Daher wird Aluminium hauptsächlich bei Bautei-

Aluminium hat eine geringe Dichte.

Tabelle 5.3: Chemische Zusammensetzung in Massenanteile in % von Reinaluminium 99,5 [5]

Werkstoff	max Si	max Fe	max Cu	max Mn	max Mg	min Zn	max Ti
Reinaluminium 99,5	0,25	-	0,40	0,05	0,05	0,07	0,05

len, die Gewicht einsparen sollen, eingesetzt. Trotz des stark elektro-negativen Potentials (-1,7 V) ist Aluminium, wegen des spontanen Passivierungseffekts, sehr korrosionsbeständig. Reinaluminium hat eine hohe elektrische Leitfähigkeit und eine hohe Wärmeleitfähigkeit. Die Parameter sind stark vom Reinheitsgrad des Aluminiums abhängig. Aufgrund des kfz Gitters sind bei Aluminium die Duktilität und die Zähigkeit bei niedrigen Temperaturen sehr gut. Aluminium besitzt eine sehr gute Umformbarkeit. Aufgrund dieser Eigenschaft kommen Aluminiumbauteile oft in Strukturbauteilen im Automobilbau (zB.: Space Frame) zum Einsatz. [23]

*Eigenschaften von
Aluminium*

5.3.2 Schaumkern

Es wird ein Polystyrol/Polyphenylenoxid Blend als Schaumkern in allen Platinen verwendet. Es handelt sich dabei um einen einphasigen Blend (=Gemisch). Polystyrol (EPS) hat eine hohe Stabilität und Druckfestigkeit, eine lange Nutzungsdauer, ein niedriges Eigengewicht und ist zu 100 % recycelbar. [26]

Polyphenylenoxid hat eine hohe Hydrolysebeständigkeit, aber schlechte Ermüdungseigenschaften sowie eine geringe Beständigkeit gegenüber Lösungsmitteln. [11]

5.3.2.1 *Klebstoff*

Um den Materialzusammenhalt des Sandwichmaterials zu gewährleisten wird ein Hotmelt Klebstoff auf Polyethylenbasis eingesetzt. Polyethylen (PE) ist ein unpolarer, teilkristalliner Thermoplast. [24]

5.3.2.2 *Verwendete Tiefziehöle*

Die Auswahl der Tiefziehöle orientiert sich bei einem Sandwichmaterial am Decklagenmaterial. Aus diesem Grund wurden für die Hauptversuche zwei unterschiedliche Tiefziehöle gewählt.

Für das Sandwichmaterial mit den Decklagen aus DC04 wird ein Hochleistungs-Kaltfliesspressöl, auf 2-(2-Butoxyethoxy)ethanol Basis, eingesetzt. Dieses Tiefziehöl hat eine hohe thermische Beständigkeit. Es ist unlöslich in Wasser, hat einen Flammpunkt von über 200°C und ist explosiv.

Das Tiefziehöl für das Sandwichmaterial mit den Decklagen aus Aluminium 99,5 besteht aus hochwertigem Mineralöl und Reibungs- und Verschleiß-Verhinderern. Das verwendete Tiefziehöl für die Aluminium 99,5 Decklagen ist unlöslich in Wasser, hat einen Flammpunkt > 200°C und ist explosiv.

5.4 TRY-OUT VERSUCHE

Try-Out Versuche wurden durchgeführt, um die optimalen Parametereinstellungen beim Tiefziehen zu ermitteln. Es sollen die Parameter für unterschiedlich aufgebaute Platinen aus dem Sandwichwerkstoff Cimera auf ihre Tiefziehbarkeit getestet werden. Die Decklagen sind aus dem Material DC04 (Werkstoffnummer 1.0338) oder Aluminium 99,5 (EN AW-1050A) und der Kern ist ein Schaumkern. Materialkenn-

werte werden in Kapitel 5.3 und in den Datenblättern im Anhang A.2 genau aufgeführt.

Die untersuchten Platinen werden in Gruppen (Tabelle: 5.4) mit den gleichen Ausgangsabmessungen zusammengefasst, um eine Unterscheidung und Charakterisierung zu vereinfachen. Bei Abbildungen wird die dargestellte Platinengruppe im Klammersausdruck angeführt. Im Anhang (Kapitel A.1) sind die eingestellten Parameter und Ergebnisse genau aufgelistet. Die erste Spalte „OK?“ gibt Auskunft, ob das Bauteil gerissen ist („x“) oder keinen Riss hat („ok“). Danach findet man in den Spalten den Durchmesser, die Verdrängerkraft, die Distanzdicke und die Ziehtiefe.

5.4.1 *Evaluierung der Try-Out Versuche*

Die Evaluierung der Try-Out Versuche beinhaltet eine Gegenüberstellung der Einflüsse auf das Formänderungsvermögen sowie eine Validierung der einzelnen Platinengruppen. Abbildungen zu den einzelnen Platinengruppen (wie in Tabelle 5.4) werden im Anhang A.1 graphisch dargestellt.

Einflüsse auf das Formänderungsverhalten:

- Platinendurchmesser
- Verbunddicke
- Reibung
- Blechhalterkraft
- Ziehgeschwindigkeit
- Distanzen
- Ziehfolie

Tabelle 5.4: Platinengruppen der Try-Out Versuche

Platinengruppe	Decklagenmaterial	Durchmesser in mm	Dicke in mm
A	DC04	150	1,5
B	DC04	180	1,5
C	DC04	180	2,1 – 2,2
D	DC04	210	1,3 – 1,4
E	DC04	210	2,0
F	DC04	210	3,0
G	DC04	190	1,5
H	DC04	190	2,0
I	DC04	190	3,0
J	DC04	180	3,0
K	Al 99,5	180	3,0
L	Al 99,5	180	1,6
M	Al 99,5	210	3,0
N	Al 99,5	210	1,6
O	DC04	180	1,6
P	DC04	210	1,6

5.4.1.1 *Platinendurchmesser*

Die Versuche mit unterschiedlichen Platinendurchmessern zeigen, dass Platinen mit dem Durchmesser 150 mm und 180 mm ohne der Verwendung von Distanzen durchgezogen werden können. Platinen mit den Durchmessern 190 mm und 210 mm hingegen nicht, da vermutlich die Spannungen am Auslauf der Stempelkantenrundung zu groß sind. Das Material wird am Fließen gehindert ein Riss entsteht. Platinen mit dem Durchmesser 150 mm können aufgrund der Volumenkonstanz und dem vorhandenen Stempeldurchmesser von 100 mm nur eine Ziehtiefe von 31,2 mm erreichen. Somit sind diese Platinen für weitere Forschungszwecke dieser Arbeit nicht relevant und wurden nicht für weitere Versuche herangezogen. Bei Platinen mit dem Durchmesser 180 mm können höhere Ziehtiefen erreicht werden. Aufgrund dieses Ergebnisses wurden noch weitere Try-Out Versuche mit einem Durchmesser von 190 mm durchgeführt, da hier eine noch höhere, fehlerfreie Ziehtiefe erwartet wurde. Der Proben-durchmesser 190 mm ergab aber keine gravierenden Verbesserungen.

Unterschiedliche Durchmesser beeinflussen das Tiefziehergebnis

5.4.1.2 *Verbunddicke*

Wie in Tabelle 5.4 angeführt, wurden verschiedene Blechdicken untersucht. Bei den unterschiedlichen Blechdicken variiert nur die Dicke der Kernschicht, die Dicke der Decklagen bleibt konstant. Anhand der Messung der Ziehtiefe kann festgestellt werden, dass dünnere Platinen eine höhere Ziehtiefe erreichen, da die Spannungen im Material geringer sind und ein Riss erst bei höheren Ziehtiefen entsteht (Abbildung 5.2).

Dünnere Platinen liefern eine höhere Ziehtiefe.

5.4.1.3 *Reibung*

Um die Auswirkungen der Reibung zwischen dem Stempel, Niederhalter, Ziehmatritze und Blech charakterisieren zu können, wurden



Abbildung 5.2: Bauteile mit gleichem Durchmesser (210 mm) und variierender Verbunddicke; BT032 (D): DC04, $t = 1,3 - 1,4$, Blechhalterkraft 180 kN, Ziehtiefe 35 mm; BT038 (E): DC04, $t = 2,0$ mm, Blechhalterkraft 180 kN, Ziehtiefe 32,5 mm; BT112 (F): DC04, $t = 3,0$, Blechhalterkraft 180 kN, Ziehtiefe 25 mm

Versuche ohne und mit Schmierstoff durchgeführt (Abbildung 5.3). Bei Platinen die ohne Schmierstoff tiefgezogen wurden herrschte eine höhere Reibung und somit kam es auch zu einer früheren Risseinleitung. Ohne der Verwendung von Standardtiefziehölen für Stahl und Aluminium konnten nur eine geringe Ziehtiefe von 15 mm erreicht werden. Eine erhöhte Reibung wirkt vermindert das maximale Grenzziehverhältnis.

5.4.1.4 Blechhalterkraft

Die verwendete Presse (Kapitel 5.1) ist für die Variation der Blechhalterkraft über 180 kN ausgelegt, daher beträgt die minimal einstellbare Verdrängerkraft 180 kN. Dieser Wert kann durch das Verwenden von Distanzen nur auf 0 kN gesetzt werden. Eine Aussage über die Auswirkungen der Blechhalterkraft ist somit in dieser Arbeit nicht möglich.

*Die min.
Blechhalterkraft beträgt
hier 180 kN.*

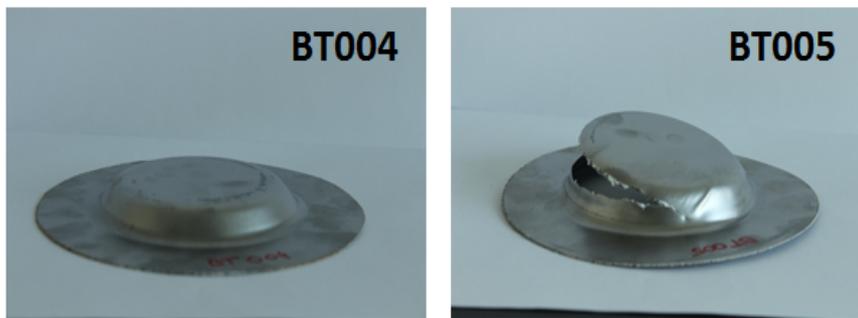


Abbildung 5.3: BT004 (B) mit der maximal erreichbaren Ziehtiefe ohne Tiefziehöl von 15 mm ; BT005 (B) Riss beim Versuch, eine Ziehtiefe von 20 mm zu erreichen

5.4.1.5 Ziehgeschwindigkeit

Die Variation der Ziehgeschwindigkeit zeigte auf das Resultat der Versuche keine Auswirkungen. Somit wurde bei den Versuchen eine Ziehgeschwindigkeit von 20 m/s herangezogen, da man während des Versuchs akustisch den Zeitpunkt des Risses wahrnehmen kann.

5.4.1.6 Distanzen

Durch die Verwendung von Distanzen (Prinzipiskizze in Abbildung 5.4) kann die Blechhalterkraft auf 0 kN gesetzt werden. Das Gewicht des Blechhalters beeinflusst den Tiefziehvorgang. Es wurden Distanzen in unterschiedlicher Höhe (0,7 mm; 1 mm; 1,5 mm; 2 mm und 3 mm) verwendet. Bei den Platinengruppen D und E ist ein Durchzug nur mit Distanzen möglich. Die Platinengruppen B und C können auch ohne Distanz durchgezogen werden. Durch die Distanzen kommt es zur Faltenbildung, da die Platinen nicht durch die Blechhalterkraft fixiert werden. Die gewählten Parameter sind im Anhang genau aufgeführt. (Abbildungen 5.5, 5.6 und Anhang A.1)

Durch Distanzen kann die Blechhalterkraft auf 0 kN gesetzt werden.

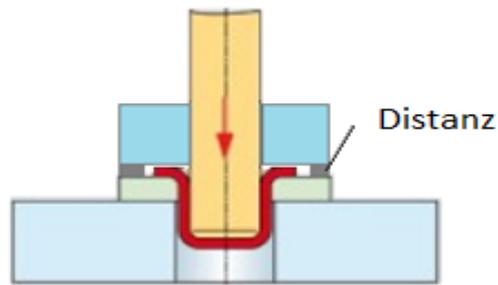


Abbildung 5.4: Prinzipskizze von einem Tiefziehvorgang mit Distanzen



Abbildung 5.5: BT024 (D): DC04, $d = 210 \text{ mm}$, $t = 1,3 - 1,4 \text{ mm}$, 180 kN , mit Distanzen von 3 mm tiefgezogen, deutliche Faltenbildung; BT052 (B): DC04, $d = 180 \text{ mm}$, $t = 1,5 \text{ mm}$, 180 kN , ohne Distanzen tiefgezogen, es sind kaum Falten zu erkennen



Abbildung 5.6: BT013 (A): DC04, $d = 150 \text{ mm}$, $t = 1,5 \text{ mm}$, 180 kN Blechhalterkraft, keine Distanz - Riss; BT021 (A): DC04, $d = 150 \text{ mm}$, $t = 1,5 \text{ mm}$, 180 kN Blechhalterkraft, $1,0 \text{ mm}$ Distanz - Durchzug mit einer Ziehtiefe von $31,2 \text{ mm}$



Abbildung 5.7: BT070 (C) mit Tiefziehfolie; BT071 (C) mit genau angepasster Tiefziehfolie

5.4.1.7 Ziehfolie

Bei Verwendung einer Ziehfolie kann eine Werkstückoberfläche mit geringerem Abrieb erreicht werden, da der Abrieb zwischen Presse und Werkstück minimiert wird. Dies kommt der Argus GOM Vermessung zugute, da die Punkte weniger abgerieben und durch das Vermessungssystem viel besser erkannt werden können. Beim Sandwichmaterial Cimera überträgt der Schaumkern die Falten der Ziehfolie direkt auf das gesamte Werkstück. Da es hier zu einer viel größeren Faltenbildung kommen kann, ist eine genaue Anpassung der Folie von hoher Priorität. (Abbildung 5.7)

Die Ziehfolie beeinflusst die Werkstückoberfläche positiv.

5.4.1.8 Evaluierung der Platinengruppen

Um ein riss freies Ergebnis bei der Platinengruppe A zu erhalten, müssen Distanzen verwendet werden. Der Durchzug mit Distanzen erreicht eine maximale Ziehtiefe von 31 mm. Ohne der Verwendung von Distanzen wird bei diesem Materialaufbau das maximale Grenzziehverhältnis überschritten, und somit kommt es zum Bodenriss. Da hier zu wenig Material verfügbar ist, wird von weiteren Versuchen mit Platinen der Gruppe A abgesehen. Die Oberfläche der Zarge zeigt überlappende Falten.

*Platinengruppe A:
DC04; Durchmesser
150 mm und 1,5 mm
Verbunddicke*

Mit der Platinengruppe B konnten Durchzüge mit der maximalen Ziehtiefe von 56 mm erreicht werden. Aufgrund des Durchzugs kommt es am unteren Ende der Zarge zu einer überlappenden Faltenbildung. Diese Faltenbildung ist darauf zurückzuführen, dass das Material nicht mehr vom Blechhalter festgehalten wird, da es sich hier um einen Durchzug handelt. Bei der Verwendung von Distanzen ist die Faltenbildung in der Zarge ausgeprägter. Platinengruppe B hat genug Material zum nachfließen und auch die Spannungen im Material sind gering genug, damit das Material während der Umformung fließen kann. Der Versuch zeigt, dass bei dieser Materialzusammensetzung, das maximale Grenzziehverhältnis noch nicht überschritten wurde.

Platinen der Gruppe C erreichen beim Tiefziehen ohne Distanzen eine Ziehtiefe von 40 mm. Wenn Distanzen eingesetzt werden, kann diese Platinengruppe eine Ziehtiefe von 45 mm erreichen. Es ist zu beachten, dass durch den Einsatz von Distanzen die Faltenbildung zunimmt. Die Oberfläche des Napfs, der ohne Distanzen tiefgezogen wurde, zeigt keine überlappenden Falten. Das Grenzziehverhältnis wird hier überschritten und daher kann diese Platinengruppe ohne Distanzen nicht durchgezogen werden.

Ohne Distanzen ist bei der Platinengruppe D eine Ziehtiefe von 35 mm möglich. BT035 lässt den Riss, der am Ende des Tiefziehvorgangs eingeleitet wurde, deutlich erkennen. Es handelt sich hierbei um einen typischen Bodenreißer. Dieser Bodenreißer kommt zustande, da für dieses Material das maximale Grenzziehverhältnis überschritten wurde. Ein Durchzug kann bei diesen Platinen nur mit der Verwendung von Distanzen von 3,0 mm Höhe realisiert werden.

Die Platinengruppe E konnte ohne Distanzen eine Ziehtiefe von 32,5 mm und 65 mm mit Distanzen erreichen. Wie bei allen Platinen mit einem Durchmesser von 210 mm treten zu große Spannungen

*Platinengruppe B:
DC04; Durchmesser
180 mm und 1,5 mm
Verbunddicke*

*Platinengruppe C:
DC04; Durchmesser
180 mm und
2,1 – 2,2 mm
Verbunddicke*

*Platinengruppe D:
DC04; Durchmesser
210 mm und
1,3 – 1,4 mm
Verbunddicke*

*Platinengruppe E:
DC04; Durchmesser
210 mm und 2 mm
Verbunddicke*

auf, die das Material am Fließen hindern und somit kommt es zu Bodenreißen. Die Platine mit der Ziehtiefe von 32,5 mm, die ohne Distanzen tiefgezogen wurden, hat an der Zarge keine Falten. Das Grenzziehverhältnis liegt somit unter 2,1.

Platinen der Gruppe F erreichen ohne die Verwendung von Distanzen nur eine Ziehtiefe von 26 mm. Das Bauteil zeigt nahezu keine Faltenbildung. Nur im Flansch können wenig ausgeprägte Falten, die durch die Blechhalterkraft das Kernmaterial zusammendrücken beobachtet werden. Wenn Distanzen verwendet werden, und somit die Blechhalterkraft 0 kN beträgt, kann das Bauteil durchgezogen werden. Beim Durchzug beträgt die Ziehtiefe 85 mm.

Die Platinengruppe G erreicht ohne der Verwendung von Distanzen eine Ziehtiefe von 38 mm. Das Bauteil zeigt Faltenbildung im Flansch und in der Zarge. Sobald Distanzen beim Tiefziehen verwendet werden können Platinen mit diesen Abmessungen durchgezogen werden, und erreichen somit eine Ziehtiefe von 65 mm.

Platinen der Gruppe H können ohne die Verwendung von Distanzen eine Ziehtiefe von 38 mm realisieren. Das maximale Grenzziehverhältnis liegt unter dem theoretischen Wert von 1,9. Werden Distanzen von 2 mm oder mehr verwendet gelingt es das Bauteil durch zu ziehen. Beim durchgezogenen Bauteil kommt es durch die Distanzen wieder zu einer vermehrten Faltenbildung in der Zarge.

Bei den Platinen der Gruppe I konnte festgestellt werden, dass die Risseinleitung am Ende des Tiefziehvorgangs bei einer Ziehtiefe von 34 mm erfolgt. Da die Platinengruppe J mit dem Durchmesser 180 mm eine um 4 mm höhere Ziehtiefe ohne Riss aufweist, wurde die Platinengruppe I nicht genauer untersucht.

Bei Platinengruppe J erzielt eine maximale Ziehtiefe von 38 mm. Falten im Flansch und in der Zarge sind, wie auch bei allen andern

*Platinengruppe F:
DC04; Durchmesser
210 mm und 3 mm
Verbunddicke*

*Platinengruppe G:
DC04; Durchmesser
190 mm und 1,5 mm
Verbunddicke*

*Platinengruppe H:
DC04; Durchmesser
190 mm und 2,0 mm
Verbunddicke*

*Platinengruppe I:
DC04; Durchmesser
190 mm und 3,0 mm
Verbunddicke*

*Platinengruppe J:
DC04; Durchmesser
180 mm und 3,0 mm
Verbunddicke*

Platinengruppen, aufgrund des weichen Kerns von Cimera zu beobachten. Aufgrund der Verbunddicke von 3 mm dieser Platinengruppe kommt es zu hohen Spannungen und ein Riss wird ab einer Ziehtiefe von 39 mm im Ziehboden eingeleitet. Dieser Materialaufbau zeigt, dass das maximale Grenzziehverhältnis unter dem theoretischen Wert von 1,8 liegt.

Die Platinengruppe K erreicht eine maximale Ziehtiefe von 12 mm. Im Vergleich zu den vorangegangenen Platinengruppen ist die Ziehtiefe deutlich geringer, da als Decklagenmaterial Aluminium 99,5 eingesetzt wird. Mit Aluminium als Decklagenmaterial kann beim Sandwichmaterial Cimera eine deutlich kleinere Ziehtiefe realisiert werden als mit dem Decklagenmaterial DC04. Dieser Materialaufbau hat ein überschreitet das maximale Grenzziehverhältnis.

*Platinengruppe K: Al
99,5; Durchmesser
180 mm und 3,0 mm
Verbunddicke*

Bei den Platinen der Gruppe L kann eine Ziehtiefe von 28 mm erzielt werden. Die Bauteile weisen keine Faltenbildung auf. Aufgrund der hohen Spannungen zwischen Ziehboden und Zarge kommt es schon vor der Faltenbildung zum Riss des Bauteils. Somit ist hier ersichtlich, dass das maximale Grenzziehverhältnis kleiner als 1,8 ist.

*Platinengruppe L: Al
99,5; Durchmesser
180 mm und 1,6 mm
Verbunddicke*

Platinen der Gruppe M erreichen nur eine Ziehtiefe von 7 mm. Auch bei dieser Platinengruppe ist das auf das Decklagenmaterial Aluminium zurückzuführen. Weiters bewirkt die hohe Verbunddicke von 3,0 mm vermutlich höhere Spannungen zwischen dem Ziehboden und der Zarge und des kommt somit schon nach 7 mm Ziehtiefe zum Bodenriss.

*Platinengruppe M: Al
99,5; Durchmesser
210 mm und 3,0 mm
Verbunddicke*

Die Platinen der Gruppe N erreichen eine Ziehtiefe von 27 mm. Für das Decklagenmaterial Aluminium 99,5 ist dies im Vergleich zu den anderen Platinengruppen mit dem Decklagenmaterial Aluminium 99,5 ein „gutes“ Ergebnis. Das maximale Grenzziehverhältnis liegt unter dem theoretische Grenzziehverhältnis von 2,1.

*Platinengruppe N: Al
99,5; Durchmesser
210 mm und 1,6 mm
Verbunddicke*

Mit Platinengruppe O ist ein Durchzug realisierbar. Bei diesem Materialaufbau des Sandwichwerkstoffs Cimera ist ein Grenzziehverhältnis von 1,8 erreichbar. Da die Platine durchgezogen werden konnte, sind wieder vermehrt Falten in der Zarge bemerkbar. Die Ziehtiefe beträgt 56 mm.

*Platinengruppe O:
DC04; Durchmesser
180 mm und 1,6 mm
Verbunddicke*

Platinen der Gruppe P erreichen eine maximale Ziehtiefe von 41 mm. Eine geringe Faltenbildung kann im Flansch und in der Zarge festgestellt werden. Eine höhere Ziehtiefe ist nicht möglich da vermutlich die Spannungen während des Umformens das Material am Fließen hindern und das maximale Grenzziehverhältnis überschritten wird.

*Platinengruppe P:
DC04; Durchmesser
210 mm und 1,6 mm
Verbunddicke*

5.4.1.9 Folgerung der Try-Out Versuche

Aufgrund der Ergebnisse der Try-Out Versuche und wirtschaftlicher Anforderungen der Firma 4a manufacturing wurde festgelegt, dass die Anforderungen an die Bauteiloberfläche Falten, die sich nicht überlappen enthalten darf. Die in Abbildung 5.8 dargestellten Materialkombinationen wurden von der Firma 4a manufacturing zusammengestellt und wurden auf ihre maximale Ziehtiefe und eine vertretbare Oberfläche getestet.

		Verbunddicke		Platinen- durch- messer
		t = 3 mm	t = 1,6 mm	
Decklage	DC04 Decklagendicke: 0,2 mm			d=180mm
	DC04 Decklagendicke: 0,2 mm			d=210 mm
	Al 99,5 % Decklagendicke: 0,3 mm			d=180 mm
	Al 99,5 % Decklagendicke: 0,3 mm			d=210 mm
		max. Ziehtiefe in mm		

Abbildung 5.8: Matrix der Versuchsmaterialien

Teil III

VALIDIERUNG

ERGEBNISSE

Die hier verwendeten Platinen variieren im Werkstoff, der Verbunddicke, den Platinendurchmessern und somit auch der maximal erreichbaren Ziehtiefe (Abbildung 6.1). Die verwendeten Einstellungen der Presse SHC – 400 – 2.0x1.3 befinden sich im Kapitel A.1. Auf ihnen basiert auch die Auswertung und die optische Prüfung. Im Kapitel 6.1 wird ein direkter Vergleich zwischen den Ergebnissen diskutiert. Zusätzlich wurde eine Argus Vermessung von jeweils einer Aluminium 99,5 Platine und einer DC04 Platine, bei maximaler Ziehtiefe, durchgeführt und in Kapitel 6.2 ausgewertet.

6.1 ERGEBNISSE DER TIEFGEZOGENEN PLATINEN

Abbildung 6.1 und das Diagramm in Abbildung 6.2 zeigen die unterschiedlichen Platinen mit ihrer maximalen Ziehtiefe.

Platinen mit den Aluminium 99,5 Decklagen erreichen geringere Ziehtiefen als Platinen mit der Decklage DC04. Das ist auf die unterschiedlichen Materialeigenschaften von DC04 und Aluminium 99,5

Auswirkungen des unterschiedlichen Decklagenmaterials

		Verbunddicke in mm			
		t = 3,0	t = 1,6		
Decklage	DC04 Decklagendicke: 0,2 mm	38	56	d = 180 mm	Platinendurchmesser in mm
	DC04 Decklagendicke: 0,2 mm	26	41	d = 210 mm	
	Al 99,5 Decklagendicke: 0,3 mm	12	33	d = 180 mm	
	Al 99,5 Decklagendicke: 0,3 mm	7	27	d = 210 mm	
		Max. Ziehtiefe in mm			

Abbildung 6.1: Matrix Platinen mit maximaler Ziehtiefe

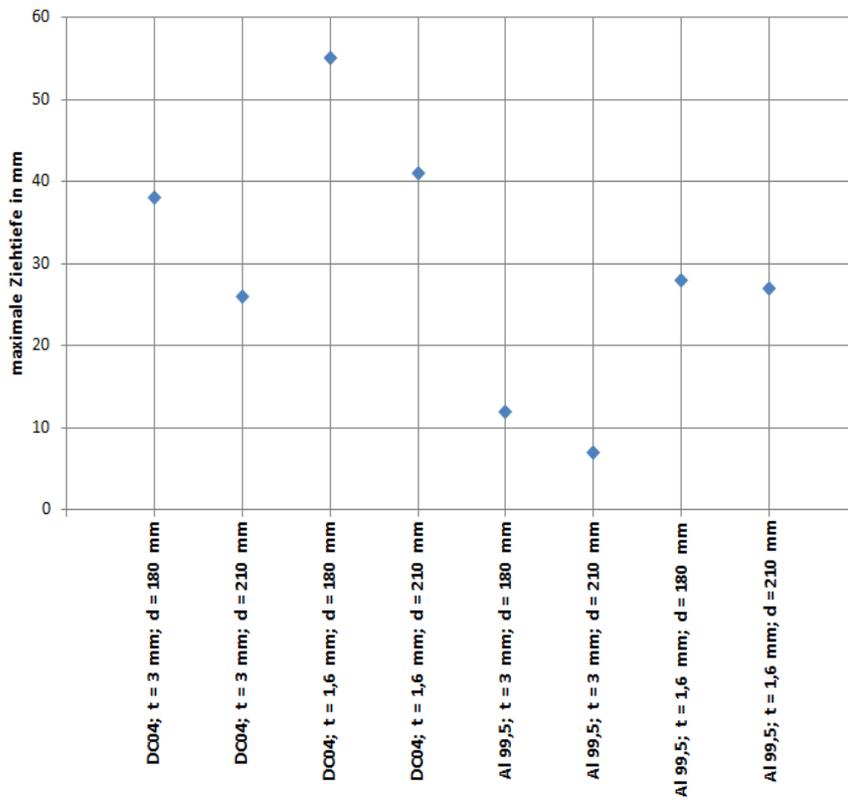


Abbildung 6.2: Diagramm Platinen mit maximaler Ziehtiefe

und auch auf die unterschiedliche Decklagendicke (DC04: 0,2 mm; Aluminium 99,5: 0,3 mm) zurückzuführen.

Platinen mit geringerer Verbunddicke (1,6 mm) weisen eine höhere Ziehtiefe auf als Platinen mit einer Verbunddicke von 3,0 mm. Bei der Gegenüberstellung von Platinen, die nur in der Verbunddicke variieren, die gleiche Decklage und den gleichen Durchmesser haben ist das deutlich zu erkennen (siehe Abbildungen der tiefgezogenen Platinen). Die Ursache, dass Platinen mit einer geringeren Verbunddicke eine höhere maximale Ziehtiefe erreichen ist, dass das Material besser nachfließen kann, da es sich nicht selbst am fließen hindert.

*Auswirkung der
Verbunddicke*

Eine höhere maximale Ziehtiefe wird mit den Platinen mit einem geringeren Durchmesser (Abbildung 6.2) erreicht. Dieser Unterschied ist optisch erkennbar (Abbildung 6.4). Das Platinen mit größerem Durchmesser eine niedriger maximale Ziehtiefe erreichen können ist darauf zurückzuführen, dass sich bei Platinen mit größerem Durchmesser das Material selbst am fließen hindert.

*Auswirkung des
Platinendurchmessers*

Da das Material während des Tiefziehens fließt und vom Blechhalter fixiert wird, kommt es am Flansch zu einer Dickenabnahme (Abbildung 6.3). Inwieweit sich die Dicke des Flanschs ändert hängt hauptsächlich von der erreichten Ziehtiefe ab. Je höher die Ziehtiefe ist, desto mehr Dickenabnahme in % wird erreicht, da das Material länger fließt. Bei der Platine mit der Decklage aus dem Werkstoff DC04, der Verbunddicke 1,6 mm und dem Durchmesser 180 mm kann die Dickenabnahme am Flansch nicht gemessen werden, da diese Platine durchgezogen werden konnte und somit kaum Flansch für eine aussagekräftige Messung zur Verfügung ist. Die Dickenabnahme bei Aluminium 99,5 ist kleiner als bei DC04, da Aluminium eine geringere maximale Ziehtiefe erreicht. Größere Platinendurchmesser haben im Flansch eine geringere Dickenabnahme, da diese Platinen nicht so weit gezogen werden können. Die Verbunddicke von 3 mm

*Dickenabnahme am
Flansch*

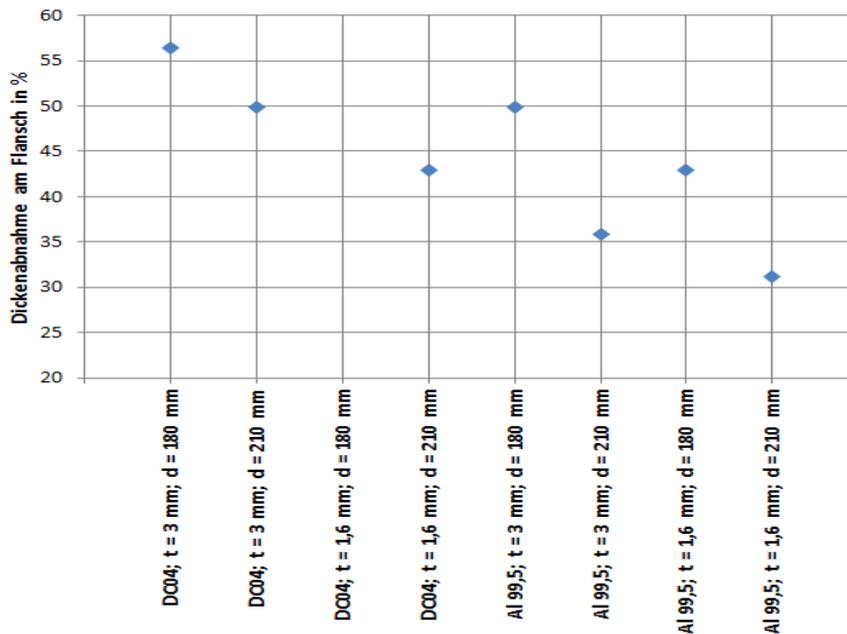


Abbildung 6.3: Änderung der Verbunddicke nach dem Tiefziehen bezogen auf die Verbunddicke der unbearbeiteten Platine

hat eine höhere Dickenabnahme als Platinen mit der Verbunddicke 1,6 mm, da mehr Material zum Fließen vorhanden ist.

Die Platine aus dem Decklagenmaterial DC04 mit 3,0 mm Verbunddicke und 180 mm Durchmesser (Abbildung) erreicht eine maximale Ziehtiefe von 38 mm und zeigt Falten 1. und 2. Ordnung. Bei überschreiten der der Ziehtiefe von 38 mm kommt es zu Bodenreißen. Daraus folgt, dass das maximale Grenzziehverhältnis für diesen Sandwichtaufbau unter dem Grenzziehverhältnis 1,8 liegt. Für die Verbunddicke von 3,0 mm kann mit dieser Materialkombination dennoch die höchste Ziehtiefe erreicht werden. Im Vergleich zur Aluminium 99,5 Decklage kann die Decklage mit DC04 26 mm weiter tiefgezogen werden.

Diese Platine hat eine maximale Ziehtiefe von 56 mm. Diese Platine konnte durchgezogen werden und erreicht somit das maximale Grenzziehverhältnis. Diese Platine erreicht die höchste maximale

*Platine: DC04; 3,0 mm
Verbunddicke und
180 mm Durchmesser*

*Platine: DC04; 1,6 mm
Verbunddicke und
180 mm Durchmesser*

Verbunddicke in mm		Platindurchmesser in mm			
		d = 180,0	d = 210,0	d = 180,0	d = 210,0
t = 3,0					
t = 1,6					
Decklagenmaterial		Decklage DC04	Decklage DC04	Decklage Al 99,5	Decklage Al 99,5

Abbildung 6.4: Ergebnisse der getesteten Materialaufbauten

Ziehtiefe, da sich die Materialeigenschaften von DC04, die niedrige Verbunddicke und der kleiner Durchmesser der Platine positiv auswirkt. Falten 2. Ordnung sind zu erkennen. Die Falten in der Zarge sind beim Durchzug nicht zu vermeiden, da das Material am Ende des Tiefziehvorgangs keinen Flansch hat der vom Blechhalter gehalten werden kann.

Bei dieser Platine wird eine maximale Ziehtiefe von 26 mm erreicht. Bei Betrachtung der Probe sind leichte Falten 1. und 2. Ordnung erkennbar. Aufgrund der hohen Verbunddicke und des hohen Durchmessers kommt es vermutlich während des Tiefziehens zu hohen Spannungen im Bereich zwischen Napfboden und Zarge - daher kommt es bei diesem Material sehr früh zu Bodenreißen. Das maximale Grenzziehverhältnis dieser Materialkombination liegt unter 2,1.

Die Platine aus dem Decklagenmaterial DC04 mit 1,6 mm Verbunddicke und 210 mm Durchmesser weist auch Falten 1. und 2. Ordnung auf. Dieses Bauteil erreicht eine maximale Ziehtiefe von 41 mm. Im Vergleich zur gleichen Platine mit dem Durchmesser 180 mm wird hier eine um 15 mm kleinere maximale Ziehtiefe erreicht. Dieser Unterschied ist auf den größeren Platinendurchmesser und die daraus folgenden höheren Spannungen im Material, während des Tiefziehens, zurückzuführen. Das maximale Grenzziehverhältnis wurde hier überschritten und liegt bei dieser Materialkombination unter 2,1. Im Gegensatz zur Platine mit der Decklage Aluminium 99,5 und den gleichen Abmessungen konnte hier trotzdem eine um 14 mm höhere Ziehtiefe erreicht werden.

Die Platine mit den Decklagenmaterial aus Aluminium 99,5 erreicht eine maximale Ziehtiefe von 12 mm. Das ist vor allem auf die Materialeigenschaften von Aluminium und auf die um 0,1 mm dickere Decklage zurückzuführen. Durch die hohe Verbunddicke wird

*Platine: DC04; 3,0 mm
Verbunddicke und
210 mm Durchmesser*

*Platine: DC04; 1,6 mm
Verbunddicke und
210 mm Durchmesser*

*Platine: Al 99,5;
3,0 mm Verbunddicke
und 180 mm
Durchmesser*

das Material am fließen gehindert und somit kann nur eine Ziehtiefe von 12 mm erreicht werden. Bei dieser tiefgezogenen Platine sind keine Falten sichtbar, da aufgrund der niedrigen Zugfestigkeit von Aluminium 99,5 das Material schon davor reißt. Das maximale Grenzziehverhältnis liegt bei der Materialkombination unter 1,8.

Bei der Platine mit dem Decklagenmaterial Al 99,5, 1,6 mm Verbunddicke und 180 mm Durchmesser kann eine maximale Ziehtiefe von 33 mm erreicht werden. Im Vergleich zur Aluminiumplatine mit dem gleichen Durchmesser und der Verbunddicke von 3 mm ist hier eine um 21 mm höhere Ziehtiefe realisierbar. Bei der Platine mit den gleichen Abmessungen aber dem Decklagenmaterial DC04 wird eine um 23 mm höhere maximale Ziehtiefe erreicht. Das ist auf den Unterschied der Materialeigenschaften von Aluminium 99,5 und DC04 und die um 0,1 mm höhere Decklagendicke, der Aluminium Decklagen, zurückzuführen. Am Napf sind Falten 2. Ordnung feststellbar. Auch bei dieser Materialkombination wird das maximale Grenzziehverhältnis überschritten.

*Platine: Al 99,5;
1,6 mm Verbunddicke
und 180 mm
Durchmesser*

Die Al 99,5-Platine mit der Verbunddicke von 3,0 mm und dem Platinendurchmesser von 210 mm erreicht die kleinste maximale Ziehtiefe (7 mm) da sich hier die Materialeigenschaften des Decklagenmaterials Aluminium 99,5, die hohe Verbunddicke und der Platinendurchmesser von 210 mm negativ auf die maximale Ziehtiefe auswirkt. Bei diesem Sandwichaufbau kommt es im Bereich zwischen Napfboden und Zarge während des Tiefziehens zu hohen Spannungen und somit erfolgt die Risseinleitung schon ab einer Ziehtiefe von 8 mm. Das maximale Grenzziehverhältnis von dieser Platine liegt unter dem hier errechneten Wert von 2,1.

*Platine: Al 99,5;
3,0 mm Verbunddicke
und 210 mm
Durchmesser*

Die Aluminium 99,5 Platine mit der Verbunddicke von 1,6 mm und dem 210 mm Durchmesser erreicht eine maximale Ziehtiefe von 27 mm. Im Vergleich zum gleichen Materialaufbau mit dem Durchmesser 180 mm ist hier eine um 6 mm geringere maximale Ziehtiefe erreichbar. Das zeigt deutlich, dass das Material mit dem größeren Platinendurchmesser höhere Spannungen am Übergang zwischen Napfboden und Zarge aufweist und somit die Rissbildung früher erfolgt. Es bilden sich bei diesem Bauteil Falten in der Zarge. Das maximale Grenzziehverhältnis ist bei diesem Durchmesser und dem verwendeten Stempel überschritten worden, daher kann das Bauteil auch nicht durchgezogen werden.

*Platine: Al 99,5;
1,6 mm Verbunddicke
und 210 mm
Durchmesser*

6.2 ERGEBNISSE DER ARGUS VERMESSUNG

Um realisierbare Dehnungszustände des Sandwichwerkstoffs Cibera darzustellen wurde jeweils eine Platine mit den Decklagen Aluminium 99,5, 1,6 mm Verbunddicke und 210 mm Platinendurchmesser (Platinengruppe N) und eine Platine mit den Decklagen DC04, 1,6 mm Verbunddicke und 210 mm Platinendurchmesser (Platinengruppe Q) für eine Argus Vermessung vorbereitet. Die beiden Platinen wurden bis zu ihrer maximalen Ziehtiefe (Al 99,5: 27 mm; DC04: 41 mm) tiefgezogen und anschließend vermessen (Abbildung 6.5 und Abbildung 6.6).

Abbildung 6.7 und Abbildung 6.8 zeigt die Formänderungsdiagramme von Bauteilen mit unterschiedlichem Decklagenmaterial bei höchster Ziehtiefe.

Die Formänderung im Scherbereich zeigt die deutliche Ausprägung des Tiefziehens (vgl. mit Abbildung 3.9). Bei maximaler Ziehtiefe bestätigen die Formänderungskurven das erwartete Ergebnis, dass der Sandwichwerkstoff Cibera mit den DC04 Decklagen einen

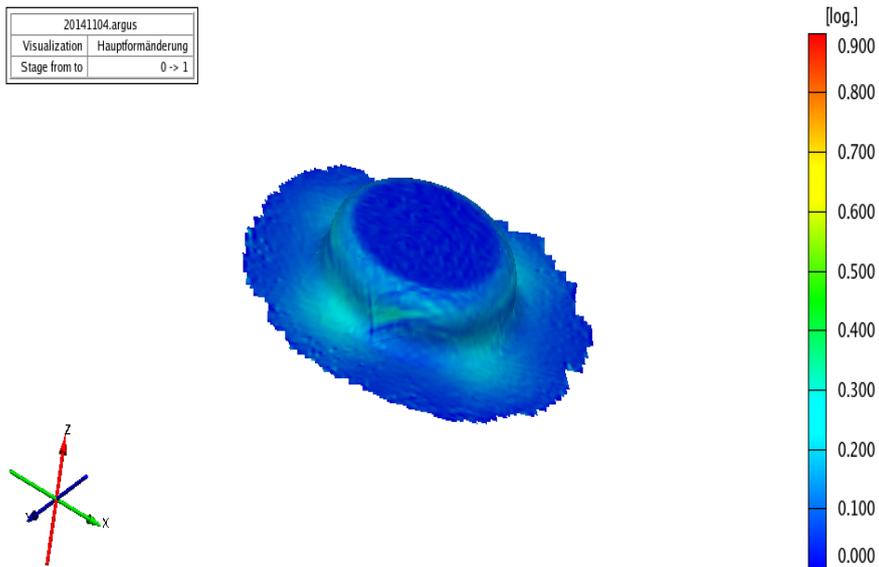


Abbildung 6.5: 3D Darstellung der Hauptformänderung der tiefgezogenen Platine mit den Decklagenmaterial Aluminium 99,5, 1,6 mm Verbunddicke und 210 mm Platinendurchmesser (N) mit der Argus Vermessungs Software

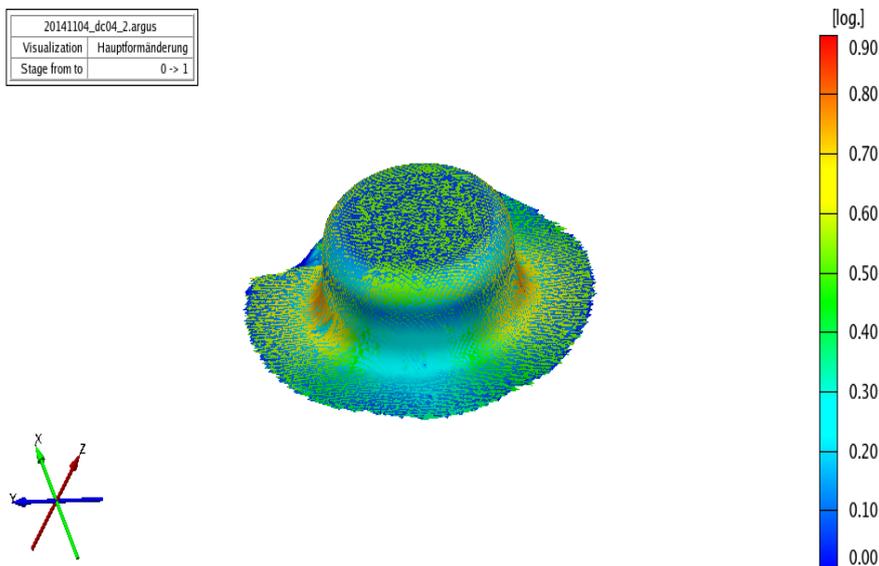


Abbildung 6.6: 3D Darstellung der Hauptformänderung der tiefgezogenen Platine mit den Decklagenmaterial DC04, 1,6 mm Verbunddicke und 210 mm Platinendurchmesser (Q) mit der Argus Vermessungs Software

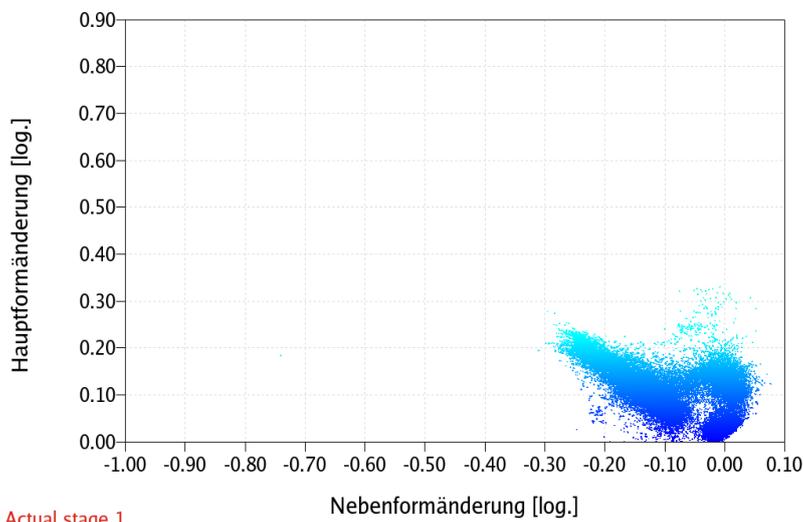
**ARGUS****gom**
www.gom.com

Abbildung 6.7: Formänderungsdiagramm von der Platine mit den Decklagen aus Aluminium 99,5 (1,6 mm Verbunddicke und 210 mm Platinendurchmesser (N)) bei maximaler Ziehtiefe

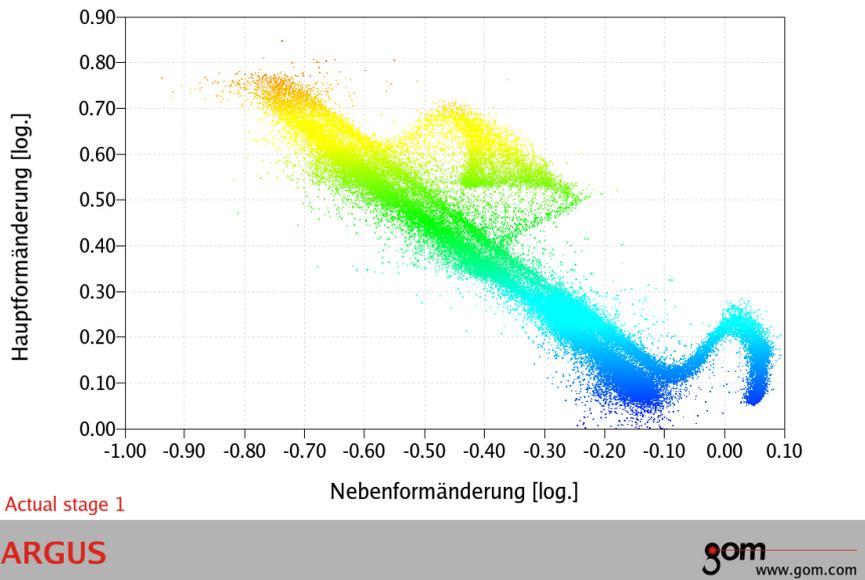


Abbildung 6.8: Formänderungsdiagramm von der Platine mit den Decklagen aus DC04 (1,6 mm Verbunddicke und 210 mm Platindurchmesser (Q)) bei maximaler Ziehtiefe

höheren Dehnungszustand (Hauptformänderung 0,76 und Nebenformänderung $-0,79$) als der Sandwichwerkstoff mit den Aluminium 99,5 Decklagen (Hauptformänderung 0,23 und Nebenformänderung $-0,26$) erreichen kann. Genauere Aussagen aus dem Formänderungsdiagramm können in Zukunft erhalten werden, wenn mehrere Versuche nach Nakajima durchgeführt werden und eine FLC bestimmt werden kann.

Teil IV

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit zeigt die Grundlagenversuche die notwendig sind, um das Angebot des Sandwichwerkstoffs Cimera in der Automobilindustrie für komplexere Bauteile zu erweitern. Das Sandwichmaterial Cimera wurde, in einem anderen Materialaufbau, für die Herstellung einer Schale für eine Rücksitzlehne, im Leichtbauauto MILA der Firma Magna Steyr (Abbildung 7.1), verwendet. Um weitere Bauteile mit Cimera umzusetzen wurde in dieser Arbeit die Untersuchung auf das Formänderungsvermögen bei Tiefziehversuchen durchgeführt. Bei variierendem Sandwichaufbau wurden die maximalen Ziehtiefen mit standardisierten Tiefziehversuchen ermittelt. Eine anschließende GOM Vermessung wurde eingesetzt, um Formänderungsdiagramme zu erstellen, und um die Formänderungen der Platinen mit unterschiedlichen Decklagenmaterial zu vergleichen.

Zusammenfassung der Arbeit

Der Aufbau des Sandwichmaterials Cimera variiert in dieser Arbeit im Material der Deckschichten und dessen Dicken, sowie in den Dicken des Verbundmaterials und den Platinengrößen.

Unterschiede im Verbundaufbau

Das Sandwichmaterial Cimera mit den Decklagen DC04, 1,6 mm

Ergebnis Ziehtiefen



Abbildung 7.1: Schale der Rücksitzlehne des Leichtbauautos MILA der Firma Magna Steyr [3]

		Verbunddicke		Platinen- durch- messer
		t = 3 mm	t = 1,6 mm	
Decklage	DC04 Decklagendicke: 0,2 mm	1,7	-	d=180mm
	DC04 Decklagendicke: 0,2 mm	1,5	0,7	d=210 mm
	Al 99,5 % Decklagendicke: 0,3 mm	1,5	0,7	d=180 mm
	Al 99,5 % Decklagendicke: 0,3 mm	1,1	0,5	d=210 mm
		Dickenabnahme in mm		

Abbildung 7.2: Dickenabnahme am Flansch in mm

Verbunddicke und den Platinendurchmesser 180 mm kann durchgezogen werden und erreicht somit eine maximale Ziehtiefe von 56 mm. Diesem Sandwichwerkstoff kommt die hohe Zugfestigkeit von DC04, die geringe Verbunddicke und der geringere Platinendurchmesser zugute. Durch die geringere Verbunddicke und den geringeren Platinendurchmesser kommt es im Material vermutlich nicht zu hohen Spannungen und somit kann das Material sehr gut fließen. Hingegen erreicht das Sandwichmaterial Cimera mit den Decklagen Al 99,5, 3 mm Verbunddicke und dem Platinendurchmesser 210 mm die geringste maximale Ziehtiefe. Bei diesem Werkstoff wirken sich vor allem die Materialeigenschaften von Aluminium und die um 0,1 mm dickeren Decklagen negativ aus.

Abbildung 7.2 zeigt die Dickenabnahme für die in Kapitel 5.3 angeführten Versuche. Der Sandwichwerkstoff mit der höchsten Ziehtiefe hat am Flansch auch die höchste Dickenabnahme, da der Werkstoff am meisten fließt. Die Platinen mit den Aluminium Decklagen verhalten sich anders, da das Bauteilversagen zum größten Teil auf die Materialeigenschaften zurückzuführen ist. Das in der Argus Vermessung ausgewertete Bauteil mit den DC04 Decklagen kann einen höheren Dehnungszustand als das Bauteil mit der Aluminium 99,5 Decklage erreichen.

*Ergebnis
Dickenabnahmen*

*Ergebnis Argus
Vermessung*

AUSBLICK

Der Sandwichwerkstoff Cimera der Firma 4a manufacturing hat großes Potenzial in Leichtbauanwendungen im Automobilbau. Der variable Materialaufbau von Cimera kann in Leichtbauanwendungen optimal genutzt werden. Um über das Formänderungsverhalten der unterschiedlichen Materialzusammensetzungen Aussagen treffen zu können, sind Tiefziehversuche maßgeblich.

Tiefziehversuche

Die optische Vermessung zeigt, dass unterschiedliche Parameter wie Hauptformänderung, Nebenformänderung und Materialstärke visualisiert werden können. Die Verwendung einer zugeschnittenen Ziehfolie mindert den Abrieb der geätzten Punkte. Um zukünftig relevante Ergebnisse durch die Argus Vermessung zu erhalten, werden Versuche nach Nakajima empfohlen. Aus diesen Ergebnissen ergibt sich die Grenzformänderungskurve. Ein Vergleich der Argus Vermessung mit der Simulation des Bauteils soll das Ergebnis der Vermessung bestätigen. Eine Simulation des Werkstoffs Cimera ist für zukünftige Anwendungen zu empfehlen um Kosten und Zeit zu sparen.

Argus Vermessung

Die in dieser Arbeit durchgeführten Versuche geben Aufschluss über das Tiefziehverhalten der hier untersuchten Materialkombinationen des Sandwichmaterials Cimera. Bauteile die ein niedriges Gewicht und nur wenig Ziehtiefe erfordern können mit dem Sandwichmaterial Cimera, mit Aluminiumdecklagen, ersetzt werden. Es ist zu beachten, dass die Festigkeit des Bauteils erhalten bleibt. Bei allen Bauteilen wo eine Gewichtseinsparung sowie eine höhere Ziehtiefe gefordert wird sollte das Sandwichmaterial Cimera mit der

DC04 Decklage eingesetzt werden. Mit Aluminiumlegierungen kann hier auch sicher ein besseres Tiefziehergebnis erreicht werden. Die Legierungszusammensetzung für die Ziehtiefe ausschlaggebend und sollte auch in Grundlagenversuchen untersucht werden.

Für die Zukunft sind auch Versuche mit einer Presse, die unter 180 kN die Verdrängerkraft variieren kann, und die Auswirkungen auf das Formänderungsvermögen interessant.

Verdrängerkraft

Für Leichtbauanwendungen im Automobilbau sind auch Materialkombinationen aus einem temperaturbeständigen Kern von hohem Interesse. Um Cimera selbst bei höheren Temperaturen einsetzen zu können, muss ein temperaturbeständiger Klebstoff eingesetzt werden. Die Auswirkungen auf das Formänderungsvermögen von einem temperaturbeständigen Kernwerkstoff sowie einem temperaturbeständigen Klebstoff sollten in eigenen Tiefziehversuchen getestet und bewertet werden.

Temperaturbeständigkeit

Unterschiedliche Zusammensetzungen des Sandwichmaterials, genaue Kenntnis des Formänderungsvermögens und der Materialeigenschaften kann die Bandbreite der Verwendung von Sandwichmaterialien im Automobilbau deutlich erhöhen.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] 3A Composites. 3A Composites, 2014. <http://www.display.3acomposites.com/produkte/hylite/eigenschaften.html> - Zugriff 09.08.2014.
- [2] 3A Composites GmbH. Alucobond, 2014. <http://www.alucobond.com/alucobond-start.html?&L=1> - Zugriff 12.08.2014.
- [3] 4a manufacturing. Leichtbau mit dem innovativen Sandwichmaterial CIMERA am Beispiel CULT. *Leichtbau WM 2013*, Feber 2013.
- [4] 4a manufacturing GmbH. Cimera the world's thinnest sandwich structure, 2014. <http://4a-manufacturing.at/index.php?id=386&L=1%27> - Zugriff 04.08.2014.
- [5] Batz+Burgel GmbH. Werkstoffdatenblatt:EN AW - 1050A (Al 99,5 - 3.0255), 2014. http://www.batz-burgel.de/downloads/aluminium/low-res/BB_A1_150dpi.pdf - Zugriff 04.07.2014.
- [6] Eckart Doege und Bernd-Arno Behrens. *Handbuch Umformtechnik*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2. Auflage, 2007.
- [7] Institut für Umformtechnik und Leichtbau. *Fertigungstechnik und Leichtbau*, 2014. www.leichtbau.de - Zugriff 29.05.2014.
- [8] Horst E. Friedrich. *Leichtbau in der Fahrzeugtechnik*. Springer - Vieweg, 2013.
- [9] GOM Gesellschaft für Optische Messtechnik mbH. *Industrielle 3D-Messtechnik*, 2014. www.gom.com - Zugriff 15.08.2014.

- [10] Metawell GmbH. Metawell die Leichtbauplatte, 2014. http://www.metawell.de/fileadmin/user_upload/Datenpool/Downloads/WS_Produkte/pdf/Metawell_Datenblaetter.pdf - Zugriff 18.08.2014.
- [11] Goodfellow. Polyphenylenoxid - Materialinformationen, 2008 - 2014. <http://www.goodfellow.com/G/Polyphenylenoxid-Platte.html> - Zugriff 18.06.2014.
- [12] G. Habenicht. *Kleben - Grundlagen, Technologien, Anwendung*. Springer, 6. Auflage, 2009.
- [13] SFS intec. Tiefziehtechnologie, 2014. http://www.sfsintec.biz/de/web/technologies___products/production_technologies/deep_drawing/prozess/prozess_1.html - Zugriff 02.10.2014.
- [14] Bernd Klein. *Leichtbau-Konstruktion: Berechnungsgrundlagen und Gestaltung*. Vieweg+Teubner, 10. Auflage, 2013.
- [15] Kurt Lange. *Lehrbuch der Umformtechnik*. Springer, 8. Auflage, 1975.
- [16] Kurt Lange. *Umformtechnik Grundlagen*. Springer, 2. Auflage, 2002.
- [17] 2002 Metal Pass LLC. Flow Stress, 2014. <http://www.metapass.com/flowstress/description.aspx?doc=f2description.aspx?doc=c> - Zugriff 02.10.2014.
- [18] Friedrich Ostermann. *Anwendungstechnologie Aluminium*. Springer, 2. Auflage, 2007.
- [19] ThyssenKrupp Steel Europe AG. Leichtbau mit Stahl: LITECOR von ThyssenKrupp Steel Europe geht ins Rennen. *EURO-*

- Blech*, 2012. http://www.euroblech.com/exhibitor-files/PM_Euroblech-2014_Litecor.pdf - Zugriff 25.10.2014.
- [20] Thyssen Krupp. Sandwich für den Leichtbau, 2012. http://www.umformtechnik.net/sandwich-fuer-den-leichtbau_21257_de/ - Zugriff 11.08.2014.
- [21] Thyssen Krupp. Tiefziehstähle DD, DC, DX, 2013. https://www.thyssenkrupp-steel-europe.com/media/content_1/publikationen/produktinformation_tiefziehstaehle_dd_dx_und_dc_de.pdf - Zugriff 27.05.2014.
- [22] William Callister und David G. Rethwisch. *Materialwissenschaften und Werkstofftechnik*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2013.
- [23] Heinrich Oettel und Hermann Schumann. *Metallografie*. WILEY-VCH, 15. Auflage, 2011.
- [24] Sebastian Koltzenburg und Michael Maskos und Oskar Nuyken. *Polymere: Synthese, Eigenschaften und Anwendungen*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.
- [25] Arndt Birkert und Stefan Haage Markus Straub. *Umformtechnische Herstellung komplexer Karosserieteile*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
- [26] EPS Verband Schweiz. Ein völlig natürlicher Wärmedämmstoff, 2013. http://www.epsschweiz.ch/material_eps.html - Zugriff 18.09.2014.
- [27] Johannes Wiedemann. *Leichtbau Elemente und Konstruktion*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 3. Auflage, 2007.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 0.1	Institut für Werkzeugtechnik & Spanlose Produktion und 4a manufacturing GmbH	vii
Abbildung 3.1	Einflussfaktoren Leichtbau	6
Abbildung 3.2	Klassifizierungsschema für Verbundwerk- stoffe	8
Abbildung 3.3	Aufbau Sandwichwerkstoff	11
Abbildung 3.4	Sandwichmaterial Hylite	12
Abbildung 3.5	Sandwichmaterial Metawell	13
Abbildung 3.6	Vergleich der Festigkeit von Aluminium und Cibera	14
Abbildung 3.7	Unterteilung der Umformverfahren	15
Abbildung 3.8	Fließspannung in Abhängigkeit von a. Um- formtemperatur T, b. Umformgrad φ und c. Umformgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$	19
Abbildung 3.9	Grenzformänderungskurve (FLC - forming limit curve)	22
Abbildung 3.10	Tiefziehversuch	23
Abbildung 3.11	Unterschiedliche Beanspruchungen beim Tiefziehen	25
Abbildung 3.12	Fehler beim Tiefziehen: Riss im Boden, Falten 1. Ordnung, Falten 2. Ordnung, Zipfelbildung	27
Abbildung 5.1	Prozessablauf Tiefziehen	31
Abbildung 5.2	Bauteile mit gleichem Durchmesser und variierender Dicke	38

Abbildung 5.3	BT004 (B) mit der maximal erreichbaren Ziehtiefe ohne Tiefziehöl von 15 mm ; BT005 (B) Riss beim Versuch, eine Ziehtiefe von 20 mm zu erreichen	39
Abbildung 5.4	Prinzipiskizze von einem Tiefziehvorgang mit Distanzen	40
Abbildung 5.5	BT024 (D) mit Distanzen von 3 mm tiefgezogen: deutliche Faltenbildung; BT052 (B) ohne Distanzen tiefgezogen: es sind kaum Falten zu erkennen	40
Abbildung 5.6	BT013 (A) Riss, da keine Distanzen verwendet wurden; BT021 (A) Durchzug mit einer Ziehtiefe von 55 mm	40
Abbildung 5.7	BT070 (C): DC04, d = 180 mm, t = 2,1 – 2,2 mm, 180 kN Blechhalterkraft, ohne Distanzen; mit Tiefziehfolie; BT071 (C): DC04, d = 180 mm, t = 2,1 – 2,2 mm, 180 kN Blechhalterkraft, ohne Distanzen, mit genau angepasster Tiefziehfolie	41
Abbildung 5.8	Matrix der Versuchsmaterialien	45
Abbildung 6.1	Matrix Platinen mit maximaler Ziehtiefe	47
Abbildung 6.2	Diagramm Platinen mit maximaler Ziehtiefe	48
Abbildung 6.3	Dickenabnahme am Flansch	50
Abbildung 6.4	Materialmatrix: Ergebnisse	51
Abbildung 6.5	3D Darstellung der Hauptformänderung der Al Platine	55
Abbildung 6.6	3D Darstellung der Hauptformänderung der DC04 Platine	55

Abbildung 6.7	Formänderungsdiagramm von der Platine mit dem Decklagenmaterial Aluminium 99,5	56
Abbildung 6.8	Formänderungsdiagramm von der Platine mit dem Decklagenmaterial DC04	57
Abbildung 7.1	Schale der Rücksitzlehne, MILA, Magna Steyr	59
Abbildung 7.2	Dickenabnahme am Flansch in mm	60

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 5.1	Chemische Zusammensetzung in Massenanteile in % des Werkstoffs DC04	32
Tabelle 5.2	Mechanische Eigenschaften	32
Tabelle 5.3	Chemische Zusammensetzung in Massenanteile in % von Reinaluminium 99,5	33
Tabelle 5.4	Platinengruppen der Try-Out Versuche	36

Teil V

ANHANG

A

ANHANG DATEN

A.1 VERSUCHSERGEBNISSE

In diesem Excel File sind die eingestellten Parameter aufgelistet. Wie schon in Kapitel 5.4 erwähnt, gibt die erste Spalte „OK?“ Auskunft ob das Bauteil gerissen ist („x“) oder keinen Riss hat („ok“). Danach findet man in den Spalten den Durchmesser, die Materialdicke, die Verdrängerkraft, die Distanzdicke und die Ziehtiefe. Darauf folgen Bilder zu den einzelnen Platinengruppen, wie in Tabelle 5.4 dargestellt.

	OK ?	Material	d / mm	t / mm	Tiefziehöl	Verdrängerkraft / kN	Distanzdicke / mm	Tiefziehfolie	Ziehtiefe / mm
BT001	x	DC04	180	1,5	nein	180	0	nein	24
BT002	x	DC04	180	1,5	nein	180	0	nein	24
BT003	ok	DC04	180	1,5	nein	180	0	nein	5
BT004	ok	DC04	180	1,5	nein	180	0	nein	15
BT005	x	DC04	180	1,5	nein	180	0	nein	20
BT006	ok	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	20
BT007	ok	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	0	nein	20
BT008	ok	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	0	nein	25
BT009	x	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	0	nein	35
BT010	x	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	35
BT011	ok	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	35
BT012	x	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	0	nein	35
BT013	x	DC04	150	1,5	ja	180	0	nein	31
BT014	ok	DC04	180	1,5	ja	180	3	nein	35
BT015	ok	DC04	180	2,1-2,2	ja	180	3	nein	45
BT016	ok	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	3	nein	55
BT017	x	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	0	nein	35
BT018	x	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	0	nein	45
BT019	ok	DC04	150	1,5	ja	180	3	nein	31
BT020	ok	DC04	150	1,5	ja	180	1,5	nein	31
BT021	ok	DC04	150	1,5	ja	180	1	nein	31
BT022	x	DC04	150	1,5	ja	180	0	nein	31
BT023	ok	DC04	150	1,5	ja	180	1	nein	31
BT024	ok	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	3	nein	85
BT025	x	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	1,5	nein	65
BT026	x	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	1,5	nein	65
BT027	x	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	1,5	nein	45
BT028	ok	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	1,5	nein	30
BT029	ok	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	1	nein	30
BT030	ok	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	0,7	nein	30
BT031	ok	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	0	nein	30
BT032	ok	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	0	nein	35
BT033	x	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	0	nein	40
BT034	x	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	0	nein	37,5
BT035	x	DC04	210	1,3-1,4	ja	180	0	nein	37
BT036	x	DC04	210	2	ja	180	0	nein	37
BT037	x	DC04	210	2	ja	180	0	nein	35
BT038	ok	DC04	210	2	ja	180	0	nein	32,5
BT039	ok	DC04	210	2	ja	180	0	nein	32,5
BT040	ok	DC04	210	2	ja	180	0	nein	32,5
BT041	ok	DC04	210	2	ja	180	0	nein	32,5
BT042	ok	DC04	210	2	ja	180	0	nein	32,5
BT043	ok	DC04	210	2	ja	180	1,5	nein	65
BT044	ok	DC04	210	2	ja	180	2	nein	65
BT045	x	DC04	210	2	ja	180	1,5	nein	65

	OK ?	Material	d / mm	t / mm	Tiefziehöl	Verdrängerkraft / kN	Distanzdicke / mm	Tiefziehfolie	Ziehtiefe / mm
BT046	ok	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	37
BT047	ok	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	37
BT048	ok	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	40
BT049	ok	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	45
BT050	ok	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	50
BT051	ok	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	55
BT052	ok	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	56
BT053	x	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	56
BT054	x	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	56
BT055	x	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	56
BT056	ok	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	56
BT057	ok	DC04	180	2,1-2,2	ja	180	0	nein	40
BT058	x	DC04	210	3	ja	180	0	nein	35
BT059	x	DC04	210	3	ja	180	0	nein	30
BT060	x	DC04	210	3	ja	180	0	nein	27,5
BT061	-	DC04	210	3	ja	180	0	nein	25
BT062	ok	DC04	210	3	ja	180	2	nein	25
BT063	ok	DC04	210	3	ja	180	2	nein	30
BT064	x	DC04	210	3	ja	180	1,5	nein	30
BT065	ok	DC04	210	3	ja	180	3	nein	65
BT066	x	DC04	180	2,1-2,2	ja	180	0	nein	40
BT067	x	DC04	180	2,1-2,2	ja	180	0	nein	40
BT068	ok	DC04	180	2,1-2,2	ja	180	0	nein	40
BT069	x	DC04	180	2,1-2,2	ja	180	0	nein	40
BT070	ok	DC04	180	2,1-2,2	ja	180	0	ja	40
BT071	ok	DC04	180	2,1-2,2	ja	180	0	ja	40
BT072	ok	DC04	180	2,1-2,2	ja	180	0	nein	40
BT073	ok	DC04	180	2,1-2,2	ja	180	0	nein	40
BT074	ok	DC04	180	2,1-2,2	ja	180	0	nein	40
BT075	x	DC04	180	2,1-2,2	ja	400	0	nein	50
BT076	x	DC04	180	2,1-2,2	ja	300	0	nein	50
BT077	x	DC04	180	2,1-2,2	ja	300	0	nein	40
BT078	x	DC04	180	2,1-2,2	ja	200	0	nein	40
BT079	x	DC04	180	2,1-2,2	ja	180	0	nein	40
BT080	x	DC04	180	1,5	ja	200	0	nein	40
BT081	x	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	40
BT082	x	DC04	180	1,5	ja	180	0	nein	40
BT083	x	DC04	190	1,5	ja	180	0	nein	40
BT084	x	DC04	190	1,5	ja	180	0	nein	40
BT085	x	DC04	190	1,5	ja	180	0	nein	39
BT086	ok	DC04	190	1,5	ja	180	0	nein	38
BT087	x	DC04	190	1,5	ja	180	1,2	nein	90
BT088	ok	DC04	190	1,5	ja	180	2	nein	65
BT089	ok	DC04	190	1,5	ja	180	1,5	nein	65
BT090	ok	DC04	190	1,5	ja	180	1,2	nein	65

	OK ?	Material	d / mm	t / mm	Tiefziehöl	Verdrängerkraft / kN	Distanzdicke / mm	Tiefziehfolie	Ziehtiefe / mm
BT091	x	DC04	190	1,5	ja	180	1,2	nein	65
BT092	ok	DC04	190	2	ja	180	0	nein	40
BT093	x	DC04	190	2	ja	180	0	nein	45
BT094	x	DC04	190	2	ja	180	0	nein	43
BT095	ok	DC04	190	2	ja	180	0	nein	42
BT096	x	DC04	190	2	ja	180	1,2	nein	65
BT097	ok	DC04	190	2	ja	180	2	nein	65
BT098	x	DC04	190	2	ja	180	0	nein	40
BT099	x	DC04	190	3	ja	4000	0	nein	40
BT100	x	DC04	190	3	ja	4000	0	nein	38
BT101	x	DC04	190	3	ja	180	0	nein	35
BT102	x	DC04	190	3	ja	180	0	nein	34
BT103	ok	DC04	180	3	ja	180	0	nein	35
BT104	x	DC04	180	3	ja	180	0	nein	40
BT105	x	DC04	180	3	ja	180	0	nein	39
BT106	ok	DC04	180	3	ja	180	0	nein	38
BT107	x	DC04	180	3	ja	180	0	nein	56
BT108	ok	DC04	180	3	ja	180	0	nein	7
BT109	x	DC04	210	3	ja	180	0	nein	30
BT110	ok	DC04	210	3	ja	180	0	nein	25
BT111	x	DC04	210	3	ja	180	0	nein	27
BT112	ok	DC04	210	3	ja	180	0	nein	26
BT113	x	DC04	210	3	ja	180	0	nein	85
BT114	ok	DC04	210	3	ja	180	0	nein	7
BT115	x	Al	180	3	ja	180	0	nein	45
BT116	x	Al	180	3	ja	180	0	nein	35
BT117	x	Al	180	3	ja	180	0	nein	25
BT118	x	Al	180	3	ja	180	0	nein	15
BT119	ok	Al	180	3	ja	180	0	nein	10
BT120	ok	Al	180	3	ja	180	0	nein	12
BT121	x	Al	180	3	ja	180	0	nein	13
BT122	x	Al	180	3	ja	180	0	nein	56
BT123	ok	Al	180	3	ja	180	0	nein	7
BT124	x	Al	210	3	ja	180	0	nein	30
BT125	x	Al	210	3	ja	180	0	nein	10
BT126	x	Al	210	3	ja	180	0	nein	9
BT127	x	Al	210	3	ja	180	0	nein	8
BT128	ok	Al	210	3	ja	180	0	nein	7
BT129	x	Al	210	3	ja	180	0	nein	85
BT130	x	DC04	180	1,6	ja	180	0	nein	55
BT131	x	DC04	180	1,6	ja	180	0	nein	55
BT132	x	DC04	180	1,6	ja	180	0	nein	55
BT133	x	DC04	180	1,6	ja	180	0	nein	56
BT134	x	DC04	180	1,6	ja	180	0	nein	56
BT135	x	DC04	180	1,6	ja	180	0	nein	56

	OK ?	Material	d / mm	t / mm	Tiefziehöl	Verdrängerkraft / kN	Distanzdicke / mm	Tiefziehfolie	Ziehtiefe / mm
BT136	ok	DC04	180	1,6	ja	180	0	nein	56
BT137	ok	DC04	180	1,6	ja	180	0	nein	55
BT138	ok	DC04	180	1,6	ja	180	0	nein	56
BT139	ok	DC04	180	1,6	ja	180	0	nein	55
BT140	ok	DC04	180	1,6	ja	180	0	nein	56
BT141	ok	DC04	180	1,6	ja	180	0	nein	7
BT142	ok	DC04	180	1,6	ja	180	0	nein	55
BT143	ok	DC04	180	1,6	ja	180	0	nein	55
BT144	x	DC04	210	1,6	ja	180	0	nein	35
BT145	x	DC04	210	1,6	ja	180	0	nein	35
BT146	ok	DC04	210	1,6	ja	180	0	nein	35
BT147	x	DC04	210	1,6	ja	180	0	nein	40
BT148	x	DC04	210	1,6	ja	180	0	nein	43
BT149	ok	DC04	210	1,6	ja	180	0	nein	41
BT150	x	DC04	210	1,6	ja	180	0	nein	42
BT151	x	DC04	210	1,6	ja	180	0	nein	85
BT152	ok	DC04	210	1,6	ja	180	0	nein	7
BT153	x	Al	180	1,6	ja	180	0	nein	55
BT154	ok	Al	180	1,6	ja	180	0	nein	15
BT155	ok	Al	180	1,6	ja	180	0	nein	10
BT156	ok	Al	180	1,6	ja	180	0	nein	20
BT157	ok	Al	180	1,6	ja	180	0	nein	25
BT158	x	Al	180	1,6	ja	180	0	nein	35
BT159	x	Al	180	1,6	ja	180	0	nein	30
BT160	ok	Al	180	1,6	ja	180	0	nein	27
BT161	ok	Al	180	1,6	ja	180	0	nein	28
BT162	x	Al	180	1,6	ja	180	0	nein	34
BT163	x	Al	180	1,6	ja	180	0	nein	56
BT164	ok	Al	180	1,6	ja	180	0	nein	7
BT165	x	Al	210	1,6	ja	180	0	nein	35
BT166	ok	Al	210	1,6	ja	180	0	nein	25
BT167	x	Al	210	1,6	ja	180	0	nein	30
BT168	x	Al	210	1,6	ja	180	0	nein	29
BT169	x	Al	210	1,6	ja	180	0	nein	28
BT170	ok	Al	210	1,6	ja	180	0	nein	27
BT171	x	Al	210	1,6	ja	180	0	nein	26
BT172	x	Al	210	1,6	ja	180	0	nein	85
BT173	ok	Al	210	1,6	ja	180	0	nein	7

Platinen- gruppe	Deck- lagen- material	Durch- messer in mm	Verbund- dicke in mm	Max. Ziehtiefe in mm	Bild
A (BT013)	DC04	150	1,5	31	
B (BT052)	DC04	180	1,5	56,0	
C (BT 57)	DC04	180	2,1 – 2,2	40,0	
D (BT032)	DC04	210	1,3 – 1,4	35,0	
E (BT041)	DC04	210	2,0	32,5	
F (BT112)	DC04	210	3,0	26,0	
G (BT086)	DC04	190	1,5	38,0	

Platinen- gruppe	Deck- lagen- material	Durch- messer in mm	Verbund- dicke in mm	Max. Ziehtiefe in mm	Bild
H (BT095)	DC04	190	2,0	42,0	
I (BT102)	DC04	190	3,0	34,0 (Riss am Ende des Tiefziehvorgangs)	
J (BT106)	DC04	180	3,0	38,0	
K (BT 120)	Al 99,5	180	3,0	12,0	
L(BT161)	Al 99,5	180	1,6	33	
M (BT128)	Al 99,5	210	3,0	7,0	
N(BT170)	Al 99,5	210	1,6	27	

Platinen- gruppe	Deck- lagen- material	Durch- messer in mm	Verbund- dicke in mm	Max. Ziehtiefe in mm	Bild
O (BT143)	DC04	180	1,6	56,0	
P (BT149)	DC04	210	1,6	41,0	

A.2 DATENBLÄTTER

Ausstattung am



Technische Daten:

**Zweifachwirkende Presse
SHC-400-2.0x1.3
mit Speicherantrieb**

Hydraulisches Tischkissen			
Kräfte			
Verdrängen	max.	kN	1.600
Auswerfen	max.	kN	160
Stößel			
Kräfte			
Pressen	max.	kN	4.000
Rückzug frei	max.	kN	539
Hub		mm	800
Geschwindigkeiten			
Eilgang abwärts	max.	mm/s	500
Pressen mit Nennkraft	max.	mm/s	150
Eilgang aufwärts	max.	mm/s	500
Werkzeugeinbauraum			
Aufspannfläche Stößel		mm	2.000 x 1.300
Aufspannfläche Tisch		mm	2.000 x 1.300
Abstand Tisch – Stößel OT		mm	1.200
Abstand Tisch – Stößel UT		mm	400
T-Nuten			
Größe H12 DIN 650			T 28
Teilung		mm	300

Stahlsortenbezeichnung und Oberflächenveredelungen

	ThyssenKrupp Steel Europe	DIN EN 10130, 10152, 10111, 10346	Oberflächenveredelungen					
			–	ZE	Z	ZF	ZM	AS
DIN EN	■ DC01	DC01	•	•				
	■ DC03	DC03	•	•				
	■ DC04	DC04	⊙	⊙				
	■ DC05	DC05	⊙	⊙				
	■ DC06	DC06	⊙	⊙				
	■ DC07	DC07	⊙	⊙				
	■ DD11	DD11	•					
	■ DD12	DD12	•					
	■ DD13	DD13	•					
	■ DD14	DD14	•					
	■ DX51D	DX51D			⊙	⊙	•	•
	■ DX52D	DX52D			⊙	⊙	•	•
	■ DX53D	DX53D			⊙	⊙	•	•
	■ DX54D	DX54D			⊙	⊙	•	•
	■ DX55D	DX55D						•
	■ DX56D	DX56D			⊙	⊙	•	•
	■ DX57D	DX57D			⊙	•	•	
	■ DX58D	Werkssondergüte			•			

	ThyssenKrupp Steel Europe	VDA 239-100	Oberflächenveredelungen					
			UC	EG	GI	GA	ZM	AS
VDA	■ CR1	CR1	•	•	•	•	•	•
	■ CR2	CR2	•	•	•	•	•	•
	■ CR3	CR3	⊙	⊙	⊙	⊙	•	•
	■ CR4	CR4	⊙	⊙	⊙	⊙	•	•
	■ CR5	CR5	⊙	⊙	⊙	•	•	
	■ HR2	HR2	•					

- Warmband
- Kaltband
- Serienfertigung für Innenteile
- ⊙ Serienfertigung für Innen- und Außenteile

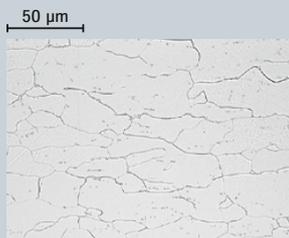
- /UC Unbeschichtet
- ZE/EG Elektrolytisch verzinkt
- Z/GI Feuerverzinkt
- ZF/GA Galvannealed
- ZM ZM EcoProtect®
- AS Feueraluminiert

Werkstoffcharakteristik

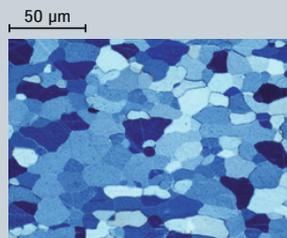
Um kohlenstoffarme Feinblechsorten wie die Premiumgüten der Tiefziehstähle herstellen zu können, hat ThyssenKrupp Europe Steel bereits in der Flüssigstufe neben modernsten Stahlerschmelzungsmethoden eine Reihe von sekundärmetallurgischen Sondermaßnahmen entwickelt und realisiert. So erfolgt die Einstellung niedrigster Kohlenstoffgehalte und die Zugabe spezieller Legierungen über moderne Vakuumanlagen. Für die unlegierten warmgewalzten Güten wurden darüber hinaus neue Walzkonzepte erarbeitet, um den Forderungen nach möglichst niedrigen Streckgrenzenwerten, guter Kaltumformbarkeit und Alterungsbeständigkeit zu entsprechen. Die kaltgewalzten Stahlsorten sind hochwertige, niedrigentkohlte, Ti und/oder TiNb legierte IF-Stähle.

Tiefziehstähle zeigen ein rein ferritisches Gefüge oder bestehen aus einer ferritischen Matrix, in die vereinzelt körnige Karbide eingelagert sein können. Bei einer Nitalätzung werden die Korngrenzen und feine Karbide sichtbar. Die Karbide erscheinen schwarz. Mit der Farbniederschlagsätzung nach Klemm werden die Kornflächen und grobe Karbide kontrastiert. Die Kornflächen erscheinen in Braun- oder Blautönen, die Karbide bleiben weiß.

Beispielgefüge von Tiefziehstählen



Gefüge von Tiefziehstählen.
Gefügekontrastierung mit Nital-Ätzung



Typische Gefüge von Tiefziehstählen.
Gefügekontrastierung über Ätzung nach Klemm

Technische Merkmale

Chemische Zusammensetzung

Massenanteile der Schmelzanalyse [%]

DIN EN	Stahlsorte	C max	Si max	Mn max	P max	S max	Al min	Ti + Nb max
	■ DC01	0,12	-	0,60	0,045	0,045	-	-
	■ DC03	0,10		0,45	0,035	0,035		
	■ DC04	0,08		0,40	0,030	0,030		
	■ DC05	0,06		0,35	0,025	0,025		
	■ DC06	0,02		0,25	0,020	0,020		0,3
	■ DC07	0,01		0,20				0,2
	■ DD11	0,12		0,60	0,045	0,045		-
	■ DD12	0,10		0,45	0,035	0,035		
	■ DD13	0,08		0,40	0,030	0,030		
	■ DD14			0,35	0,025	0,025		
	■ DX51D	0,18		0,50	1,20	0,12		0,045
■ DX52D–DX58D ¹⁾	0,12	0,60	0,10					

¹⁾ DX58D Werkssondergüte

Massenanteile der Schmelzanalyse [%]

VDA	Stahlsorte	C max	Si max	Mn max	P max	S max	Al min	Ti max
	■ CR1	0,12	0,50	0,60	0,065	0,045	0,010	-
	■ CR2	0,10		0,50				
	■ CR3	0,08		0,40	0,030	0,030		0,30
	■ CR4	0,06		0,30	0,025	0,025		
	■ CR5	0,02		0,40	0,020	0,020		
	■ HR2	0,10		0,50	0,030	0,030		0,015

- Warmband
- Kaltband

Mechanische Eigenschaften

Prüfrichtung quer zur Walzrichtung

Stahlsorte	Gültig für Dicken	Streckgrenze R _{p 0,2} [MPa]	Zugfestigkeit R _m [MPa]	Bruchdehnung		Senkrechte Anisotropie		Verfestigungsexponent n _{10-20/Ag} min	
				A [%] min	A ₈₀ [%] min	r _{90/20} min	r _{m/20} min		
■ DC01	0,7–1,5 mm	140–280	270–410	–	28	–	–	–	
■ DC03		140–240	270–370		34	1,3			
■ DC04		140–210	270–350		38	1,6			
■ DC05		140–180	270–330		40	1,9			
■ DC06		120–170	270–330		41	2,1			
■ DC07		100–150	250–310		44	2,5			
■ DD11	1,0–11,0 mm	170–340	≤ 440	28	23	–	–	–	
■ DD12		170–320	≤ 420	30	25				
■ DD13		170–310	≤ 400	33	28				
■ DD14		170–290	≤ 380	36	31				
■ DX51D+Z	0,7–2,0 mm	–	270–500	–	22	–	–	–	
■ DX52D+Z		140–300	270–420		26				
■ DX53D+Z		140–260	270–380		30				
■ DX54D+Z		120–220	260–350		36				1,6
■ DX55D+AS		140–240	270–370		30				–
■ DX56D+Z		120–180	260–350		39				1,9
■ DX57D+Z		120–170	260–350		41				2,1
■ DX58D+Z ¹⁾		120–160	260–330		43				2,3

Auf- und Abschläge für abweichende Dicken sind der jeweils gültigen Norm zu entnehmen

Einschränkungen der technologischen Eigenschaften sind gegen Aufpreis und nach Rücksprache möglich

¹⁾ Werkssondergüte

- Warmband
- Kaltband
- +Z Feuerverzinkt
- +AS Feueraluminiert

R_{p 0,2} Dehngrenze bei 0,2 % plastischer Dehnung

R_m Zugfestigkeit

A Bruchdehnung bei einer Proportionalprobe mit einer Messlänge L₀ = 5,65√S₀ bei Blechdicken S ≥ 3,0 mm

A₈₀ Bruchdehnung bei einer Probe mit der Messlänge 80 mm für Blechdicken S < 3,0 mm

n_{10-20/Ag} Verfestigungsexponent, ermittelt zwischen 10 bis 20 % plastischer Dehnung bzw. der Gleichmaßdehngrenze bei A_g < 20 %

r_{90/20} Senkrechte Anisotropie in Querrichtung bei 20 % plastischer Dehnung

r_{m/20} Mittlere senkrechte Anisotropie bei 20 % plastischer Dehnung,

$$r_{m/20} = (r_{0/20} + r_{90/20} + 2 \times r_{45/20}) / 4$$

Werkstoffdatenblatt: EN AW – 1050A (Al 99,5 – 3.0255)

1. Chemische Zusammensetzung

nach DIN EN 573-3 (in % der Masse, Rest Al)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Bemerkung	Andere Elemente
0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	-	0,07	0,05	AL 99,98	0,03

2. mechanische Eigenschaften

nach DIN EN 485-2 Bleche und Platten (gebräuchliche Zustände)

Zustand	Nennstärke		Zugfestigkeit		Streckgrenze		Bruchdehnung In % (mm) A _{50 mm}	Härte HBS
	in mm		Rm in MPa		Rp0,2 in MPa			
	über	bis	Min.	Max.	Min.	Max.		
0 / H111 (weich)	0,5	1,5	65	95	20	-	22	20
	1,5	3,0	65	95	20		29	20
	6,0	12,5	65	95	20		35	20
H14 (hh)	0,5	1,5	105	145	85		3	34
	1,5	3,0	105	145	85		4	34
	3,0	6,0	105	145	85		5	34
	6,0	12,5	105	145	85		6	34

Physikalischen Eigenschaften

(Richtwerte bei 20°C)

Allgemeine Eigenschaften

Dichte in g/cm ³	2,7	Beständigkeit gegen:	
Erstarrungsbereich °C	646-657	- Meerwasser	3
Elektr. Leitfähigkeit MS/m	34-36	- Witterung	2
Wärmeleitfähigkeit W/(mK)	210-220	Warmumformbarkeit:	
Therm. Längenausdehnungskoeffizient 10 ⁻⁶ /K	23,5	- Strangpressen	1
Elastizitätsmodul N/mm ²	70.000	- Gesenkschmieden	1
		- Freiformschmieden	-

Schweißbarkeit

Schmelzschweißen

- Gas	2
- WIG	2
- MIG	3

Widerstandsschweißen

5

Oberflächenbehandlung

Schutzanodisieren	1
Dekorativ Anodisieren	2
Beschichtung/Anstrich	1

Kontakt mit Lebensmittel

ja

Spanbarkeit:

- H111	5	- H14	3
--------	---	-------	---

3. Hauptanwendung und Besonderheiten

Apparate, Behälter, Rohrleitungen für Lebensmittel und Getränke, Metallwaren mit geringer mechanischer Beanspruchung, Verpackungsfolien.

Gute elektrische Leitfähigkeit