

Clinchen von Stahl- und Aluminiumwerkstoffen unter Einwirkung von Leistungultraschall

Martin-Christoph Wanner, Knuth-Michael Henkel, Ben Becker, Volker Thoms, Monika Timm,

Das Clinchen gewinnt zunehmend an Bedeutung als alternative Verbindungstechnik, sowohl für hybride Konstruktionen beispielsweise im Leichtbau als auch in der Fahrzeugtechnik. Der geringe Wärmeeintrag am Clinchpunkt und die Möglichkeiten verschiedene Werkstoffe zu verbinden, eröffnet ein enormes Einsatzgebiet. In einem gemeinsamen Forschungsprojekt der Technischen Universität Dresden und der Universität Rostock wurden die Auswirkungen einer Überlagerung des Clinchprozesses mit Leistungultraschall hinsichtlich der aufzubringenden Prozesskräfte und der Ausbildung des Clinchpunktes untersucht. Ziel dieses Forschungsprojekts war es, zu untersuchen, in welchem Maße sich der Einsatz von Ultraschall auf die Prozessparameter des Clinchens auswirkt. Die angestrebte Reduzierung der Prozesskräfte würde eine Erweiterung der Verfahrensgrenzen des Clinchens ermöglichen.

Beim Clinchen werden durch Stempel und Matrize zwei oder mehrere Halbzeuge aus duktilen Werkstoffen so verformt, dass eine dauerhafte kraft- und formschlüssige Verbindung entsteht (Bild 1). Das Clinchen erfordert weder ein Vorlochen, noch zusätzliche Hilfsfügeteile wie Nieten oder Schrauben.

Da das Clinchen nicht auf metallische Werkstoffe beschränkt ist, findet es eine zunehmende Verbreitung beim Fügen in Mischbauweise. Das Clinchen stellt, vor allem beim Fügen beschichteter Werkstoffe und bei neueren Werkstoffentwicklungen, häufig eine wirtschaftliche Alternative zum Punktschweißen dar.

Die Wirkung von Leistungultraschall (LUS) auf verschiedene Umformprozesse wird bereits seit den 50er Jahren untersucht. Hinsichtlich der dabei auftretenden Effekte „Reduzierung der Umformkraft“ und „Reduzierung der Reibung“ besteht bis heute weiterer Klärungsbedarf [1,2]. Es wird davon ausgegangen, dass die longitudinalen Schwingungen im Ultraschallbereich die Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück stark reduzieren, und sich aus der Überlagerung von quasi-statischen Umformspannungen und Ultraschalleinkopplung eine deutliche

Reduzierung der erforderlichen Umformkraft ergibt.

Versuchsaufbau

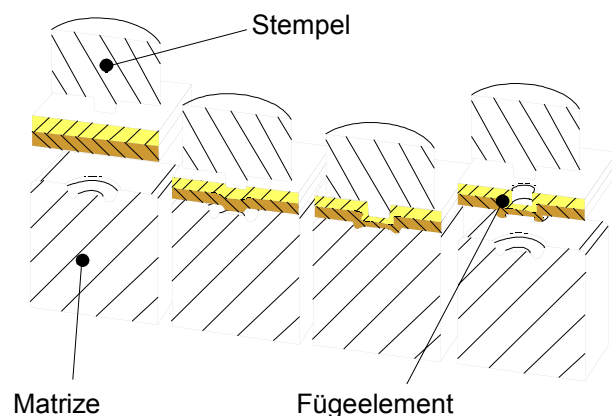
Im Vorfeld der Versuche wurde eine experimentelle LUS-Clinch-Anlage eingerichtet (Bild 2). Ein Konverter setzt die von einem entsprechenden Generator erzeugte Wechselspannung in mechanische Schwingungen gleicher Frequenz um. Ein Amplitudentrans-

formationsstück (Booster) ermöglicht durch spezielle Querschnittsänderungen die Beeinflussung der Amplitude. Die Sonotrode mit dem Clinchstempel überträgt den Ultraschall auf die Fügeteile. Sie kann, wie der Booster, durch ihre geometrische Gestaltung die Amplitude nochmals vergrößern bzw. verkleinern.

Der Einsatz von Ultraschall erfordert die Ausbildung einer stehenden Welle im schwingenden System. Daher müs-

Bild 1

Clinchen ohne Schneidanteil mit Rundclinch und geschlossener Matrize.



sen sämtliche Bestandteile der Anlage hinsichtlich ihrer Eigenfrequenz und Länge, auf die Frequenz und Wellenlänge des verwendeten Ultraschalls hin abgestimmt werden [3].

Aufgrund der Ausprägung einer stehenden Welle im System, befindet sich in der Mitte des Boosters ein Schwingungsknoten mit der Amplitude $a = 0$ (Bild 3). Eine Krafteinleitung über den Konverter oder in einem Bereich großer Amplitude könnte zur Beschädigung der Anlage führen. Aus diesem Grunde wird die Fügekraft über einen schwingungsfreien Flansch am Booster eingeleitet.

Untersuchungsprogramm

Das Versuchsprogramm umfasste das einstufige Clinchen mit Rundpunkt in öffnenden und geschlossenen Matrizen. Gefügt wurden artgleiche Verbindungen aus Aluminium, Blechdicke 2 x 1,5 mm und Stahl, Blechdicke 2 x 1 mm.

Um während des Rückhubs die notwendige Kraft zum Herausziehen des Stempels aus dem Clinchpunkt (Abstreifkraft) zu erfassen, wurde bei einigen Versuchreihen auf den beim Clinchen üblichen Abstreifer verzichtet.

Es erfolgt eine Variation der LUS-Parameter Amplitude, Zuschaltzeitpunkt und Wirkdauer, um deren Einfluss auf die Füge- und Abstreifkräfte sowie auf die Ausbildung des Clinchpunktes zu ermitteln [2].

Der verwendete Generator erzeugt eine Frequenz von 20 kHz, die vom Konverter bei maximaler Leistung in eine mechanische Schwingung mit einer Amplitude von bis zu 15 μm umgewandelt wird.

Die Versuchsvorrichtung zum Clinchen mit Leistungultraschall ist im Druckbereich einer statischen Prüfmaschine (Typ Z 400 E, Fa. Zwick) eingebaut (Bild 4).

Um die Vergleichbarkeit der Versuchreihen zu gewährleisten, wurde mit und ohne LUS jeweils die gleiche Restbodendicke der Clinchpunkte erzeugt.

Ergebnisse

Einfluss des Leistungultraschalls auf die Fügekraft

Bereits in den ersten Versuchreihen zeigte sich, dass das Clinchen mit

Bild 2

Prinzipversuchsanlage zum LUS-Clinchen.

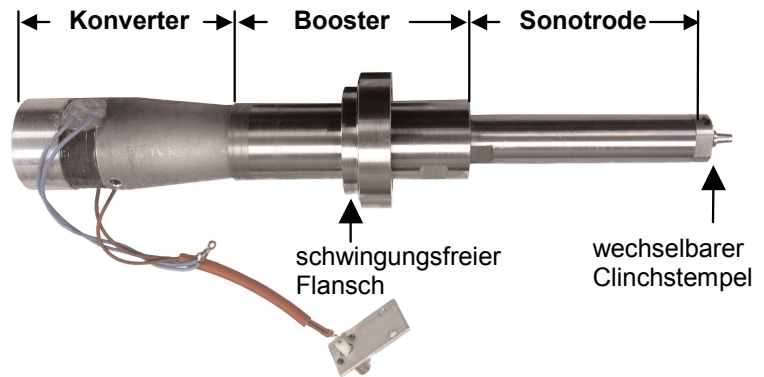


Bild 3

Schematische Darstellung des Amplitudenverlaufs im schwingenden System.

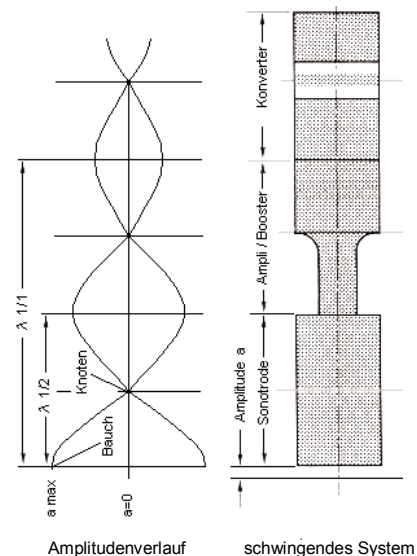
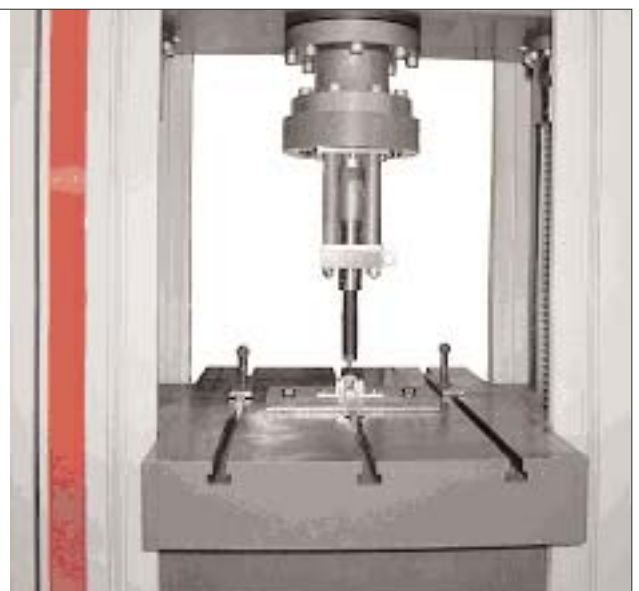


Bild 4

Prinzipversuchsanlage zum LUS-Clinchen im Druckbereich einer statischen Prüfmaschine (Typ Z 400 E, Fa. Zwick).



überlagertem Ultraschall prinzipiell möglich ist und es zu einer deutlichen Reduzierung der Füge- und Abstreifkräfte kommt. In Bild 5 ist ein typischer Kraft-Weg-Verlauf eines konventionell erzeugten Clinchpunktes im Vergleich zum ultraschallüberlagerten Clinchprozess abgebildet.

Abhängig vom Material der zu fügenden Bleche und der verwendeten Matrizenart wurde eine Fügekraftreduzierung von ca. 15 bis 20 % erzielt. Beim Clinchen von Aluminium (Bild 6) konnte durch das Einwirken des Ultraschalls während des Rückhubs zudem eine Verringerung der Abstreiferkräfte beobachtet werden.

Einfluss der Wirkdauer

Um die Leistungsfähigkeit des Ultraschalls während des Clinchprozesses voll auszuschöpfen, ist eine von der Fügeaufgabe abhängige Mindestwirkdauer erforderlich. Beim Clinchen von Aluminium mit Ultraschallüberlagerung ist eine Wirkdauer von ca. 0,1 s ausreichend, während das Clinchen von Stahl eine Zuschaltdauer des Ultraschalls von bis zu 0,7 s erforderte. Die Wirkdauer sollte im Zusammenhang mit dem Zuschaltzeitpunkt so gewählt werden, dass der Ultraschalleffekt während des Kaltstauchens einsetzt und in der Phase des Rückhubs die Abstreifkraft vermindert.

Zuschaltzeitpunkt des LUS

Die Untersuchungen zeigten, dass eine Zuschaltung des LUS nach dem Durchsetzen und vor bzw. während des Kaltstauchens sinnvoll ist. Ansonsten kann es zu unerwünschten Relativbewegungen der zu fügenden Bleche während des Clinchvorganges, zu ungenügender Hinterschnittausbildung und damit zur Beeinträchtigung der Verbindungsfestigkeit kommen. Wie Bild 7 zeigt, hat die genaue Wahl des Zuschaltzeitpunktes nach dem Kaltstauchen keinen signifikanten Einfluss auf die notwendige maximale Fügekraft.

Einfluss der Amplitude

Die Amplitude der Versuchsanlage konnte über den Generator im Bereich von 30 % bis 100 % der maximalen Amplitude eingestellt werden. Die Auswertung der durchgeführten Versuchsreihen ergab in diesem Amplitudenbereich einen signifikanten Zu-

Bild 5 Clinchen von Stahl (2 x 1 mm H 320) in geschlossene Matrize mit und ohne LUS.

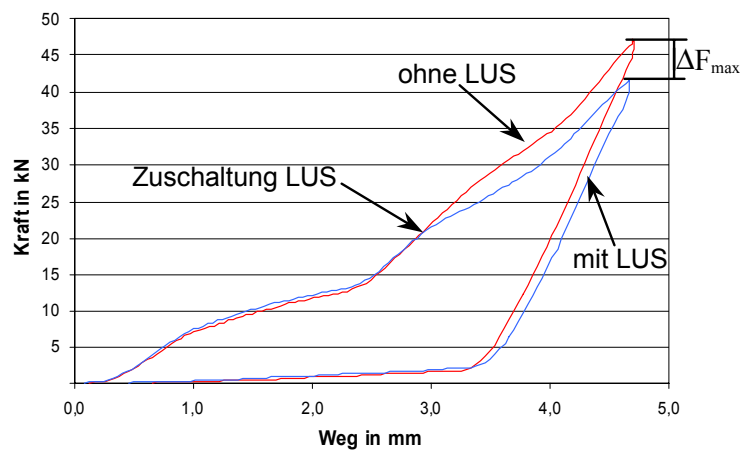


Bild 6 Clinchen von Aluminium (2 x 1,5 mm Ecodal) in geschlossene Matrize mit und ohne LUS.

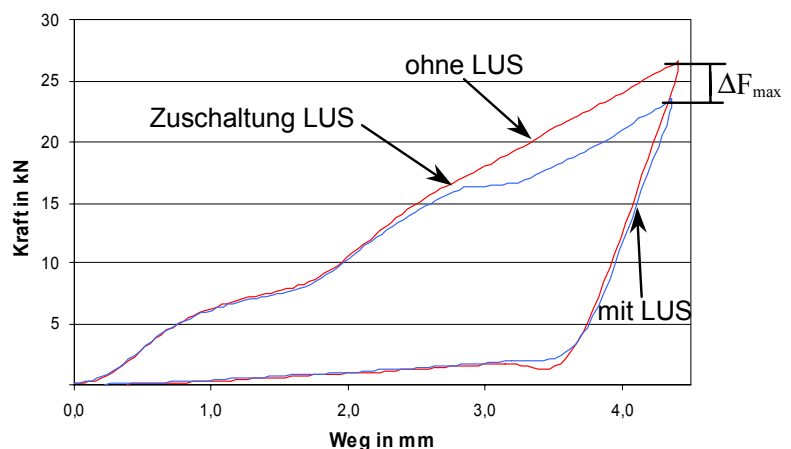
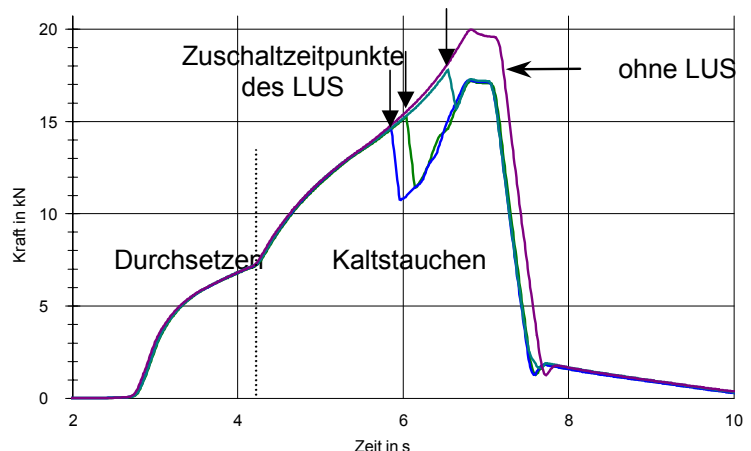


Bild 7 Kraft-Zeit-Verlauf beim Clinchen mit öffnender Matrize bei Variation des Zuschaltzeitpunktes.



sammenhang zwischen Fügekraftreduzierung und Amplitude (Bild 8).

Einer Erhöhung der Amplitude wird voraussichtlich zu einer weiteren Reduzierung der Fügekräfte beitragen.

Ausbildung der Fügeelemente

Ein signifikanter Einfluss des Ultraschalls auf die Fügeelementausbildung konnte bei Punkten gleicher Bodendicke nicht nachgewiesen werden. Die unter Einwirkung von Leistungultraschall erzeugten Clinchpunkte unterscheiden sich im Schliff nicht signifikant von Schliffen ohne Ultraschalleinsatz (Bild 9).

Zusammenfassung und Ausblick

Durch den Einsatz von Ultraschall können die Prozesskräfte während des Clinchens hinsichtlich der Fügekraft und Abstreifkraft deutlich verringert werden. Negative Auswirkungen auf die Ausbildung und die Festigkeit der Clinchpunkte wurden nicht ermittelt.

Im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens werden die Auswirkungen des Ultraschalls bei Einsatz von Klebstoffen zwischen den Füge­teilen untersucht sowie Prüfungen der Geräuschbelastung und der Verbindungsfestigkeit fortgeführt.

Weiterführende Untersuchungen sollen sich insbesondere auf die Erhöhung der einkoppelbaren Amplitude in den Werkstoff und der zu erwartenden weiteren Fügekraftreduzierung konzentrieren.

Bild 8

Zusammenhang zwischen Fügekraftreduzierung und Amplitude.

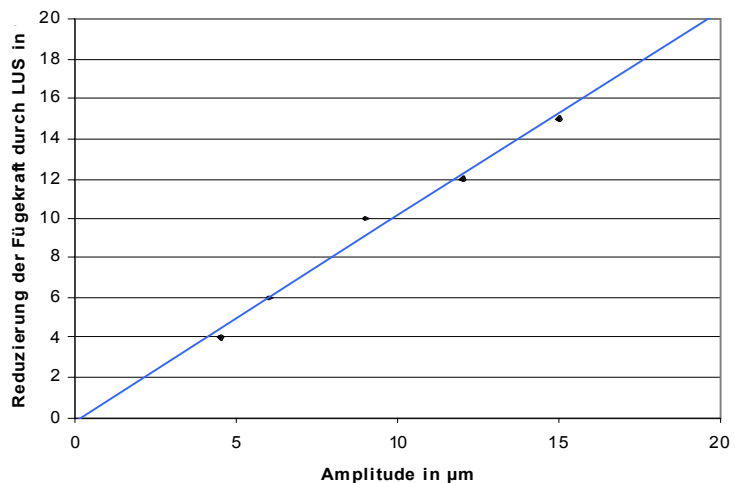


Bild 9

Vergleich der Fügeelementausbildung mit und ohne LUS.



Schliffbilder: Clinchen von Aluminium (Ecodal) ohne LUS (Bild links) und mit LUS (Bild rechts)



Schliffbilder: Clinchen von Stahl (H320) ohne LUS (Bild links) und mit LUS

Danksagung

Das Forschungsvorhaben „Clinchen von Stahl- und Aluminiumwerkstoffen unter Einwirkung von Leistungultraschall“ (AiF-Nr.:13497 BR) wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft finanziert und als Gemeinschaftsvorhaben der TU Dresden/IPT und der Universität Rostock/Iff im Auftrag der EFB bearbeitet.

Für diese Förderung sei gedankt. Die ausführlichen Ergebnisse sind ab 06/2005 in einem Forschungsbericht niedergelegt, der von der EFB-Forschungsstelle Hannover bezogen werden kann.

Literatur

- [1] Siegert, K.: Ultraschallbeeinflusstes Umformen metallischer Werkstoffe. Abschlussbericht zum Sonderforschungsbereich 543, Universität Stuttgart, 2002.
- [2] Timm, M.; Henkel K.-M.; Becker, B.: Clinchen von Stahl- und Aluminiumwerkstoffen unter Einwirkung von Ultraschall. 3. Zwischenbericht zum AiF/EFB-Forschungsvorhaben 13497BR, Technische Universität Dresden / Universität Rostock, 2004.
- [3] Cheeke, J.D.N.: Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves. New York: CRC PRESS, 2002.

Autoren

- Prof. Dr.-Ing. Martin-Christoph Wanner, Leitung des Lehrstuhls für Fertigungstechnik der Universität Rostock.
- Dr.-Ing. Knuth-Michael Henkel, Leitung der Abteilung Füge­technik am Lehrstuhl für Fertigungstechnik der Universität Rostock.
- Dipl.-Wirt. Ing. Ben Becker, wissenschaftlicher Mitarbeiter des Lehrstuhls für Fertigungstechnik der Universität Rostock.
- Prof. Dr.-Ing. Volker Thoms, Leitung des Lehrstuhls für Umform- und Urformtechnik der Technischen Universität Dresden.
- Dipl.-Ing. Monika Timm, wissenschaftliche Mitarbeiterin des Lehrstuhls für Umform- und Urformtechnik der Technischen Universität Dresden.