

## Potentiale und Grenzen beim thermischen Fügen von Multimaterial-Verbindungen

### Reduktionsziele der CO<sub>2</sub>-Emissionen von PKW weltweit

Die in Abb. 1 gezeigten Vorgaben über einen Zeitraum von 25 Jahren müssen erreicht werden. Gemäss EU-Verordnung werden bei Nichterreichung dieser Grenzwerte Strafzahlungen von 5 bis 95 € pro g CO<sub>2</sub> Abweichung fällig!

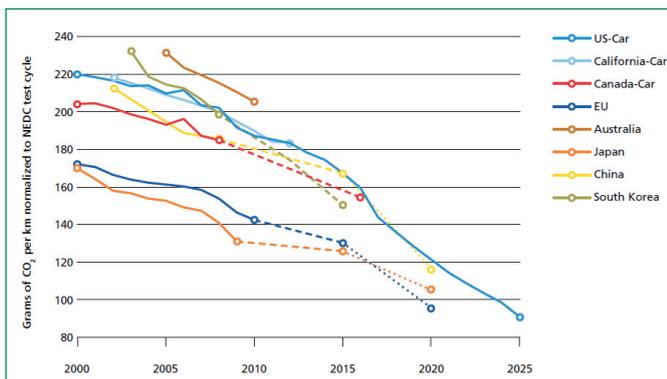


Abb. 1: Reduktionsziele

Die Möglichkeiten diese Reduktionsziele zu erreichen sind beispielsweise:

- **Effizientere Verbrennungsmotoren**
- **Alternative Antriebskonzepte**
  - \* Elektroantriebe
  - \* Flüssiggas als Treibstoff
  - \* Hybridantriebe,
- **Leichtbau**
  - \* Motor, Antriebe und bewegte Massen
  - \* Ausstattung wie leichtere Sitze, weniger Elektromotore
  - \* Karosserie inkl. Anbauteile

### Gewichtseinsparung im Bereich der Karosserie

- **Einsatz hochfester Stahlsorten**
  - \* Trotz der hohen Festigkeit ist, aufgrund von Steifigkeitsanforderungen, die Blechdickenreduktion begrenzt, d.h. eine Gewichtseinsparung liegt im Bereich von 10-15%
- **Voll-Aluminium-Karosserie**
  - \* Durch den Einsatz unterschiedlicher Aluminiumhalbzeuge wie Bleche, Strangpressprofile und Gussteile kann das Gewicht erheblich reduziert werden, d.h. eine Gewichtseinsparung liegt hier im Bereich von 35-40%.
- **Anbauteile aus Aluminium**
  - \* Anbauteile aus Aluminium, z.B. Motorhauben, Kotflügel, Türen oder Heckklappen, sind erheblich leichter als vergleichbare Stahlstrukturen, d. h. die Gewichtseinsparung bei einem 4-türigen Fahrzeug beträgt bis zu 20 kg

### Gewichtseinsparung durch Mischbauweise

- **Kostenoptimierung durch Mischbauweise**
  - \* Durch die Verwendung unterschiedlicher Materialien, jeweils dort eingesetzt, wo sie den grössten Nutzen bringen, kann das Gewicht deutlich reduziert werden. Hier sind Gewichtseinsparung von 20-30% möglich, bei geringeren Mehrkosten im Vergleich zu einer reinen Aluminiumkarosserie.
- **Schlüsseltechnologie Verbindungstechnik**
  - \* Im Karosseriebau haben sich verschiedene mechanische Fügeverfahren etabliert z.B. Stanznieten, Clinchen und fließlochformende Schrauben. Um die Gefahr der Kontaktkorrosion zu reduzieren werden diese Verfahren i.d.R. kombiniert mit Klebstoff eingesetzt
  - \* Bei thermischen Fügeverfahren ist der Einsatz von Klebstoff nicht oder nur bedingt möglich, weshalb die Kontaktstellen durch nachträgliche Beschichtung vor Korrosion geschützt werden müssen.

### Thermisches Fügen von Aluminium und Stahl

- **Betrachtete Verfahren**
  - \* Laserstrahlfügen
  - \* Lichtbogenfügen (CMT)
- **Prinzip**
  - \* Schweiß-Löt-Prozess: Schweißprozess für den Aluminiumwerkstoff – Lötprozess für den Stahlwerkstoff
  - \* Verwendung von Zusatzwerkstoffen auf Zink- oder Aluminium-Basis
  - \* Durch den Einsatz zinkbeschichteter Stahlbleche kein Flussmittel erforderlich
  - \* Bei der Auslegung gefügter Al-St-Hybridverbindungen müssen insbesondere die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten berücksichtigt werden
- **Kennzeichen**
  - \* Ausbildung eines intermetallischen Phasensaums

### Aluminium-Eisen-Zustandsdiagramm

- Aluminium und Eisen sind in flüssigem Zustand vollständig mischbar
- Im festen Zustand bilden sich durch Diffusion diverse intermetallische Phasen aus, mit Härtewerten bis über 1000 HV
- siehe Abb. 2

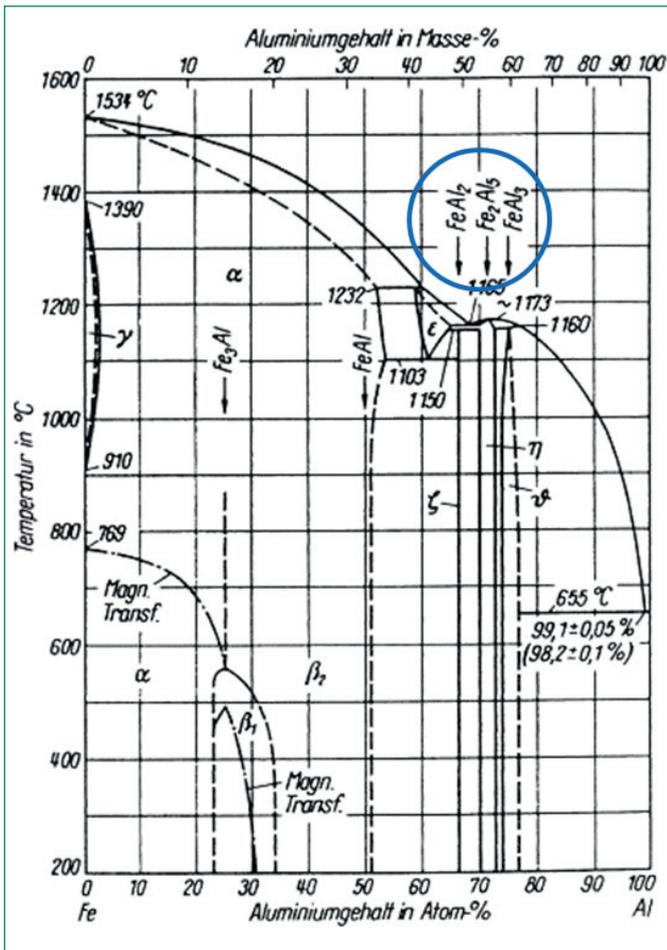


Abb. 2: Aluminium – Eisen – Zustandsdiagramm

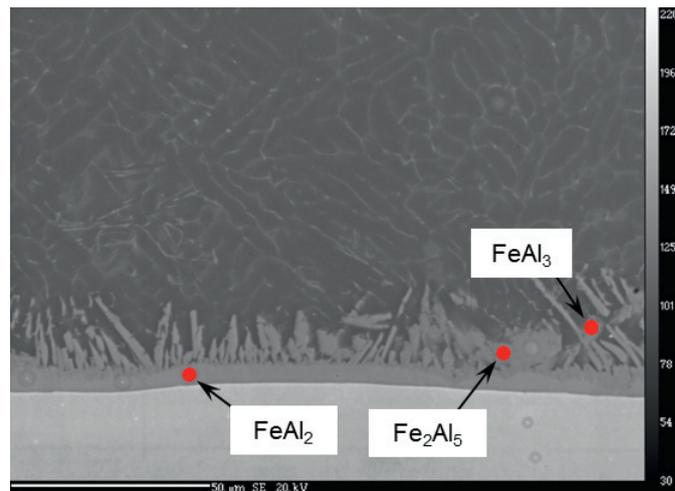
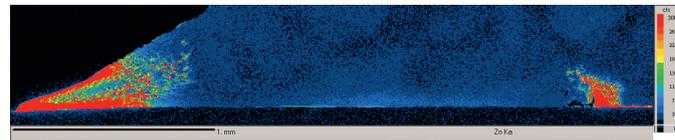


Abb. 4 & 5: Mikrosonden-Resultate

**Temperatur- und Eigenspannungsmessungen an gefügten Proben ohne / mit KTL-Trocknungsprozess**

**Beispiel: Laserstrahlfügen einer Kehlnaht am Flansch**

Die Mikrosonden-Untersuchung ergibt Zinkansammlungen an den Nahtändern (s. Abb. 4 & 5). Mittels quantitativer Punktanalyse konnten die unterschiedlichen Phasen als  $FeAl_2$ ,  $Fe_2Al_5$  und  $FeAl_3$  identifiziert werden



Abb. 3: Einbrand im Aluminiumblech; Stahlblech nicht angeschmolzen; Anbinde-längelänge zwischen Schweißgut und Stahlblech > 3 mm; Festigkeitswerte liegen auf dem Niveau von Aluminium-Schweißverbindungen; Versagen in der Regel aluminiumseitig d.h. im Schweißgut oder in der WEZ

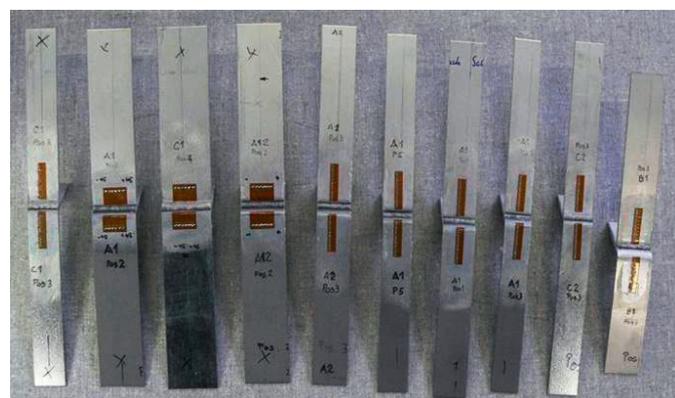
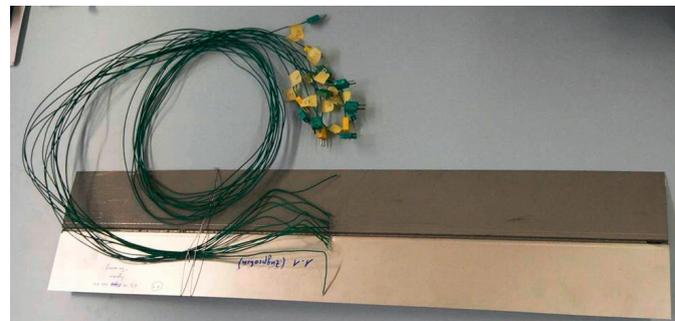


Abb. 6, 7: Ermittlung von die Eigenspannungen, die durch den Fügeprozess bzw. den KTL-Trocknungsprozess entstehen, durch Dehnmessstreifen

### Vergleich berechneter und ermittelter Eigenspannungswerte

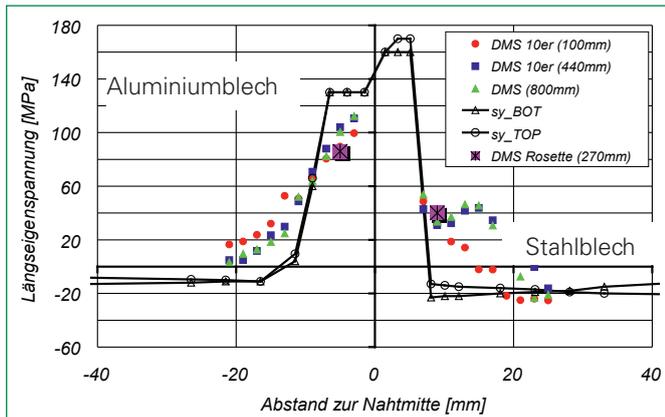


Abb. 8: Relativ gute Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Werten

### Simulation der entstehende Verzüge im KTL Ofen (Abb. 9)

KTL= Kathodische Tauchlackierung – bei ca. 180°C wird der Lack getrocknet und gleichzeitig das Aluminium ausgehärtet

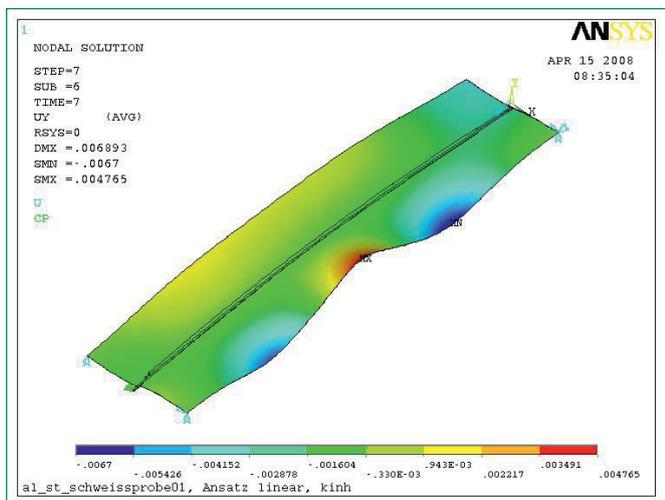


Abb. 9: Verzugs-Problematik unterschiedlicher Werkstoffe

- Verzugsproblematik aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnung der beiden Werkstoffe
- Konstruktive Lösungen notwendig z.B. Dehnungsfugen

### Lichtbogenfugen von Überlappverbindungen

Die Eigenschaften der Verbindung Stahl/Aluminium zeichnen sich aus durch geringe Porositäten, eine Benetzungslänge von > 4 mm, einen intermetallischen Phasensaum < 5 µm und die erreichbare Festigkeit ist etwas höher als bei einer Aluminium-Schweisverbindung. Die ermittelte Ermüdungsfestigkeit einer Al-St-Überlappverbindung liegt auf dem Niveau einer geschweißten Aluminium-Verbindung. (s. Abb. 10, 11, 12)

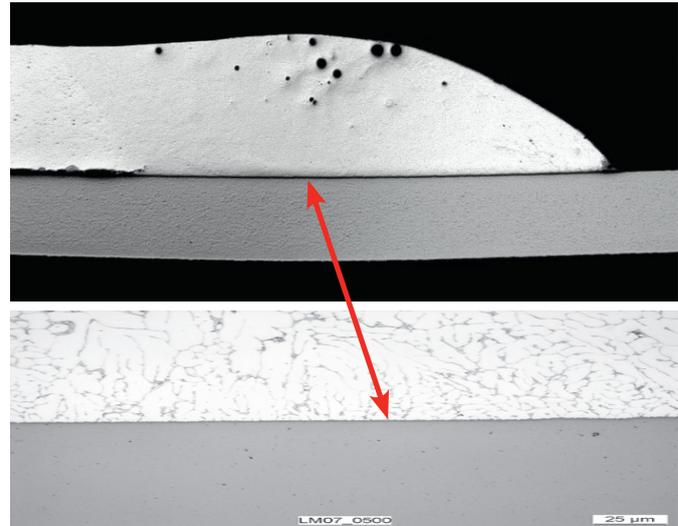


Abb. 10 & 11 Überlappverbindung Stahl/Aluminium

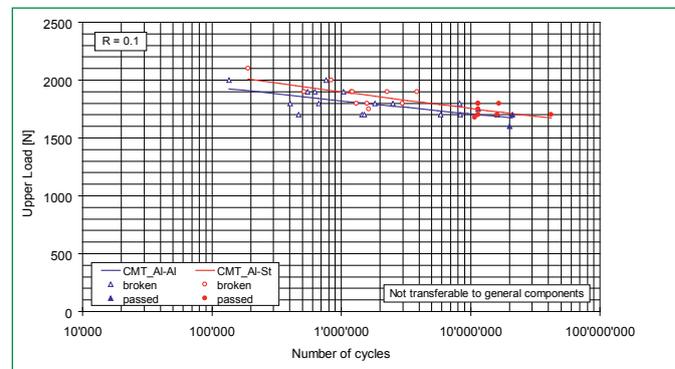


Abb. 12: Ermüdungsfestigkeit einer Al-St-Überlappverbindung, die ermittelte Festigkeit liegt auf dem Niveau einer geschweißten Aluminium-Verbindung

### Lichtbogenfugen von tailored blanks im Stumpfstoß

Die Festigkeit von Aluminium-Stahl tailored blanks liegt bei rund 80% der Grundmaterialfestigkeit und damit auf dem Niveau von Aluminium-Schweisverbindungen.

Die in Abb. 13 gezeigte Verbindung ist einseitig gefügt mit einer Anbindungslänge ober- und unterseitig von mindestens 4 mm. Der intermetallische Phasensaum ist < 5µm (ober-, unter- und stirnseitig) und das Versagen erfolgt in der Regel in der WEZ des Aluminiumbleches.

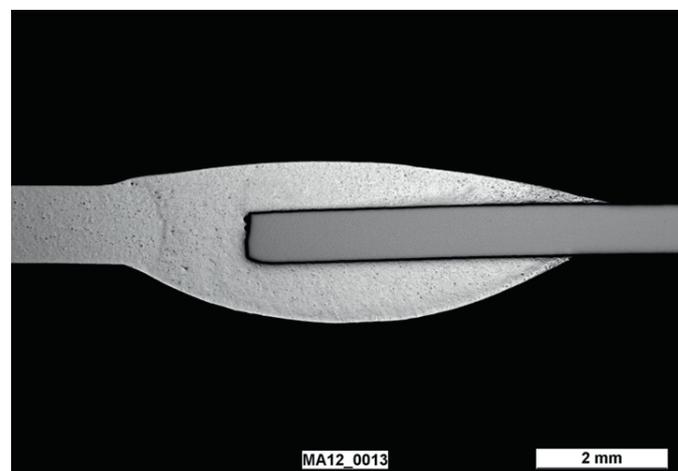


Abb. 13 – tailored blanks im Stumpfstoß Aluminium/Stahl

### Beispiel: Aluminium-Stahl-Crashbox

Das Ergebnis des quasistatischen Stauchversuchs (Abb. 14) zeigt eine Energieaufnahme durch Faltung des Aluminiumteils, es erfolgt praktisch keine Deformation des Stahlteiles und keine Beschädigung der Naht.



Abb. 14 Aluminium-Stahl-Crashbox

### Lichtbogenfügen von Aluminium mit Titan

Die in Abb. 15 & 16 gezeigte Verbindung Aluminium/Titan ist einseitig gefügt, eine Vergrößerung der Anbindungsfläche erfolgt durch eine entsprechende Nahtvorbereitung, der intermetallische Phasensaum ist  $< 1\mu\text{m}$ . Das Versagen erfolgt in der Regel in der WEZ des Aluminiumbleches.

Die in Abb. 17 gezeigte Verbindung von Aluminium/Titan im T-Stoss – (Titan-Steg = 2mm) auf Aluminiumplatte ( $t = 5\text{mm}$ ) erreicht im Kopfzugversuch Festigkeitswerte von 600 Mpa (bezogen auf die Dicke des Titanbleches).

### Zusammenfassung & Ausblick

Das thermische Verbinden von Aluminium mit Stahl oder Aluminium mit Titan ist mit den Verfahren Laser- und Lichtbogenfügen technisch gut beherrschbar. Durch die Auswahl geeigneter Prozessparameter und Randbedingungen können Verbindungen realisiert werden, die hohen (Zug-)Belastungen standhalten. Die Größe des intermetallischen Phasensaums ist dabei von grosser Bedeutung – je kleiner desto besser. Wichtig ist die Belastungsart und Belastungsrichtung dieser Verbindungen, Schälbeanspruchungen können, vergleichbar zu Klebungen, nur in begrenztem Masse aufgenommen werden. Werden bestimmte Randbedingungen beachtet, können thermisch gefügte Aluminium-Stahl oder Aluminium-Titan-Verbindungen aus technologischer aber auch aus wirtschaftlicher Sicht eine mögliche Alternative zu den heute üblichen Verbindungsmethoden darstellen.

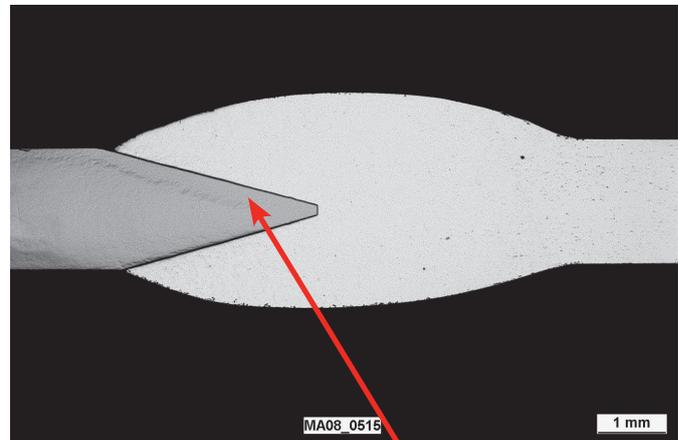


Abb. 15 & 16 Verbindung Aluminium/Titan

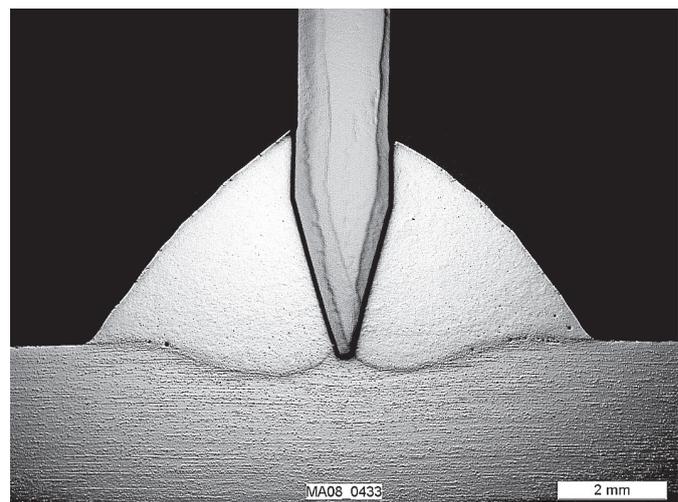


Abb. 17 – T-Stoss Aluminium/Titan

Weitere Informationen:

Dipl.-Ing. Stefan Kempa, Suisse Technology Partners AG,  
Neuhausen am Rheinflall  
Mail: stefan.kempa@suisse-tp.ch