

Prof. Dr.-Ing. Gerson Meschut
Dr.-Ing. Florian Augenthaler

Weiterentwicklung der Stanzniettechnologie für das werkstoffgerechte Fügen von FKV-Metall- Verbindungen

Berichte aus dem Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik

Band 139

**Gerson Meschut
Florian Augenthaler**

**Weiterentwicklung der Stanzniettechnologie für das
werkstoffgerechte Fügen von FKV-Metall-Verbindungen**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Aachen 2019

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2018

Copyright Shaker Verlag 2019

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6416-2

ISSN 1434-6915

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Teile dieser Arbeit sind in folgenden Veröffentlichungen erschienen:

Hahn, O.; Meschut, G.; Bergau, M.; Augenthaler, F.; Hufenbach, W.; Gude, M.; Geske, V.: *Entwicklung und Schädigungsbewertung innovativer mechanischer Fügeverfahren für den Mischbau mit Faser-Kunststoff-Verbunden*. Tagungsband. 3. Fügetechnisches Gemeinschaftskolloquium 2013, 10.-11.12.2013 Rostock

Meschut, G.; Gude, M.; Augenthaler, F.; Geske, V.: *Evaluation of Damage to Carbon-fibre Composites Induced by Self-pierce Riveting*. Procedia CIRP, Vol. 18, pp 186-191, 2014

Meschut, G.; Augenthaler, F.: *Hybridfügen von Mischbaustrukturen aus faserverstärkten Kunststoffen mit metallischen Halbzeugen*. Tagungsband. 4. Fügetechnisches Gemeinschaftskolloquium 2014, 09.-10.12.2014 Dresden

Meschut, G.; Augenthaler, F.: *Hybridfügen von Mischbaustrukturen aus faserverstärkten Kunststoffen mit metallischen Halbzeugen*. Tagungsband. 5. Fügetechnisches Gemeinschaftskolloquium 2015, 08.-09.12.2015 Paderborn

Meschut, G.; Augenthaler, F.: *Stanznietkleben von FKV-Stahl-Verbindungen*. Schweißen und Schneiden 68 (2016), H. 6, S. 326-331

Meschut, G.; Augenthaler, F.: *Schädigungsarmes Fügen von Faser-Kunststoff-Verbunden mit metallischen Halbzeugen mittels neuartigem Stanznietverfahren*. Tagungsband. 37. EFB-Kolloquium Blechverarbeitung, 29. – 30.03.2017, Fellbach

Kurzfassung

Im Rahmen des zunehmenden werkstofflichen Leichtbaus gewinnen Faser-Kunststoff-Verbunde aufgrund hoher spezifischer Kennwerte zunehmend an Bedeutung. Eine Kombination mit metallischen Konstruktionswerkstoffen ist dabei die Voraussetzung für eine wirtschaftlich realisierbare Potentialnutzung der Verbundwerkstoffe. Die Fügechnik stellt in diesem Zusammenhang eine Schlüsselrolle für eine erfolgreiche Umsetzung der Mischbauweise dar und muss ein effizientes sowie anforderungsgerechtes Verbinden unterschiedlicher Bauteile gewährleisten. Vorlochfreie mechanische Fügeverfahren wie das Stanznieten eignen sich in Kombination mit der Klebtechnik für diese Aufgabenstellung im besonderen Maße, induzieren allerdings festigkeitsmindernde Schädigungen in den Laminatwerkstoffen.

Diese Arbeit verfolgt das Ziel, die Stanzniettechnologie zielgerichtet für das werkstoffgerechte Fügen von FKV-Metall-Verbindungen weiterzuentwickeln, um Materialschwächungen zu minimieren und die Fügeignung insgesamt zu verbessern. Dazu wurden die schädigungsauslösenden Mechanismen der Fügeverfahren Vollstanznieten und Halbhohlstanznieten analysiert und Optimierungsstrategien abgeleitet. Eine Element- und Verfahrenskombination beider Fügetechnologien stellte sich in diesem Zusammenhang als zielführend heraus. Der Nachweis der Schädigungsreduzierung durch den neu entwickelten Stanzniet erfolgte anhand einer Quantifizierung der induzierten Defekte mittels Ultraschall sowie der Ermittlung der Restdruckfestigkeit der FKV-Werkstoffe. Mithilfe einer Anpassung der Prozessparameter und der Werkzeuggeometrien wurde eine Verbesserung der Verbindungsausbildung erreicht und insgesamt das Spektrum an fügeeigneten Werkstoff-Geometrie-Kombinationen erweitert. Die gefügten Verbindungen wurden abschließend in verschiedenen Prüfscenarien mechanisch charakterisiert.

Abstract

In the context of growing material based lightweight, fibre-plastic composites are becoming increasingly important due to their high specific characteristics. A combination with metallic construction materials is the prerequisite for an economically viable potential use of composite materials. Joining technology plays a key role in the successful implementation of mixed material design and must ensure efficient and requirement-oriented joining of different components. Pre-hole-free mechanical joining procedures such as self-pierce riveting are particularly suitable in combination with adhesively bonding to fulfill these requirements, but induce strength-reducing damage in the laminate materials.

This work pursues the aim of developing the self-pierce riveting technology for the material-appropriate joining of FRP-metal joints in order to minimize material weakening and to increase joinability as a whole. For this purpose, the damage-inducing mechanisms of the joining procedures of solid self-pierce riveting and semi-tubular self-pierce riveting were analysed and optimisation strategies derived. An element and process combination of both joining technologies turned out to be expedient in this context. The reduction of damage by the newly developed self-pierce rivet was demonstrated by the quantification of the induced defects by ultrasonic testing and determination of the residual compressive strength of the FRP materials. By adapting the process parameters and tool geometries, an improvement of the joint formation was achieved and the spectrum of joining-suitable material geometry combinations was expanded. The realised joints were finally mechanically characterized in different test scenarios.

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	iv
1. Einleitung	1
2. Stand der Technik	3
2.1 Faser-Kunststoff-Verbunde	3
2.1.1 Versagen von Faser-Kunststoff-Verbunden	4
2.1.2 Perforation von Faser-Kunststoff-Verbunden	9
2.1.3 Mechanisches Fügen von Faser-Kunststoff-Verbunden	15
2.1.4 Schädigungen der Faser-Kunststoff-Verbunde beim mechanischen Fügen	17
2.2 Stanznietverfahren	22
2.2.1 Vollstanznieten	22
2.2.2 Halbhohlstanznieten	23
2.3 Zusammenfassung des Standes der Technik	25
3. Zielsetzung und methodisches Vorgehen	26
4. Versuchsrandbedingungen	28
4.1 Verwendete Fügeteilwerkstoffe	28
4.1.1 CF-PA 66	28
4.1.2 CF-EP	29
4.1.3 EN AW-6181	29
4.1.4 HC340LA	29
4.1.5 HCT600X / HCT780X	30
4.1.5 22MnB5	30
4.2 Verwendete Hilfsfügeteile und Klebstoffe	30
4.2.1 Vollstanzniete	30
4.2.2 Reservoirstanzniete	31
4.2.3 Halbhohlstanzniete	32

4.2.4	1K-Klebstoff	33
4.3	Verwendete Fügeanlagen	34
4.3.1	Vollstanznietanlage	34
4.3.2	Halbhohlstanznietanlage	34
4.4	Randbedingungen beim Hybridfügen.....	35
4.5	Prüfkörper	36
4.5.1	Bemusterungsprobe	36
4.5.2	Einschnittig überlappte Scherzugprobe	36
4.5.3	LWF-KS 2,5-Probe	36
4.5.4	Proben zur Ermittlung der Druck-Lochkerbfestigkeit	37
4.5.5	Proben zur Quantifizierung der geschädigten Fläche	37
4.6	Prüfeinrichtungen.....	38
4.6.1	Ultraschallprüfgerät	38
4.6.2	Quasistatische Verbindungsprüfung.....	39
4.6.3	Zyklische Verbindungsprüfung	39
5.	Analyse und Weiterentwicklung der Stanznietverfahren für den Einsatz in FKV-Strukturen	40
5.1	Vollstanznieten von FKV-Metall-Verbindungen.....	40
5.2	Halbhohlstanznieten von FKV-Metall-Verbindungen	50
5.3	Konzeptionierung eines neuartigen Stanznietes	53
5.4	Nietentwicklung.....	57
5.5	Bewertung des Schneidverhaltens im FKV.....	64
5.6	Risikobewertung des eingeschlossenen FKV-Butzens und Strategien zur Verliersicherheit	66
6.	Optimierung der qualitätsrelevanten Verbindungsmerkmale	72
6.1	Untersuchungen zum elementaren Reservoirstanznieten	72
6.2	Untersuchungen zum Reservoirstanznietkleben.....	80
7.	Bewertung der fügeprozessinduzierten Schädigungen.....	87
7.1	Methodenentwicklung zur Schädigungsanalyse	87

7.2	Schädigungsminimierung und -quantifizierung	91
7.3	Einfluss der Schädigungen auf Verbindungs- und Werkstoffeigenschaften	96
8.	Bestimmung des mechanischen Tragverhaltens der Verbindungen.....	99
8.1	Tragfähigkeit bei quasistatischer Scherzugbelastung	99
8.2	Tragfähigkeit unter quasistatischer Kopfzugbelastung.....	104
8.3	Tragfähigkeit unter schwingender Lasteinleitung	107
9.	Zusammenfassung.....	110
10.	Literaturverzeichnis	113