

Werkstoffe

in der Fertigung seit 61 Jahren

DIE FERTIGUNGSWELT VON MORGEN

Castrol & Fette Compacting

*Präzision und Partnerschaft seit über 20 Jahren.
Technologische Spitzenleistung trifft industrielle Tradition.*



Thema: Fügeverbindungen

Alternative zu Stahl-Stanznieten: Partikelverstärktes Aluminium für nachhaltige Fügeverbindungen

Vollstanznieten sind grundlegende mechanische Verbindungselemente zum Fügen von Strukturen [1]. Partikelverstärkte Aluminiumniete erweitern die Einsatzgrenzen zu höheren Festigkeiten, ohne die Vorteile von Aluminium – geringes Gewicht, hohe Korrosionsbeständigkeit und bessere Recycelbarkeit.

1. Schüttgutaufbereitung

Zunächst wird eine Mischung aus Aluminiumpulver EN AW-7075 (ECKA Granules Germany GmbH, 45–160 µm) und 20 Vol-% Siliziumkarbid (SiC) (Partikelgröße F600, $d_{50} = 9,3 \mu\text{m}$) hergestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Korngrößen besteht bei der direkten Weiterverarbeitung die Gefahr der Entmischung, wodurch im Halbzeug keine homogene Partikelverteilung entsteht, sondern Partikelcluster auftreten. Eine vorgeschaltete, schmiermittelfreie Granulierung mittels Walzengranulator ist daher sinnvoll. Die dabei entstehenden grünfesten Pulverplatten (Schülpen), die anschließend in einem Rotationsfeingranulator zerkleinert werden, weisen eine mechanische Verankerung der Hartpartikel im Aluminiumpulver auf, sodass eine Entmischung verhindert wird.

2. Temconex®-Extrusion

Mit dem kontinuierlichen Pulverstrangpressen (Temconex®-Technologie auf Basis von Conform™) können metallische Schüttgüter in variabler Form (Pulver, Späne, Granulate) direkt in endlose Halbzeuge (Drähte, Profile, Stangen) umgearbeitet werden, ohne Schmelzenergie einzusetzen [2]. Durch den Wegfall von Bolzenherstellung und -aufheizen wird die Prozesskette gegenüber konventionellen Verfahren deutlich verkürzt und der Energieaufwand reduziert. Der Temconex®-Prozess bietet daher ein ho-

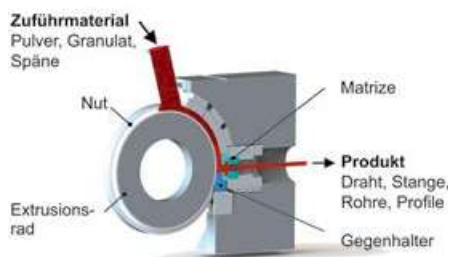


Bild 2: Temconex®-Schema: Extrusionsrad und Werkzeugschuh bilden einen Extrusionskanal, zugeführtes Metallpulver verschweißelt aufgrund von Reibung ohne Aufschmelzen und wird zu einem Draht extrudiert.

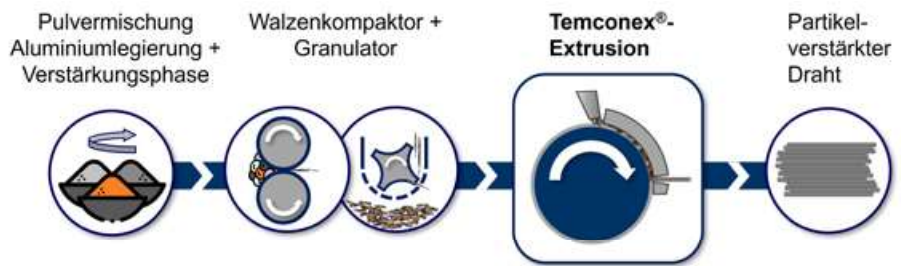


Bild 1: Prozesskette zur Herstellung partikelverstärkter Drähte mittels Walzengranulierung und Temconex®-Extrusion

hes wirtschaftliches Potenzial im Recycling sowie bei der Herstellung maßgeschneiderter Halbzeuge.

Der Prozess nutzt ein rotierendes Extrusionsrad (Bild 2) mit umlaufender Nut und einen stationären Werkzeugträger, die gemeinsam einen Presskanal bilden. Das bei Raumtemperatur zudosierte walzenkompaktierte Aluminium-SiC-Granulat wird durch die Rotation des Rades vorwärts transportiert und am Gegenhalter aufgestaut. Der erforderliche Druck und die Prozesswärme entstehen durch Reibung und plastische Verformung [3]. Dabei kommt es zu einer hohen plastischen Deformation des Schüttgutes, wodurch Oxidhäute aufreißen und metallische Oberflächen unter hohen Kontaktdrücken und Reibungswärme verschweißen, während die Verstärkungsphase eingebettet wird [4]. Bei Erreichen der Fließspannung wird das Material umgelenkt und durch eine Matzire extrudiert. Die Herstellung hochwertiger Stäbe für die Nietherstellung erfordert eine stabile Prozessführung, angepasste Werkzeuggeometrien sowie eine Werkzeugtemperierung, um eine vollständige Kaltverschweißung zu erzielen [5].

Nach dem kontinuierlichen Extrusionsprozess werden die Stäbe einer T6-Wärmebehandlung unterzogen (Lösungsglühen bei 480 °C, Abschrecken in Wasser, Auslagerung bei 120 °C für 22 h), um ihre endgültigen Eigenschaften zu erreichen. Fließkurven aus Druckversuchen bei einer Dehnraten von 10 s^{-1} zeigen eine mechanische Verbesserung gegenüber dem Referenzmaterial im T6-Zustand (Bild 3) [6]. Schlifffbilder belegen zudem die vollständige Kompaktierung und eine homogene Partikelverteilung im Halbzeug.

Partikelverstärkte Vollstanzniete

Das eingesetzte mechanische Fügeverfahren des Vollstanznietens hat sich im Automobil- sowie im Luft- und Raumfahrt-

bau bewährt [7]. Die vier Phasen des Festkörper-Stanznietprozesses (SSPR) sind Spannen – Stanzen – Einprägen – Entlasten. Es entsteht eine dauerhafte Verbindung, die auf Form- und Kraftschluss beruht [1].

1. Nietauslegung und Nietherstellung

Experimentelle Nietsetversuche wurden mit einem TOX® TE-X 80.250.351 Nietensystem (Fügeschwindigkeit 20 mm/s) durchgeführt. Eine konventionelle, für Stahl entwickelte Nietgeometrie führt beim Einsatz mit partikelverstärktem Aluminium zu starker axialer Stauchung sowie ausgeprägten plastischen Verformungen der Ringnuten. Zwar ist ein vollständiges Durchstanzen von EN AW-6014 T4-Blechen (2 mm) möglich, die geometrische Stabilität des Niets ist jedoch eingeschränkt [8]. Auf Basis der Druckeigenschaften des Halbzeugs werden ausgehend von einem Standardvollstanzniet maßgeschneiderte Geometrien simulativ ausgelegt. Eine Verlängerung des Nietfußes reduziert die axiale Belastung während der Durchstanzphase. Zusätzlich werden die lokalen Druckspannungen durch Anpassung der Nutgeometrie verbessert, indem die obere Nut entfernt und die Nutradialen vergrößert werden. Ein Radius von 0,20 mm reduziert Spannungsüberhöhungen deutlich, ohne den Formschluss zu beeinträchtigen. Die optimierte Nietgeometrie zeigt eine geringere Stauchung und reduzierte plastische Dehnungen bei gleichbleibender Verbindungsqualität (Bild 4) [8].

Der optimierte Vollstanzniet wird spannend durch Drehen hergestellt. Der partikelverstärkte Aluminiumwerkstoff zeigt aufgrund der Hartpartikel einen günstigen Spanbruch, erfordert jedoch den Einsatz von Diamantwerkzeugen.

2. Qualifizierung und Einsatz der Niete

Zur Qualifizierung wurden quasistatische und zyklische Tragfähigkeitsuntersuchungen unter Kopf- und Scherzug durchgeführt und mit Stahlnieten verglichen.

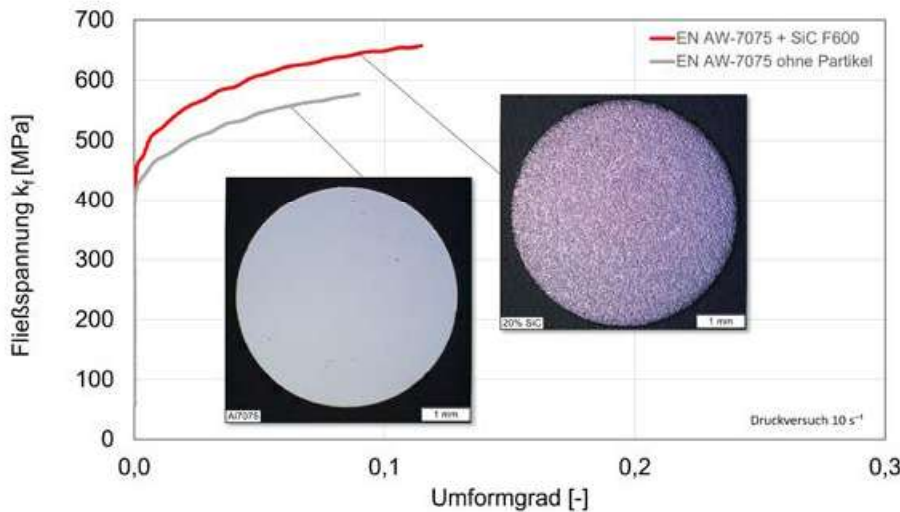


Bild 3: Fließkurven EN AW-7075 T6 ohne und mit 20 Vol-% SiC Partikelverstärkung und Makroschliffe Temconex®-Halbzeug

Grundlage ist das LWF-KS2-Prüfkonzept [9] mit beidseitigen Aluminiumfügeteilen (EN AW-6014; $s = 2,0$ mm) und fünf Wiederholungen. In quasistatischen Versuchen zeigen beide Verbindungen eine ähnliche Steifigkeit. Die maximale Tragfähigkeit der Aluminiumniete ist jedoch um 15–18 % geringer, bei gleichzeitig deutlich reduzierter plastischer Verformbarkeit (bis zu -74 %). Ursache ist das Versagensverhalten: Beim Aluminiumniet tritt ein Ausknöpfen des Nietkopfes auf, während die Stahlnietverbindung überwiegend im Fügeteil versagt. Dadurch ermöglicht der Stahlniet größere Verformungswege und eine höhere Energieaufnahme (ca. +50 %). Im Dauerschwingversuch (Kopfzug, $R = 0,1$, $f = 64$ Hz) zeigt sich ebenfalls eine geringere zyklische Tragfähigkeit des Al-Niets (ca. 0,50 kN) im Vergleich zum Stahlniet (ca. 0,54 kN) sowie eine höhere Streuung. Die Dauerfestigkeit liegt bei etwa 0,50 kN (Al) bzw. 0,54 kN (Stahl). Insgesamt lassen sich mit partikelverstärkten Aluminiumnieten tragfähige und robuste Verbindungen herstellen, die artreine und kreislauffähige Lösungen für den Leichtbau ermöglichen.

Gefördert durch das IGF-Projekt „Partikelverstärkte Aluminium-Verbindungsselemente“ (PTJ)

Literatur

[1] DVS-EFB 3410, Self-pierce riveting – overview, DVS-Media, 2019.
 [2] Slater HK; Etherington C, Continuous extrusion forming by CONFORM, Proc. 2nd Conf. Materials Engineering, London, 1985.
 [3] Heywood JD; Treadwell CS, Aluminium alloy and composite extrusion by CONFORM, Aluminium Alloys: New Technologies, Int. Conf., Marina di Ravenna, pp. 77–85.

[4] Saefkow M et al., Continuous powder extrusion of CFR aluminium, Key Eng. Mater. 742 (2017) 158–164, doi:10.4028/KEM.742.158.

[5] Stadelmann C, Extrusion von Metallpulvern durch kontinuierliches Pulverstrangpressen, Diss., FAU Erlangen-Nürnberg, 2009.

[6] DIN 50106, Compression test at room temperature, DIN, 2023.

[7] Zhao H et al., Solid riveting techniques in aircraft assembly – review, Manufacturing Rev. 7 (2020).

[8] Koch S et al., Particle-reinforced aluminium solid self-piercing rivets, Proc. 4th Int. Conf. Advanced Joining Processes, Springer, 2026 (accepted).

[9] DVS-EFB 3480-1, Prüfung von Verbindungseigenschaften, DVS, 2021.

Autoren:

J. Weber, C. Stadelmann, W. Böhm, Neue Materialien Fürth GmbH

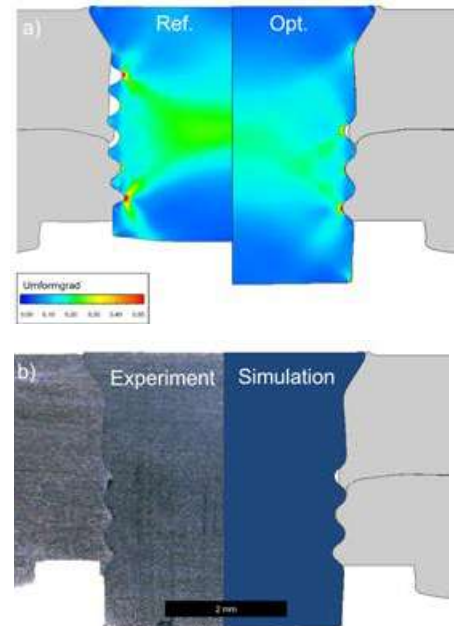


Bild 4: a) Simulierte Fügeverbindungen aus EN AW-7075 + SiC für Referenz- und optimierte Geometrie, b) Experiment und Simulation der Fügeverbindung EN AW-7075 + SiC mit optimierter Geometrie

S. Koch, Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik (LWF®)

Unternehmen:

Neue Materialien Fürth GmbH, Dr.-Mack-Straße 81, 90762 Fürth, Deutschland, www.nmfgmbh.de

Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik (LWF®), Universität Paderborn, Pohlweg 47-49, 33098 Paderborn, Deutschland, www.lwf-paderborn.de

Kontakt:

Dr.-Ing. W. Böhm, Neue Materialien Fürth GmbH, wolfgang.boehm@nmfgmbh.de, +49 911 7667224

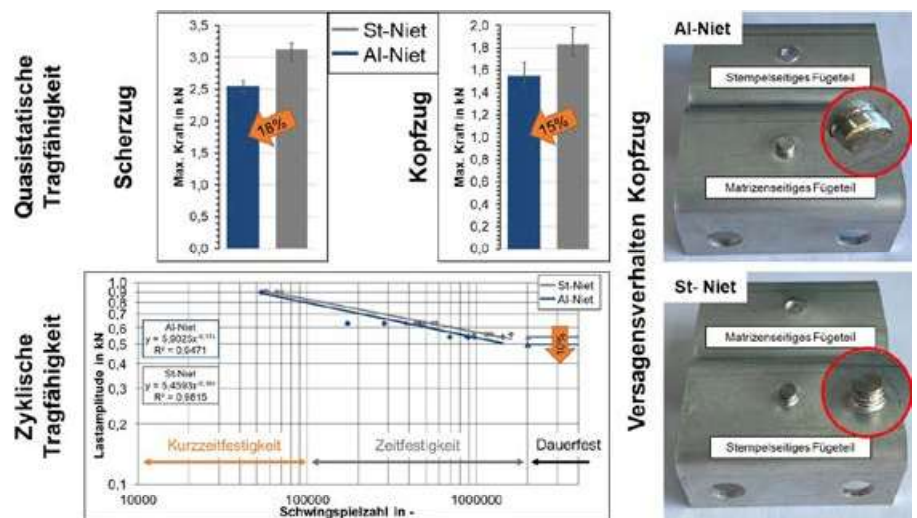


Bild 5: Vergleich quasistatische und zyklische Tragfähigkeit eines partikelverstärkten Aluminiumniet mit konventionellem Stahlniet (EN AW 6014; $s = 2,0$ mm) und Versagensverhalten unter Kopfzugbelastung