

# Charakterisierung des mechanischen Verhaltens verbundstranggepresster Leichtbauprofile unter schlagartiger Beanspruchung<sup>1</sup>

K. A. Weidenmann, T. Hammers, M. Merzkirch, E. Kerscher  
Institut für Werkstoffkunde I, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe

## 1 Einführung

Aluminium und seine Legierungen besitzen aufgrund ihrer geringen Dichte gepaart mit einem hohen Umformvermögen ein großes Leichtbaupotenzial. Dabei sind vor allem Verbundwerkstoffe mit Aluminiummatrix und hochsteifen sowie -festen Verstärkungselementen interessante Kandidaten zur gleichzeitigen Steifigkeits- und Festigkeitssteigerung. Die Festphasenverfahren stellen eine Herstellungsalternative zu konventionellen, schmelzmetallurgischen Methoden zur Fertigung von Verbundwerkstoffen dar. Hierzu zählt auch das Verbundstrangpressen, das unter Verwendung modifizierter Strangpresswerkzeuge ausgehend von konventionellen Pressblöcken die Herstellung von Werkstoffverbunden ermöglicht. Als Verstärkungselemente werden vor allem Drähte eingesetzt, die in der Schweißkammer der Strangpresse unter hohem Druck und bei hoher Temperatur in die Matrix des Grundwerkstoffes eingebettet und innerhalb des Profils so positioniert werden, dass die Belastbarkeit der Struktur optimiert wird [1].

Durch Verbundstrangpressen hergestellte verstärkte Strangpressprofile auf Aluminiumbasis sind ein leistungsfähiges Werkstoffkonzept für leichte Tragwerkstrukturen. Mögliche zukünftige Einsatzgebiete wie z.B. der Automobileichtbau werfen die Frage nach der Belastbarkeit solcher Verbundprofile unter dynamischer – insbesondere schlagartiger – Beanspruchungen auf, wie sie z.B. im Crashfall auftreten. Eine Kenngröße zur Bewertung des Werkstoffverhaltens unter dynamischer Beanspruchung ist die Kerbschlagbiege Zähigkeit, die im Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy [2-4] bestimmt wird. Dieser Versuch wird in der Regel an definierten Laborproben durchgeführt und stellt daher eine Art Crash-Test auf Probenmaßstab dar [4].

Um die Leistungsfähigkeit von Verbundstrangpressprofilen mit Drahtverstärkung im Komponentenmaßstab zu überprüfen, bietet sich ein technologischer Schlagversuch an. Denkbare Einsatzgebiete für verbundstranggepresste Aluminiumprofile sind Crashelemente, die die Energie durch Biegen aufnehmen [5], beispielsweise eine Türstrebe, die bei einem Seitenaufprall belastet wird.

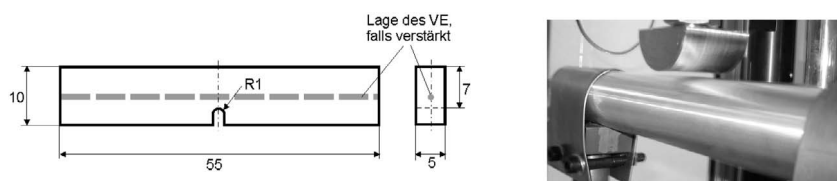
---

<sup>1</sup> Diese Veröffentlichung basiert auf Forschungsarbeiten des Transregio SFB/TR 10, der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird.

## 2 Experimentelles

### 2.1 Probenmaterialien und Probengeometrien

Die Kerbschlagbiegeproben wurden Verbundprofilen mit einem rechteckigen Querschnitt von  $56 \times 5 \text{ mm}^2$  entnommen, die auf einer 10 MN-Strangpresse gefertigt wurden. Die Profile mit der Legierung AW6060 wurden direkt nach dem Strangpressen von einer Temperatur  $T = 450 \text{ °C}$  mit Luft abgeschreckt und kaltausgelagert (Wärmebehandlungszustand T4). Als Verstärkungselemente wurden 1 mm dicke Drähte aus nichtrostendem Federstahl 1.4310 (X10CrNi 18-8), aus der Kobaltbasislegierung Haynes 25 (CoCr20W15Ni10) und der Nickelbasislegierung Inconel 718 (NiCr19FeNb) verwendet. Die Verstärkungselemente wurden vor dem Verpressen mit Aceton gereinigt. Die Stempelgeschwindigkeit der Strangpresse betrug  $1 \text{ mm/s}$  bei einem Pressverhältnis von ungefähr 1:10 nach Zuführung der Verstärkungselemente und einem Gesamtpressverhältnis von 1:60. Den Rechteckprofilen wurden DVM-5-Proben nach [2] entnommen. Diese Probenform ist zwar nach [3] nicht mehr in der Norm vorgesehen, bot sich aber aufgrund der Halbzeuggeometrie an. Wie in Bild 1 dargestellt, besitzen die Proben eine Höhe im Kerbgrund von 7 mm bei einer Probendicke von 5 mm. Die Kerbe ist als U-Kerbe ausgeführt.



**Bild 1:** Kerbschlagbiegeprobe DVM-5.

Als Proben für die technologischen Schlagversuche dienen mit vier Federstahldrähten 1.4310 verstärkte verbundstranggepresste Rundprofile mit einem Außendurchmesser von 40 mm und einer Wandstärke von 3 mm (siehe Bild 2). Die Stahldrähte sind dabei in der Mitte der Wand platziert und über den Umfang gleichmäßig verteilt. Die Profile lagen ebenfalls im Wärmebehandlungszustand T4 vor. Das ursprünglich mit einer Wanddicke von 5 mm gepresste Hohlprofil wurde bei der Probenfertigung durch Abdrehen auf oben genanntes Maß reduziert.



**Bild 2:** Probenumgebung beim Schlagversuch an Hohlprofilen.

Auf Grund der Versuchsführungen bzw. der partiellen Verstärkung der Proben konnten keine allgemeingültigen Kennwerte für die Schlagzähigkeit ermittelt werden, da diese von Anzahl

und Lage der Verstärkungen in der Probe abhängt. Daher wurden zum Vergleich jeweils Proben ohne Verstärkungen, die aber ansonsten auf dieselbe Weise gefertigt wurden, geprüft.

## 2.2 Versuchsaufbau und –durchführung

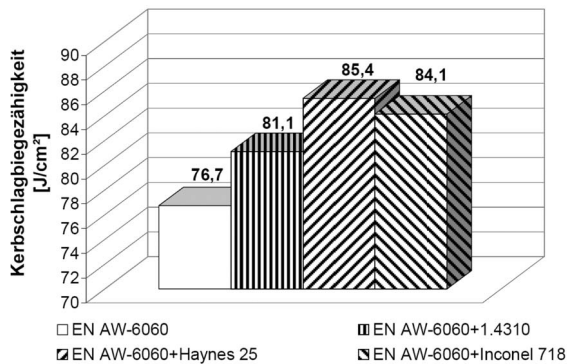
Die Kerbschlagbiegeversuche verstärkter und unverstärkter Proben nach Bild 2 wurden normgerecht auf einem Pendelschlagwerk der Bauart Frank mit einer maximalen Schlagarbeit von 150 J durchgeführt. Pro Zustand wurden mindestens drei Proben getestet.

Die technologischen Schlagversuche an partiell verstärkten und unverstärkten Hohlprofilen erfolgten auf einem federbeschleunigten Fallwerk des Typs Instron Dynatup 9250 HV. Der Auflagerabstand betrug 194 mm und der Schlagdorndurchmesser 46 mm. Dies entspräche einem Pfahldurchmesser von ca. 254 mm bei einer angenommenen Türbreite von ca. 1000 mm. Die Auftreffgeschwindigkeit des Schlagdorns betrug 8,06 m/s (29 km/h) bei einer Fallmasse von 6,79 kg. Um die Befestigungssituation an einer Tür nachzubilden, wurden die Profilenden mit Niederhaltern fixiert. Bild 2 zeigt die Probenumgebung beim technologischen Schlagversuch. Alle Schlagversuche wurden bei Raumtemperatur durchgeführt.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Kerbschlagbiegeversuche (Charpy-Tests)

Die Ergebnisse der Kerbschlagbiegeversuche aller Probenvarianten mit Drahtverstärkung zeigt Bild 3. Dargestellt ist die bei Raumtemperatur ermittelte Kerbschlagbiegezeähigkeit im Vergleich zum unverstärkten Matrixmaterial.



**Bild 3:** Kerbschlagbiegezeähigkeiten drahtverstärkter Proben.

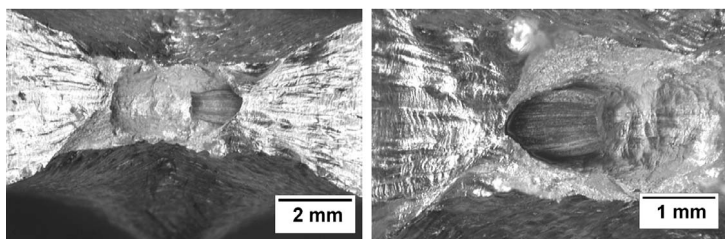
Eine Drahtverstärkung führt bei Raumtemperatur zu einer erhöhten Kerbschlagbiegezeähigkeit der Verbunde gegenüber der unverstärkten Matrix. Die Erhöhung der Kerbschlagbiegezeähigkeit beträgt im günstigsten Fall (EN AW-6060+Haynes 25) rund 11 %. Die geringste Steigerung bietet eine Verstärkung mit einem Federstahldraht 1.4310, dessen Einsatz die Korb-

schlagzähigkeit um rund 6 % erhöht. Die Unterschiede in den Zähigkeiten der einzelnen Drahtverbunde sind damit gering, aber durchaus signifikant.

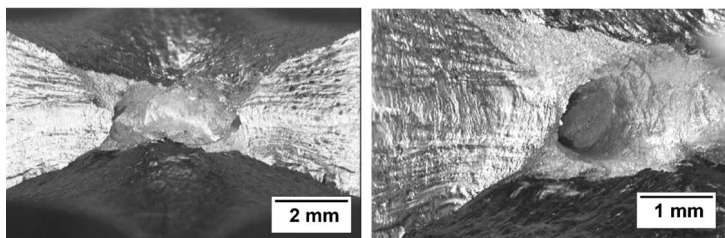
### 3.2 Metallographische Untersuchungen

Die fraktographischen Untersuchungen zeigen, dass alle Kerbschlagbiegeproben beim Charpy-Test nicht vollständig getrennt wurden. Dies gilt auch für die unverstärkten Proben, die im Folgenden nicht dargestellt sind. Auf den fraktographischen Aufnahmen ist jeweils der Blick auf die vormaligen Kerbgrund zu sehen, wobei sich hier durch die Belastung eine Bruchfläche gebildet hat, in die von links und rechts die nun freiliegenden, durchtrennten Verstärkungselemente hineinragen. Als Bruchflächenrund wird im Folgenden der von der duktilen Einschnürung sich deutlich unterscheidende spröde Anteil bezeichnet.

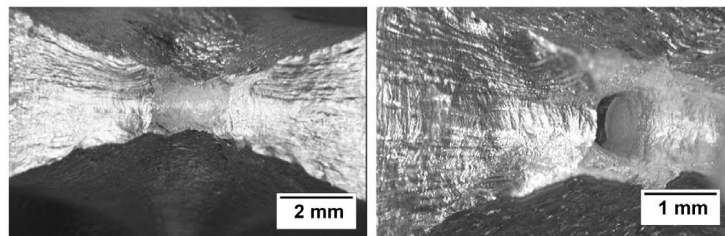
Alle Drahtverbunde zeigen eine ähnliche Bruchmorphologie (siehe Bilder 4-6), wobei die Einzeldrähte kaum Pull-Out Effekte zeigen. Einzige Ausnahme ist der Federstahldraht in Pro-



**Bild 4:** Bruchflächen von Kerbschlagproben der Probenvariante EN AW-6060 (+1.4310)



**Bild 5:** Bruchflächen von Kerbschlagproben der Probenvariante EN AW-6060 (+Haynes 25)



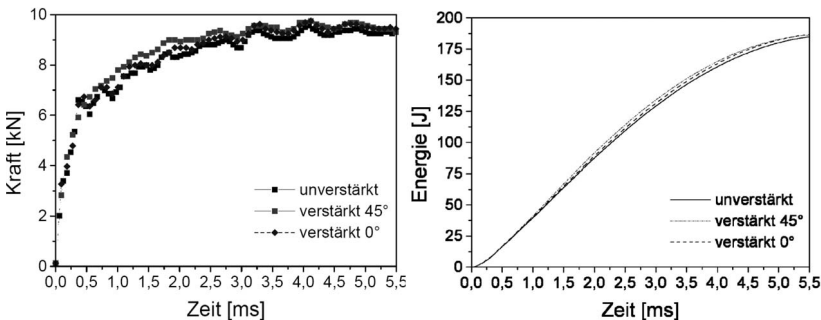
**Bild 6:** Bruchflächen von Kerbschlagproben der Probenvariante EN AW-6060 (+Inconel 718)

benvariante EN AW-6060+1.4310 (siehe Bild 4). W-6060+Inconel 718 und EN AW-6060+Haynes 25 ab.

Der Federstahldraht ist auch der einzige Verstärkungsdraht, der trotz der dynamischen Beanspruchung eine duktile Einschnürung und eine Teller-Tassen-Bruchmorphologie zeigt. Sowohl der Nickelbasis- als auch der Kobaltbasisdraht versagen spröde. Auffällig für die Letztgenannten ist das Auftreten einer unter ca.  $45^\circ$  zur Drahtachse geneigten Bruchfläche. Hinsichtlich der Breite des Bruchflächengrundes treten vergleichsweise geringe, aber dennoch messbare, Unterschiede zu Tage. Die Bruchflächenbreite nimmt in der Reihe EN AW-6060+1.4310, EN A

### 3.3 Technologische Schlagversuche an partiell verstärkten Hohlprofilen

Die Ergebnisse der technologischen Schlagversuche sind in Bild 7 zusammengefasst. Die Darstellung beschränkt sich auf repräsentative Kurven der einzelnen Zustände. Für die partiell verstärkten Hohlprofile wurden unterschiedliche Lagen der Verstärkungselemente zum Schlagdorn gewählt. Bei  $0^\circ$  trifft der Schlagdorn genau auf die Stelle des Profils, an der in der Wand ein Verstärkungselement eingebettet ist, bei  $45^\circ$  ist der Auftreffpunkt mittig zwischen zwei Elementen. Der Vergleich mit dem unverstärkten Hohlprofil zeigt eine tendenzielle aber keine signifikante Steigerung der Schlagzähigkeit durch die Verstärkungsdrähte: Die aufgenommene Gesamtenergie entspricht jeweils ca. 185 J.

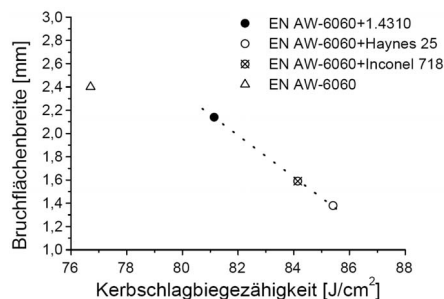


**Bild 7:** Kraft-Zeit-Verläufe (links) und Energie-Zeit-Verläufe (rechts) für die technologischen Schlagversuche an partiell verstärkten Hohlprofilen im Vergleich zu unverstärkten Hohlprofilen derselben Geometrie.

## 4 Zusammenfassung und Diskussion

Die dynamische Beanspruchung von Profilen für Tragwerkstrukturen tritt im Betrieb in der Regel nicht auf – eine Ausnahme ist jedoch die rasche Deformation im Kollisionsfall. Daher sind Aussagen über das so genannte Crash-Verhalten notwendig und können zunächst auf Probenmaßstab über den Charpy-Test getroffen werden. Bild 8 zeigt eine Auftragung der Bruchflächenbreite gegen die gemessene Kerbschlagbiegezugfähigkeit, die die diskutierten Zusammenhänge illustriert und beweist, dass für alle untersuchten Verbunde ein klarer Zusammenhang zwischen Bruchflächenbreite und Kerbschlagbiegezugfähigkeit im Charpy-Versuch existiert.

Die Bruchflächen der Drahtverbunde zeigen, dass bei allen Probenvarianten der Draht beim Kerbschlagbiegeversuch durchtrennt wird und lediglich im Falle der Variante EN AW-6060+1.4310 noch etwas in die Bruchfläche hineinragt. Der Federstahldraht versagt offensichtlich trotz hoher Kaltverfestigung und der hohen Verformungsgeschwindigkeit noch duktil, so dass eine deutliche Brucheinschnürung zu beobachten ist. Die Drähte aus Haynes 25 und Inconel 718 versagen dagegen spröde.



**Bild 8:** Zusammenhang zwischen Bruchflächenrundbreite und Kerbschlagbiege Zähigkeit drahtverstärkter Verbunde im Vergleich zum Matrixmaterial.

Allen Drahtverbunden gemeinsam ist eine ähnliche Bruchflächenbreite, die jeweils gut mit der gemessenen Kerbschlagbiege Zähigkeit korreliert, obwohl diese nur innerhalb enger Grenzen variiert. Offensichtlich reduziert der Verstärkungsdraht in allen Fällen das „Aufreißen“ der Kerbgrundfläche. Es wird sowohl zum Durchtrennen des Drahtes als auch durch die stärkere Einschnürung mehr Schlagenergie umgesetzt, weshalb bei allen untersuchten Verbunden die Bruchflächenbreite kleiner und die gemessene Kerbschlag Zähigkeit höher ist als bei den unverstärkten Proben. Ausgehend von diesen Ergebnissen sind die Drahtverbunde daher für den Einsatz in automobilen Tragwerkstrukturen hinsichtlich des Verhaltens unter dynamischer Beanspruchung prinzipiell besser geeignet als das unverstärkte Matrixmaterial. Jedoch zeigen die technologischen Schlagversuche, dass eine Erhöhung der Anzahl der Verstärkungselemente notwendig ist, um auch im Bauteil eine Leistungssteigerung zu erzielen.

## 4 Literatur

- [1] M. Kleiner, M. Schomäcker, M. Schikorra, A. Klaus, *Mat.-wiss. u. Werkstofftech.* 35 [7], 431–439, 2004.
- [2] DIN 50115, *Kerbschlagbiegeversuch*, 1975.
- [3] DIN EN 10045, *Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy*, 1990.
- [4] E. Bayraktar, D. Kaplan, F. Schmidt, H. Paqueton, M. Grumbach, *Journal of materials processing technology* 204, 313–326, 2008.
- [5] S. Chung Kim Yuen, G. N. Nurick, *Applied Mechanics Review* 61 [2], 1–15, 2008.