

Prof. Dr.-Ing. Gerson Meschut
Dr.-Ing. Réjane Hörhold

**Untersuchungen zum
methodenbasierten
Prozessverständnis
des radialsymmetrischen
Schneidclinchens**

Berichte aus dem Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik

Band 138

**Gerson Meschut
Réjane Hörhold**

**Untersuchungen zum methodenbasierten
Prozessverständnis des radialsymmetrischen
Schneidclinchens**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Aachen 2018

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 2018

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6297-7

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

Zusammenfassung

Der Schneidclinchprozess wurde in seinen Teilbereichen des Fügeprozessablaufs, der geometrischen Fügezonenmerkmale und der Tragfähigkeit der Clinchverbindungen untersucht. Dabei unterstützte vor allem die numerische Simulation des Fügeprozessablaufes, Aspekte des Verfahrens zu untersuchen, die im Experimentellen verborgen geblieben wären.

In der Charakteristik des Prozessablaufes konnten werkzeug- und fügeteilseitige Einflussfaktoren aufgedeckt werden. Besonders die numerische Abbildung des Fügeprozessablaufes hat die Mechanismen der einzelnen Aktivelement-Kinematiken aufzeigen können. Diese Erkenntnisse können einer in situ Prozessüberwachung helfen, einen fehlerhaften Fügeprozessablauf zu erkennen.

Die Simulation mit implementiertem, makromechanischem Bruchkriterium konnte Effekte beschreiben, die im Experiment nicht abbildbar sind. Als analytische Methode, um die Werkstoffverdrängung durch Werkzeuganpassung aus der Fügezone beschreiben zu können, dient das mittels CAD definierte Fügevolumen, mit dem die Wirksamkeit einer Deformationsreduktion nachgewiesen werden kann.

Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen hat sich vor allem gezeigt, dass die Schneidclinchverbindungen vergleichbare Belastungen wie Clinchverbindungen mit Vorloch ertragen können. Mit den Untersuchungen zur Verdrehsicherheit der Verbindung wurde eine Methode zur Bewertung ihrer Handhabungsbelastungsfähigkeit entwickelt.

Summary

Within the scope of this work, the shear-clinching process was investigated in its areas of joining process, joint formation, and its final load bearing capacity. In particular, the numerical simulation of the joining process helped to investigate aspects of the method that would have remained hidden in the experimental setup.

The characteristics of the process were examined for their influencing factors. Factors related to tools and components could be uncovered. The numerical mapping of the joining process sequence resulted in knowledge about the composition of a process force-stamp path curve in its characteristic features in detail and about influencing factors of certain curve characteristics. These data can help in situ process monitoring to detect a faulty joining process.

The experimental and numerical assessment of the geometrical features could also identify influencing factors, which significantly influence the joint formation. The simulation with implemented macro-mechanical fraction criterion could detect effects that cannot be shown in the experiment. As an analytical method to describe the material displacement by tool adaptation from the joining zone, a CAD-based joint volume can also be used as proof of the effectiveness of a deformation reduction.

As part of the experimental investigations it has been shown that shear-clinching is as sufficient as clinching with pre-hole. With the investigations of twisting a joint by torsion a new method was developed for the strength comparison in axial direction.

Teile dieser Arbeit sind in folgenden Veröffentlichungen erschienen

M. Merklein, G. Meschut, M. Müller, R. Hörhold: *Grundlegende Untersuchungen zur Verbindung von pressgehärtetem Stahl und Aluminium mittels Schneidclinchen*, A. Brosius (Edtr.): Tagungsband - 20. Sächsische Fachtagung Umformtechnik, S. 63-72, 2013

M. Merklein, G. Meschut, M. Müller, R. Hörhold, *Basic Investigations of Non-Pre-Punched Joining by Forming of Aluminium Alloy and High Strength Steel with Shear-Clinching Technology*, Key Engineering Materials, Vols. 611-612, S. 1413-1420, May. 2014

M. Müller, R. Hörhold, M. Merklein, G. Meschut: *Analysis of Material Behaviour in Experimental and Simulative Setup of Joining by Forming of Aluminium Alloy and High Strength Steel with Shear-Clinching Technology*, Advanced Materials Research, Vols. 966-967, S. 549-556, Jun. 2014

M. Müller, U. Vierzigmann, R. Hörhold, G. Meschut, M. Merklein: *Adaption des Ringstauchversuchs für die Untersuchung der tribologischen Bedingungen beim Fügen warmumgeformter Stähle mittels Schneidclinchen*, M. Merklein (Edtr.): 9. Erlanger Workshop Warmblechumformung, Meisenbach, S. 163-174, 2014

M. Müller, U. Vierzigmann, R. Hörhold, G. Meschut, M. Merklein, *Development of a Testing Method for the Identification of Friction Coefficients for Numerical Modeling of the Shear-Clinching Process*, Key Engineering Materials, Vol. 639, S. 469-476, Mar. 2015

M. Müller, R. Hörhold, G. Meschut, M. Merklein: *FE-Based Study of the Cutting Operation within Joining by Forming of Dissimilar Materials Using Shear-Clinching Technology*, Applied Mechanics and Materials, Vol. 794, S. 304-311, Oct. 2015

R. Hörhold, M. Müller, M. Merklein, G. Meschut: *Mechanical properties of an innovative shear-clinching technology for ultra-high-strength steel and aluminium in lightweight car body structures*, Welding in the World 60/3, S. 613-620, 2016

R. Hörhold, M. Müller, M. Merklein, G. Meschut: *Fundamental Studies on a Novel Die Concept for Round-Point Shear-Clinching*, AIP Conference Proceedings 1769/100003, S. 1-6, 2016

R. Hörhold, M. Müller, M. Merklein, G. Meschut: *Damage behaviour of joining by forming UHSS with ductile aluminium by innovative round-point shear-clinching technology*, Posterbeitrag, ICEFA Leipzig, 2016

M. Müller, R. Hörhold, G. Meschut, M. Merklein: *Numerische Untersuchung des Werkstoffflusses beim Fügen artungleicher Werkstoffe mittels Schneidclinchen*, Brosius, A. (Edtr.): Tagungsband SFU 2016, S. 158-165, 2016

R. Hörhold, M. Müller, M. Merklein, G. Meschut: „Specimen´s Geometry Related Influences on Load-bearing Capacity of Joining Aluminium and UHSS by Innovative Shear-clinching“, Journal of Materials Science Research, Vol. 6, No.4, S. 19-27 , 2017

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	x
1. Einleitung.....	1
2. Stand der Forschung	3
2.1 Einordnung der Clinchverfahren	4
2.1.1 Einstufiges Clinchen duktiler Werkstoffe.....	6
2.1.2 Mehrstufiges Clinchen höchstfester Werkstoff.....	7
2.1.3 Evolution der Rundpunkt-Clinchverfahren	8
2.2 Verfahrensprinzip des Schneidclinchens	10
2.2.1 Trennen.....	12
2.2.2 Umformen	15
2.3 Numerische Untersuchungen	17
2.3.1 Lösungsalgorithmus spez. Finite-Elemente-Methode	17
2.3.2 Simulation mechanischer Fügeverfahren	18
2.3.3 Modellierung der Werkstofftrennung.....	19
2.3.4 Modellierung des Umformverhaltens	22
2.4 Charakterisierung der Clinchverbindung	23
2.4.1 Zerstörungsfreie Qualitätsüberprüfung	23
2.4.2 Zerstörende Qualitätsüberprüfung.....	25
3. Aufgabenstellung und Lösungsmethodik.....	27
4. Versuchswerkstoffe und -einrichtungen	30
4.1 Verwendete Fügeteilwerkstoffe.....	30
4.1.1 Warmumgeformter Bor-Mangan Stahl 22MnB5.....	30
4.1.2 Verzinkter Dualphasenstahl HCT780X	32
4.1.3 Aluminiumwerkstoff EN AW-6016.....	33
4.2 Umformtechnisches Fügen höchstfester Stahlwerkstoffe.....	34

4.2.1	Konfiguration der Clinchwerkzeuge	34
4.2.2	Fügeeinrichtung Eckold DFG 500/150 E	35
4.3	Prozesssimulation mittels Simufact.forming	36
4.4	Ermittlung der Verbindungseigenschaften	37
4.4.1	Quasistatische Zugprüfung	37
4.4.2	Zyklische Prüfung	38
4.4.3	Korrosionsuntersuchungen	40
4.4.4	Probengeometrien	41
4.4.5	Prüfeinrichtungen	41
5.	Clinchen höchstfester Werkstoffe	45
5.1	Fügeprozessablauf	46
5.2	Fügezonenmerkmale	47
5.3	Tragfähigkeit	50
6.	FEM-Modell zum Schneidclinchen	52
6.1	Vernetzung	53
6.2	Kontakt und Reibung	54
6.3	Fließkurven der Fügeteilwerkstoffe	55
6.4	Trennkriterium des matrizenseitigen Werkstücks	56
6.5	Reibwert- und Extrapolationsreferenzierung durch Vorlochgeometrie	58
6.6	Werkzeugkinematik	60
6.7	Validierung der Schneidclinch-Simulation	62
6.7.1	Fügeprozessablauf	62
6.7.2	Fügezonenmerkmale	65
6.7.3	Übertragbarkeit der Methode auf weitere Werkstoffkombinationen	67
7.	Analyse des Schneidclinchprozesses	69
7.1	Fügeprozessablauf	69
7.1.1	Werkzeugbedingte Einflussfaktoren	70
7.1.2	Fügeteilbedingte Einflussfaktoren	74

7.1.3	Einflussfaktoren im Prozessverlauf.....	76
7.2	Fügezonenmerkmale	77
7.2.1	Werkzeugbedingte Einflussfaktoren	78
7.2.2	Fügeteilbedingte Einflussfaktoren.....	83
7.3	Auftretende Fügefehler beim Schneidclinchen.....	85
8.	Tragfähigkeit von Schneidclinchverbindungen	86
8.1	Randabstand des Fügepunktes	86
8.2	Einfluss des Hinterschnitts auf die Tragfähigkeit.....	88
8.3	Widerstand gegen Verdrehen der Verbindung	91
8.4	Einfluss medialer Belastung auf die Tragfähigkeit.....	93
8.5	Versagensarten beim Schneidclinchen	98
9.	Zusammenfassung	99
10.	Quellenangabe	102
10.1	Buch- und Journalbeiträge.....	102
10.2	Normen, Merkblätter und Richtlinien.....	111
10.3	Patente	113
	Lebenslauf Dipl.-Ing. Réjane Hörhold	115