

Dickblechclinchen – innovatives Umformfügen für den Stahlbau  
Clinching of thick sheets – innovative joining by forming in steelwork

Autoren:

Israel, Markus; Jesche, Fred; Mauermann, Reinhard; Trojer, Andreas

Keywords:

Clinchen, Dickblech, Umformfügen, Werkzeugdesign, Simulation, mechanisches Fügen, Ressourceneffizienz

Fachtermini:

Clinchen	clinching
Umformfügen	joining by forming
Hinterschnitt	undercut
Halsdicke	neck thickness
Feinblech	thin sheet
Dickblech	thick sheet
Schließringbolzen	lock bolt
Niet	rivet
formschlüssig	form-fit
Verbindung, Fügepunkt	joint
Flansch	flange
C-Bügel	C-frame
Zugspannung	tensile stress

Abstrakt:

Das auch unter dem Begriff Durchsetzfügen bekannte Clinchen ist eine Füge-technologie, welche sich vor allem in den Bereichen Automobilindustrie sowie der Geräte- und Elektroindustrie etabliert hat. Eine Vielzahl von Forschungen belegt die Universalität und Wirtschaftlichkeit, eine einfache Handhabbarkeit sowie die gute Automatisierbarkeit dieses Fügeverfahrens [1]. Der Einsatz des Clinchens beschränkt sich zurzeit jedoch hauptsächlich auf den Feinblechbereich in den genannten Industriezweigen. Untersuchungen am Fraunhofer IWU belegen, dass dieses hochgradig ökonomische und innovative Verfahren auch eingesetzt werden kann, wenn deutlich größere Blechdicken zu verarbeiten sind. Ein Einsatz im Schienenfahrzeug-, Schiff- und Stahlbau sowie dem Nutzfahrzeugbau ist in naher Zukunft vorstellbar und aufgrund der besonderen Eigenschaften der Technologie erstrebenswert. Die Übertragung des Know-How aus dem automobiltypischen Blechdickenbereich auf die Materialstärken im Stahlbau sowie die numerisch unterstützte Systementwicklung sind Schwerpunkte der Forschungsaktivitäten am Fraunhofer IWU.

Abstract:

Clinching, which is mechanical joining by upsetting, is above all established in the area of automotive industry as well as is in appliance and electronic industry. The universality, economic efficiency, an easy manageability and the fact that the process is good automatable are documented by several research activities [KOH94]. Currently the process application is mainly restrained on connections of thin sheets in the named sector of industry. Investigations done by Fraunhofer IWU point out the

possibility of using this high efficiency and innovative joining technology even for applications with distinctly higher sheet thicknesses. An adoption of clinching is conceivable and desirable for railway vehicle or truck manufacturing and shipbuilding as well as for steelwork generally in near future due to its specific technology characteristics. The transfer of knowledge from the thin sheet automotive sector to the sheet thicknesses used in steelwork as well as the numerical supported system development are focus of the research activities at Fraunhofer IWU.

(max. 15 Zeilen)

englisch: Titel, Zusammenfassung, Bildunterschriften, Fachtermini

## 1 Einleitung

Zum Verbinden von Blechen existiert eine Vielzahl verschiedener Fügeverfahren (vgl. DIN 8593-0), wobei jede Technologie entsprechend der Anforderungen und der Prozesseigenschaften bei spezifischen Fügeaufgaben zum Einsatz kommt. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung von Ressourcenschonung und Effizienz in der Produktion rücken ökonomische Fügeverfahren immer mehr in den Blickpunkt. Im Stahlbau hat sich in diesem Zuge zum Beispiel das Fügen mittels Schließringbolzen etabliert, welches im Vergleich zu den Schweißverfahren ohne das mit hohem Energieeintrag verbundene Aufschmelzen von Werkstoffen eine form- und kraftschlüssige Verbindung realisiert. Die Fertigung dieser Verbindungen ist zudem ohne die bei Schweißprozessen nötigen Schutzmaßnahmen möglich, des Weiteren entfällt die je nach Schweißverfahren unterschiedlich aufwändige Vor- und Nacharbeit. Nachteilig beim Fügen durch Schließringbolzen oder anderen Nietverfahren ist die Notwendigkeit ein Hilfsfügeteil, den Niet, zu verwenden. Die Kosten für diese zusätzlichen Elemente verringern den ökonomischen Vorteil gegenüber den Schweißverfahren mitunter deutlich.

Das Clinchen, welches ebenfalls ohne Wärmeeintrag, darüber hinaus aber auch ohne Verwendung eines Hilfsfügeteiles Verbindungen erzeugt, nimmt hinsichtlich der ökonomischen Betrachtung von Fügeverfahren eine besondere Stellung ein. Die Kombination der genannten Vorteile von Nietverfahren zuzüglich der Einsparung von Kosten für die Hilfsfügeteile machen das Clinchen zu einem hochökonomischen Fügeverfahren, weshalb es sich vor allem in Industriezweigen mit hoher Innovationskraft und Produktivität wie in der Automobilindustrie etabliert hat. Das Fraunhofer IWU hat sich, beginnend vor 3 Jahren, das Ziel gesteckt, diese innovative Technologie auf ihre Anwendbarkeit für im Stahlbau typischen Blechdicken oberhalb von 4 mm zu untersuchen und Unternehmen bei der Entwicklung und Einführung dieses Verfahrens zu unterstützen.

## 2 Clinchen – Ein Fügeverfahren mit großem Potential

### 2.1 Verfahrensprinzip

Das Clinchen ist ein umformtechnisches Fügeverfahren, welches form- und kraftschlüssige Verbindungen durch lokale Verformung der zu verbindenden Bauteile generiert. Aufgrund des großen Potentials der Technologie brachte der Wettbewerb

mehrerer Systemanbieter in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von Varianten des Clinchens hervor. Es wird unterschieden in einstufige und zweistufige Clinchverfahren, Verfahren mit und ohne Schneidanteil sowie hinsichtlich der Gestaltung der Matrize als starres Gesenk oder in geteilter Ausführung. Nähere Informationen hierzu können zum Beispiel [DVS-EFB 3420] entnommen werden, in welchem Hinweise und Richtlinien zum Verfahren allgemein, zur Anwendung und zur Prüfung gegeben werden. Im Folgenden wird das Prinzip des einstufigen, nichtscheidenden Clinchens mit starrer Matrize erläutert, welches derzeit den größten Marktanteil für sich beansprucht und ein hohes Potential hinsichtlich der Übertragbarkeit auf Verbindungsaufgaben mit größeren Blechdicken aufweist.

Die Prozessabfolge der Verbindungsausprägung zeigt [Abbildung 1](#) in drei Stufen. Im ersten Prozessschritt erfolgt ein Fixieren der zu verbindenden Bauteile auf der Formmatrize durch den Niederhalter. Die Zustellung des Stempels bewirkt im zweiten Prozessschritt ein Durchsetzen des stempelseitigen Bleches in das matrizeseitige Blech. Erreicht der unterhalb des Stempels befindliche Werkstoff den Matrizenboden, erfolgt ein zunehmendes radiales Fließen des Werkstoffes und es kommt zu einer Hinterschnittbildung zwischen den beiden Blechen, dargestellt in Prozessschritt drei. Nach erfolgter Ausprägung der Verbindung erfolgt der Rückhub des Stempels. Mitunter wirken infolge der entlasteten Verbindung radiale Druckspannungen auf den Stempel, welche den Rückhub erschweren. Da der Niederhalter gleichzeitig als Abstreifer fungiert, kann bei ordnungsgemäßer Dimensionierung des Niederhalters ein sicheres Ausfahren des Stempels gewährleistet werden (vgl. [Abbildung 2](#)). Der beschriebene Clinchprozess erfolgt bei Raumtemperatur, lediglich bei Verbindungsaufgaben mit spröden Metall-Werkstoffen wie Aluminiumguss oder Magnesium ist eine Erwärmung der Bleche erforderlich um die nötigen Umformgrade zu realisieren.

## 2.1 Eigenschaften und Zusammenhänge für die Übertragung auf den Dickblechbereich

Clinchverbindungen werden im Allgemeinen durch ihre geometrischen Kenngrößen qualitativ bewertet (vgl. [Abbildung 3](#)). Die Größe des Hinterschnittes  $f$  sowie die Halsdicke  $t_n$  des stempelseitigen Bleches sind dabei in besonderem Maße bedeutend für die Festigkeit der Verbindung. Bei der Dimensionierung der Werkzeuge gilt es deshalb, diese beiden geometrischen Kenngrößen entsprechend abzustimmen, um eine best mögliche Festigkeitsperformance zu erreichen. Die Bodendicke  $t_b$  ist ein weiteres wichtiges Maß der Clinchverbindung. Ausgehend von dem bemusterten Fügepunkt, bei welchem die Bodendicke bekannt ist, kann über die Kontrolle dieses Maßes die Qualität in der laufenden Produktion bestimmt werden.

Der Einsatz konventioneller Clinchsysteme mit standardisierten Werkzeugsätzen ist momentan auf Gesamtlechdicken von ca. 6 mm bis 8 mm begrenzt, da die Systemanbieter bisher nur Standard-Sortimente bis zu bestimmten Werkzeugdimensionen anbieten, welche sich stark am Automotive-Sektor orientieren. Wie die Werkzeugdimensionen von Stempel und Matrize ausgehend von den bekannten Feinblechanwendungen auf den Dickblechbereich übertragen werden, hängt in starkem Maße von den Anforderungen bezüglich Verbindungsfestigkeit, Zugänglichkeit, Fügekraft und den Materialeigenschaften ab. Zur Blechdicke proportional kleine Werkzeugabmessungen bedingen zwar geringe Fügekräfte und günstige Eigenschaften hinsichtlich der Zugänglichkeit, haben aber höhere Werkzeugbelastungen und geringere Verbindungsfestigkeiten vor allem bei Scherzugbelastung zur Folge.

Im Extremfall kann es bei der Verarbeitung von Werkstoffen mit geringer Bruchdehnung bereits beim Fügen zur Rissbildung im Halsbereich kommen. Ursache dafür ist die vergleichsweise starke notwendige Abstreckung des Werkstoffes in diesem Bereich, welche nur bei Verwendung duktiler Werkstoffe realisiert werden kann. Demgegenüber können bei verhältnismäßig großer Dimensionierung der Werkzeuge große Halsdickenwerte und somit höhere Scherfestigkeiten erzielt werden. Dafür sind allerdings höhere Fügekräfte nötig. [Abbildung 4](#) verdeutlicht diese Zusammenhänge an einer Stahlpaarung 8,0 mm in 4,0 mm. Die dargestellte Kenngröße des Vergleichsumformgrades (strain effective), auch logarithmische Dehnung genannt, zeigt deutlich die Unterschiede in der Stärke der Verformung sowie der Entwicklung der Halsdicke bei Verwendung unterschiedlicher Werkzeugdimensionen. Entsprechend der Anforderungen an die Verbindung aber auch im Hinblick auf die Eigenschaften der zu verbindenden Werkstoffe gilt es demnach entsprechend angepasste Werkzeugsätze zu verwenden.

### 3 Prototyp eines Fahrtreppen-Fachwerkes

#### 3.1 Anforderungen und Clinchpunktauslegung

Die Herstellung von Tragwerken für Fahrtreppen ([vgl. Abbildung 5](#)) erfolgt konventionell durch Verschweißen von Halbzeugprofilen. Dabei werden zumeist MAG-Schweißnähte appliziert, welche je nach Automatisierungsgrad einen nicht unerheblichen Anteil an manueller Schweißarbeit und zum Teil aufwändige Richtarbeiten in Folge des Schweißverzuges bedingen. Zusammen mit der Schindler Fahrtreppen AG und der Eckold GmbH & Co KG wurde untersucht, ob das Clinchen in diesem Anwendungs- und Blechdickenbereich ökonomisch vorteilhaft ist und ob das Verfahren eine Alternative zur konventionellen Fügechnik darstellen kann. Hauptgegenstand bei der Untersuchung der Fügepaarung S355JR 8,0 mm in 4,0 mm waren die Fragestellungen:

- Können mit dem Clinchen vergleichbare Festigkeiten erzielt werden wie mit konventionellen Schweißverbindungen?
- Können die globalen Bauteildeformationen durch den Einsatz der neuen Technologie signifikant reduziert werden?

Da standardisierte Werkzeugsätze für diesen Anwendungsbereich noch nicht zur Verfügung stehen, erfolgte eine vorrangig numerisch basierte Dimensionierung nach den Anforderungen der Schindler Fahrtreppen AG. Maßgeblich für diesen Einsatzfall sind die zu übertragenden Kräfte in den Verbindungsknotenpunkten. Analog den ausgeführten Zusammenhängen zwischen Punktgröße und Scherzugfestigkeit wurden zwei Clinchpunkt-Varianten numerisch ermittelt. Die Prozesssimulation ist für die Werkzeugauslegung ein wichtiges und mächtiges Instrument, da neben der Vorhersage der geometrischen Beschaffenheit des Fügepunktes auch Spannungen im Werkzeug, kritische Verformungen des Werkstoffes und die zu erwartenden Prozesskräfte im Variantenvergleich ermittelt werden können. Als Grundlage der experimentellen Verifikation wurden so zwei Clinchpunktdimensionen ermittelt: ein Punkt mit proportional kleinen Werkzeugdimensionen (Matrizendurchmesser 22 mm) und ein zweiter Punkt mit proportional großen Werkzeugdimensionen (Matrizendurchmesser 32 mm). [Abbildung 6](#) zeigt die Querschliffe der beiden Clinchpunkte.

### 3.2 Eigenschaften und Einsatzrandbedingungen

Während bei konventionellen Clinchverbindungen im Feinblechbereich Scherzugfestigkeiten von etwa 2 kN bis 8 kN zu erwarten sind, wurden bei dieser Fügeaufgabe maximale Scherzugkräfte von 58 kN bzw. 121 kN erreicht (vgl. [Abbildung 7](#)). Diese auch für versierte Experten unerwartet hohe Festigkeitsperformance der getesteten Verbindungen war die Basis für eine weitere Betrachtung der Clinchtechnologie im Anwendungsfall „Fahrtreppe“. Dadurch konnten die Knotenanbindungen mit den gewünschten Knotenkräften durch die Realisierung entsprechender Fügepunktanzahl auch ohne konstruktive Änderungen des Überlappbereiches realisiert werden. Die zugehörigen Fügekräfte sind mit 390 kN (Nenn Durchmesser 22 mm) bzw. 670 kN (Nenn Durchmesser 32 mm) je Punkt zu beziffern.

Der Vergleich der den beiden Varianten zugehörigen Fügekräfte mit den erzielbaren Verbindungsfestigkeiten zeigt dabei exemplarisch die Anpassungsmöglichkeiten der Verbindung an die jeweiligen Kundenanforderungen. Zum Beispiel erfordert das Fügen bei Restriktionen hinsichtlich der Zugänglichkeit in vielen Fällen die Verwendung von C-Bügeln, welche entsprechend der auftretenden Fügekräfte ausgelegt werden müssen (vgl. [Abbildung 8](#)). Dabei ist insbesondere auf die Aufbiegung des Bügels bei maximaler Last sowie auf die Einhaltung maximaler Zugspannungen zu achten. Für robotergestütztes Fügen, bei welchem der C-Bügel durch den Roboter gehandelt wird, muss demnach die notwendig größere Masse der Bügel bei höheren Fügekräften schon bei der Verbindungsauslegung mit berücksichtigt werden. Der Einsatz von kleineren Fügepunkten und damit geringeren Fügekräften ist somit für diesen Anwendungsfall erstrebenswert. Mit herkömmlichen CAD-Programmen können die notwendigen Zugänglichkeitsbetrachtungen durchgeführt werden, um entsprechende Erkenntnisse hinsichtlich der Flanschgestaltung oder eventueller Kollisionsprobleme vorab zu generieren ([Abbildung 9](#)). Auf der Basis derartiger Vorbetrachtungen erfolgt die Auslegung von Stempel- und Matrizendimensionen sowie die Gestaltung der kompletten Fügeinheit.

### 3.3 Betrachtungen zum Bauteilverzug

Clinchverbindungen sind im Allgemeinen durch sehr geringe prozessinduzierte Bauteilverzüge charakterisiert. Globale, durch Wärmeeintrag induzierte Deformationen wie beim Schweißen treten bei dieser Füge-technologie nicht auf, da es sich beim Clinchen um einen kalten Fügeprozess handelt. Lediglich durch die lokale starke plastische Verformung der Bauteile ist die Einbringung einer globalen Verformung der Bauteilstruktur möglich. Um diesen Effekt zu vermeiden muss die Niederhalterkraft entsprechend dimensioniert werden. Zusätzlich kann durch geschickte Einstellung des Fügevorganges, zum Beispiel der Füge Reihenfolge, derartige Effekte unterbunden werden.

Mit dem für diese Fügeaufgabe dimensionierten Clinchpunkt als Grundlage erfolgte die Fertigung von Prototypen eines Fachwerksegmentes mit einer Länge von 3 m. Dazu wurden der Obergurt und der Untergurt mit senkrecht angebrachten Verbindern, den so genannten Stehern und mittels Diagonalstreben verbunden (vgl. [Abbildung 10](#)). Die ermittelten fügeinduzierten, globalen Deformationen der Ober- und Untergurte lagen an allen relevanten Messpunkten unterhalb 0,5 mm. Es konnte somit die anvisierte deutliche Verringerung des Bauteilverzugs realisiert werden. Nachträgliches Richten ist bei diesem Anwendungsfall unter Verwendung der

Clinchtechnologie demnach nicht mehr nötig, was ein enormes Kosteneinsparungspotential bedeutet. Die Übertragbarkeit der bekannten geringen Beeinflussung der Bauteilgeometrie durch den Fügeprozess bei Feinblechen auf Anwendungsfälle im Dickblechbereich konnte somit erfolgreich nachvollzogen werden.

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Neben dem aufgezeigten Beispiel des Fachwerkes sind bereits mehrere Untersuchungen zum Dickblechclinchen bei verschiedenen Werkstoff- und Blechdickenkombinationen am Fraunhofer IWU durchgeführt worden. Unter anderem konnte punktuell nachgewiesen werden, dass der Festigkeitsabfall bei zyklischer Beanspruchung der Fügepunkte nur sehr gering ausfällt. Somit wird ein weiterer evidenter Vorteil der Füge-technik Clinchen im Vergleich zu thermischen Fügeverfahren auch für die dickblechverarbeitenden Industriezweige nutzbar. Schwerpunkte derzeitiger Untersuchungen sind unter anderem Designoptimierungen hinsichtlich der Reduzierung von Füge- und Abstreiferkräften sowie die Generierung umfangreichere Kenntnisse bezüglich der zyklischen und schlagartigen Verbindungsbelastung.

Da beim Clinchen von größeren Blechdicken zum Teil deutlich höhere als die aus dem Automotive-Bereich bekannten Fügekräfte nötig sind, ist der Einsatz von Handzangen für eine mobile Montage eher nicht zu erwarten. Das Verfahren eignet sich durch seine gute Automatisierbarkeit jedoch hervorragend für den Einsatz in der Vormontage. Wesentliches Kriterium für eine an die Automobilindustrie angelehnte universelle Technologie-Applikation mit Robotereinsatz ist die Zangendimensionierung in Abhängigkeit der erforderlichen Fügekräfte. Für Anwendungen auf konventionellen Pressen sind die Fügekräfte dagegen nicht die ausschlaggebende Größe – nur ein Faktor, weshalb die Experten des Fraunhofer IWU in der derzeitig realisierten Gesamtblechdicke von 16 mm bei Stahlverbindungen noch nicht die obere Prozessgrenze des Clinchens sehen.

#### Literatur:

[DVS-EFB 3420]	Clinchen – Überblick. Taschenbuch DVS-Merkblätter und -Richtlinien – Mechanisches Fügen, Fachbuchreihe Schweißtechnik, Band 153, DVS-Media GmbH (2009) S.17-29
[1]	Kohstall, T.; Budde, L.: Prozesskostenanalyse von umformtechnischen Blechfügetechniken. Blech Rohre Profile (2/1994), S.107-111
[2]	Fecht, N.: Es geht ohne Schweißen. Mechanische Füge-technik im Schienenfahrzeugbau, ke (05/2007), S. 64-65
[3]	Israel, M.; Trojer, A.: Clinching of Thick Sheets in a Framework Structure. Konferenz-Einzelbericht: Fügen im Automobilbau (2009)
[4]	Matthes, K.-J.; Riedel, F.: Füge-technik. Überblick – Löten – Kleben – Fügen durch Umformen. Leipzig, München, Wien: Fachbuchverlag Leipzig 2003