Hochgeschwindigkeitsfügen von Verbindungselementen in hoch- und höchstfeste Stähle

Uwe Wolfarth, Arnold & Shinjo GmbH & Co. KG;

Prof. Dr. Reimund Neugebauer, Dr.-Ing. Reinhard Mauermann,
Dipl.-Ing. (FH) Christian Kraus, Dipl.-Ing. Thomas Kropp, Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

1. Einleitung

Der Trend zum Leichtbau stellt auch die Verbindungselemente und die dazugehörigen Fügeverfahren vor immer neue Herausforderungen. Die zu fügenden Werkstoffe werden in ihren Eigenschaften immer mehr den an der Verbaustelle geforderten Eigenschaften angepasst. So wird aus einer ursprünglich homogenen Stahlkarosserie mehr und mehr ein Baukasten aus einfachem Stahl, hoch- und höchstfestem Stahl, Aluminium und Faserverbundwerkstoffen. Dabei hemmen mittlerweile die Grenzen von Fügeverfahren den weiteren Fortschritt. Man wäre zwar in der Lage, mit neuen Werkstoffen noch leichter zu bauen, wenn man die Bauteile jedoch nicht wirtschaftlich oder prozesssicher fügen kann, endet die Entwicklung an dieser Stelle. Dies gilt für das Fügen von Werkstoffen wie auch das Einbringen von Funktionselementen wie z. B. Einstanzmuttern gleichermaßen.

2. Stanz- und Nietmutternsysteme

2.1 Anwendungsspektrum und Vorteile von Einstanzmuttern

Einstanzmuttern sind Verbindungselemente, die in einem Arbeitsgang die Lochung stanzen und untrennbar mit dem Blechteil zusammengefügt werden.

Bedingt durch einen reinen Kaltumformprozess werden sämtliche Nachteile des thermischen Schweißprozesses eliminiert. Die Einstanzmutter ist daher die moderne Alternative zur herkömmlichen Schweißmutter und bietet eine qualitativ hochwertige, exakt definierte, zuverlässige und prozesssichere Verbindung zwischen Bauteil und Verbindungselement.

Hauptvorteile:

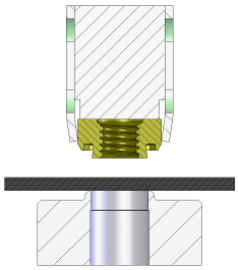
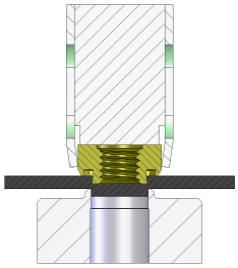
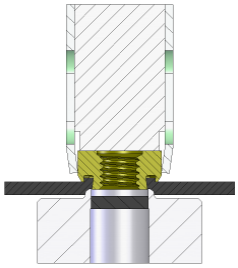
- bei integrierter Fertigung deutlicher Kostenvorteil
- keine Beschädigungen des Blechwerkstoffs durch thermischen Einfluss
- keine Schweißrückstände im Gewinde
- keine Beschädigung vorhandenen Oberflächen (z.B. Verzinkung)
- keine Entstehung von giftigen Gasen, die abgesaugt werden müssen
- geringere Prüf- und Kontrollkosten

- geringerer Energieverbrauch
- keine zusätzlichen Investitionskosten in Schweißstationen

Einsatzmöglichkeiten / Werkstoffe:

- blanke oder verzinkte / beschichtete Blechwerkstoffe bis 800 MPa von 0,6 bis 4,0 mm Blechdicke
- Aluminium von 0,6 bis 5,0 mm Blechdicke
- Kupfer von 0,6 bis 5,0 mm Blechdicke

Verarbeitungstechnik / konventioneller Funktionsablauf

Ausgangsposition: Die Einstanzmutter wird in den Klemmen des Stempels gehalten, das Blech liegt auf der Matrize.	
Pressenhub: Bei der Abwärtsbewegung stanzt der Stanzbund der Mutter das Loch in das Blechbauteil.	
Stanzvorgang: Der Stanzabfall fällt durch die Matrize und das Blech wird in die Einstanzmutter eingeprägt.	

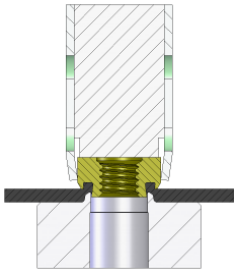
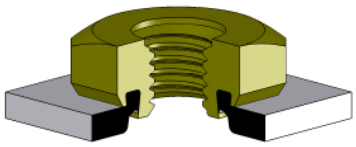
Clinchvorgang: Die Presse ist in UT, das Blech ist vollständig in den Hinterschnitt der Mutter eingeprägt.	
Arbeitsergebnis: Der in die Hinterschnitte der Mutter verpresste Blechwerkstoff erzeugt eine form- und reibschlüssige Verbindung.	

Abbildung 1: Konventioneller Funktionsablauf beim Setzen von Einstanzmuttern am Beispiel des HN-Einstanzmutternsystems

2.2 Anwendungsgrenzen für Einstanzmuttern bei Stählen hoher Festigkeit - HR Nietmutternsysteme als derzeitige Alternative

Das Einsatzgebiet von selbststanzenden Muttern endete bislang bei Blechfestigkeiten im Bereich von 800 - 850 MPa. Um eine prozesssichere Verarbeitung und Butzenabführung zu gewährleisten, sollte die Mutternfestigkeit ca. 300 MPa über der Festigkeit des Blechwerkstoffes liegen. Zudem ist es erforderlich, dass der Blechwerkstoff eine ausreichende Umformbarkeit aufweist, um in die Hinterschnitte der Mutter fließen zu können.

Bei den heute in der Automobilindustrie eingesetzten hochfesten Blechen mit Festigkeiten bis zu 1600 MPa stoßen Einstanzmuttern an ihre Grenzen. Werden hier Funktionselemente benötigt, musste bisher auf Schweißlösungen zurückgegriffen oder eine Nietmutter Abbildung 2, Abbildung 3) eingesetzt werden.

Nietmuttern sind Verbindungselemente die in ein im Blech vorhandenes Vorloch eingeführt werden. Durch Deformation des Nietkragens werden diese dann formschlüssig mit dem Blechteil verbunden.

Da die hochfesten Blechwerkstoffe häufig sehr schwer umformbar sind, wird das Drehmoment bei runden Nietmuttern praktisch ausschließlich durch Reibung übertragen. Dies kann zu Prozessschwankungen und Ausfällen führen.

Die HR Nietmutter von Arnold & Shinjo eliminiert dieses Problem durch die Verwendung

eines quadratischen Nietkragens. Durch den Formschluss wird das Drehmoment prozesssicher übertragen.

Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass mit nur einer Mutter alle Blechdicken von 0,4 - 2,5 mm und alle Blechwerkstoffe unabhängig vom Blechwerkstoff und der Blechfestigkeit verarbeitet werden können.

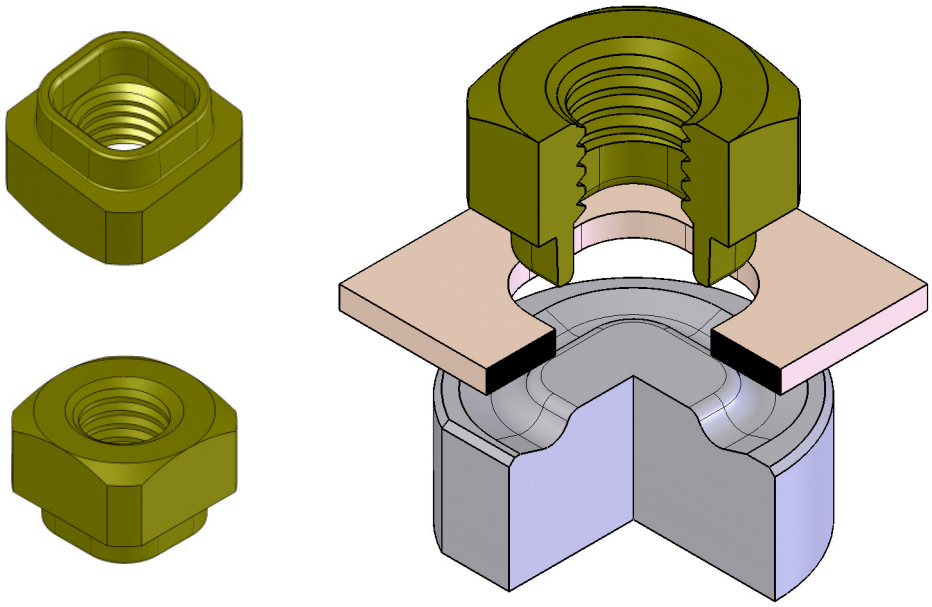


Abbildung 2: HR Nietmutter und Matrize im Ausgangszustand

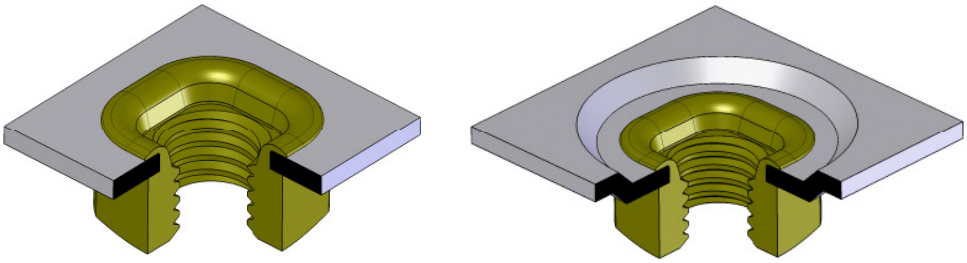


Abbildung 3: HR Nietmutter im gesetzten Zustand (links: im flachen Blech, rechts: mit Vorprägung für bündigen Anschluss

3. Stand der Forschung und Entwicklung beim Hochgeschwindigkeitsfügen

Die Auswahl vorlochfreier, mechanischer Fügeverfahren für den Einsatz bei Stählen mit sehr hohen Festigkeiten ist bisher begrenzt. Die mechanischen Fügeverfahren mit den größten Einsatzpozentialen basieren darauf, dass eines oder mehrere Blechteile von einem Hilfsfügeteil „durchstanzt“ werden. Eine Voraussetzung ist deshalb, dass die Hilfsfügeteile eine höhere Härte aufweisen als die zu durchstanzenden Bauteile, da sonst eine Schädigung des Hilfsfügeteils und fehlerhafte Verbindungen auftreten können. Die neuen, höchstfesten Werkstoffe weisen jedoch Festigkeiten und damit auch Härteeigenschaften auf, die denen der Hilfsfügeteile sehr nahe kommen oder diese in einigen Fällen sogar überschreiten. Einer Erhöhung der Härte der Hilfsfügeteile sind Grenzen gesetzt, weil damit i. d. R. eine erhöhte Sprödigkeit einhergeht. Diese kann sowohl im Setzprozess als auch unter Betriebsbelastung zu einer erhöhten Rissanfälligkeit führen.

Hinzu kommt das teilweise veränderte Werkstoffverhalten beim Durchstanzen der neuen Stahlwerkstoffe, welches ebenfalls zu unerwünschten Ergebnissen beim Einsatz mechanischer Fügeverfahren mit Schneidanteil führen kann.

Als Lösung für die genannten Probleme wird immer häufiger die Prozessdynamik beim mechanischen Fügen in den Fokus gestellt. Bereits seit einigen Jahren wird in verschiedenen Bereichen nach nutzbaren Effekten durch Erhöhung der Setzgeschwindigkeiten geforscht. Dabei spielen neben den dehnraten- und temperaturabhängigen plastischen Werkstoffeigenschaften in der Umformzone teilweise auch die Trägheitskräfte in der globalen Struktur eine wichtige Rolle. Als Beispiel hierfür sind Forschungsaktivitäten an nagelähnlichen Elementen für das direkte Verbinden von Bauteilen zu nennen. Diese zeigen, dass eine gegenüber den konventionellen Anwendungen (Setzgeschwindigkeit deutlich kleiner 1 m/s) erhöhte Setzgeschwindigkeiten beim mechanischen Fügen vorteilhaft sein können [DRE09; HAH06; DRA08; HAH08; HAH08b]. Weitere Beispiele für nutzbare Effekte durch Hochgeschwindigkeitsfügen beim Halbhohlstanznieten sind im EFB-Bericht Nr. 286 „Anwendungsuntersuchung zum Impulsfügen mit Halbhohlstanzniet“ [NEU08] vorgestellt. In der Literatur wird der Begriff „Hochgeschwindigkeitsfügen“ zur Bezeichnung von Verfahren in einem insgesamt sehr großen Setzgeschwindigkeitsbereich von etwa 5 m/s bis 100 m/s verwendet.

Die Charakteristik des jeweiligen Fügeverfahrens spielt für das Potenzial erhöhter Setzgeschwindigkeiten eine wichtige Rolle. Beispielsweise zeigen sich bei der Anwendung erhöhter Setzgeschwindigkeiten beim Halbhohlstanznieten Vorteile vor allem beim Fügen von Aluminiumbauteilen gegen ein flaches Gegenwerkzeug. Hingegen stellte sich das Halbhohlstanznieten von Stahlblechen mit Setzgeschwindigkeiten von ca. 10 m/s gegenüber konventionellen Geschwindigkeiten teilweise sogar als nachteilig hinsichtlich der Verbindungsausbildung heraus [NEU08]. Im Gegensatz dazu zeigen Untersuchungen zum Vollstanznieten mit erhöhten Setzgeschwindigkeiten ein sehr hohes Potenzial speziell für das Fügen von Mischverbindungen, bei denen eines der zu verbindenden Bauteile aus einem Stahlwerkstoff sehr hoher Festigkeit besteht. Der wesentliche Vorteil liegt dabei in verbesserten Ergebnissen beim Trennprozess, bei dem der Vollstanzniet die Bauteile durchstanzt [NEU10].

Aufgrund genannter Forschungsergebnisse wurde am Fraunhofer IWU der Schwerpunkt beim Hochgeschwindigkeitsfügen auf jene Verfahren gelegt, die einen hohen Schneidanteil aufweisen. Hierzu zählt auch das Setzen von Einstanzmuttern. Das Ziel der im Beitrag vorgestellten Forschungsaktivitäten zum Setzen von Einstanzmuttern mit erhöhter Geschwindigkeit besteht darin, vorhandene Prozessgrenzen – speziell im Bereich der Anwendung bei Stahlwerkstoffen mit sehr hohen Festigkeiten – zu erweitern.

4. Hochgeschwindigkeitsfügen mit Einstanzmuttern

4.1 Versuchsprogramm

4.1.1 Versuchsaufbau

Die verwendete Versuchseinrichtung ist in Abbildung 4 dargestellt. Es handelt sich um eine pneumatisch angetriebene Setzeinrichtung nach dem Kolbenprinzip, mit der Fügegeschwindigkeiten bis 15 m/s erreicht werden können. Der Antrieb besteht aus einem Schlagzylinder, an dessen Kolbenstange ein Schlaggewicht befestigt ist. Das Schlaggewicht trifft im Setzprozess auf den Stempel, der den Impuls an die Einstanzmutter überträgt. Die Werkzeuge sind zur Gewährleistung der Koaxialität von Stanzmutter und Matrize in einem 4-Säulen-Gestell geführt.

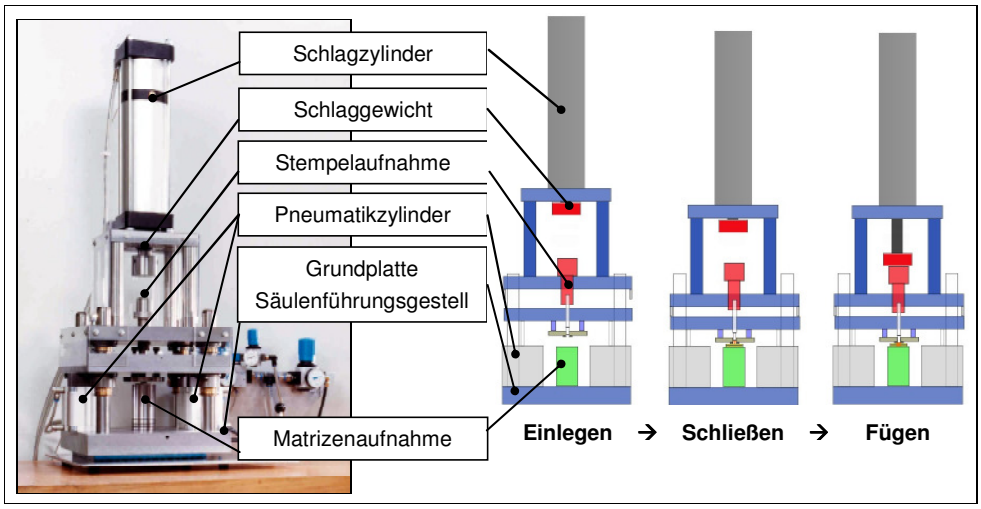


Abbildung 4: Versuchseinrichtung für das Hochgeschwindigkeitsfügen mit Einstanzmuttern

Zwei auf der Grundplatte befestigte Pneumatikzylinder heben und senken die darüber liegenden Aufbauten zum Einlegen und Entnehmen der Fügeteile. Eine Niederhalterkonstruktion ermöglicht mittels vorgespannter Federn das Klemmen der Bleche. Zur Einstellung der Pneumatikdrücke wird ein Präzisionsdruckreglersystem verwendet.

4.1.2 Untersuchte Blechwerkstoffe

Neben dem warmumgeformten 22MnB5-Werkstoff wurden die Werkstoffe MSW1200 und HC900X untersucht. Als Referenz für einen weicheren Stahlwerkstoff wurde DC04 verwendet. Die mechanischen Kennwerte der Werkstoffe sind in Tabelle 1 angegeben. Die Härtemessungen zeigen, dass die Härte der Einstanzmuttern die Werte der Stahlwerkstoffe teilweise deutlich unterschreitet.

Tabelle 1: Kennwerte der untersuchten Blechwerkstoffe und des Mutternwerkstoffes

Werkstoffbezeichnung	Blechdicke *s*	Zugfestigkeit R_m	Vickershärte
DC04	1,5 mm	322 MPa	93 HV5
HC900X	1,4 mm	1180 MPa	389 HV10
MSW1200	1,5 mm	1329 MPa	413 HV10
22MnB5	1,5 mm	1596 MPa	483 HV10
HN-Mutternwerkstoff Festigkeitsklasse 10	-	-	357 HV10

4.1.3 Einstanzmutternsystem PIAS® HN

Die Untersuchungen wurden auf der Basis des HN-Mutternsystems durchgeführt. Vor allem bei Anwendungen in Blechen, die besondere Anforderungen an mechanische Festigkeitswerte und Vibrationsfestigkeit stellen, spielen die neuen, robusten Verbindungselemente ihre Vorteile aus. PIAS®HN-Einstanzmuttern zeichnen sich durch einen besonderen Werkstoff und eine neuartige Geometrie des Stanzbundes aus. Sie sind in der Festigkeitsklasse 10 und in den Abmessungen M5 bis M10 standardmäßig lieferbar. Aufgrund der Rändelung am Stanzbund gewährleisten PIAS® HN-Einstanzmuttern eine stabile Verdrehsicherheit.

Die Geometrie der Muttern (z. B. Länge des Stanzbundes) wurde für die Untersuchungen an die jeweils verwendeten Blechdicken angepasst. Die Ausgangsgeometrie einer HN-Einstanzmutter mit Bezeichnung der einzelnen Funktionsbereiche der Mutter ist in Abbildung 5 dargestellt.

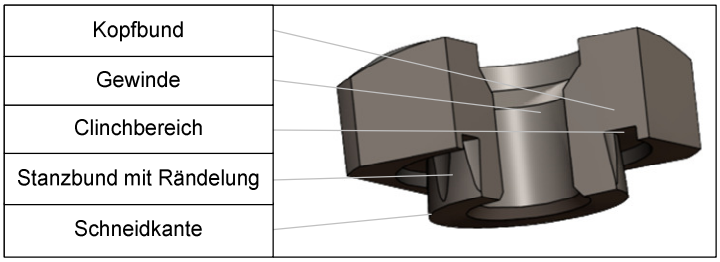


Abbildung 5: HN-Mutterntyp mit Bezeichnung der Funktionsbereiche

4.2 Versuchsergebnisse

4.2.1 Einfluss der Setzgeschwindigkeit auf das Stanzverhalten

Das Setzen von Einstanzmuttern beginnt mit dem Stanzvorgang, bei dem die Mutter unter Wirkung des Stanzbundes ein Loch in das Blech schneidet. Der Stanzbund kommt dabei nur einmalig als Schneidstempel zum Einsatz, sodass geringfügige Verformungen der Schneidkante infolge des Setzvorgangs unkritisch sind.

Dennoch sind der akzeptablen Verformung des Stanzbundes Grenzen gesetzt, weil durch stärkeres Aufstauchen auch eine Vergrößerung des Durchmessers der Scheidkante einhergeht. Der Schneidspalt wird dadurch verkleinert, was die Prozesssicherheit des Schneidvorgangs gefährden kann.

Weiterhin muss vermieden werden, dass es zu einer Verformung des Einstanzmuttergewindes kommt, welches im unteren Abschnitt der Mutter auf der inneren Mantelfläche des Stanzbundes liegt. Sehr hohe Schneidkräfte können dazu führen, dass die Verformungen bis in den Gewindebereich hineinreichen und dort die Gewindelehrenhaltigkeit beeinträchtigt wird.

Am Beispiel eines warmumgeformten 22MnB5-Blechwerkstoffes (s = 1,5 mm) wurde der Einfluss der Setzgeschwindigkeit auf die Stauchung der Einstanzmuttern untersucht. An einer elektro-mechanisch angetriebenen Presse wurden Einstanzmuttern der Größen HN5 und HN6 (Gewinde M5/M6) bis zum Abschluss des Stanzprozesses mit einer Geschwindigkeit von 5 mm/s in das Blech eingepresst. Der Achsvorschub der Presse wurde unmittelbar nach erfolgtem Schneidprozess gestoppt, um das Einprägen des Matrizenrings und eine Verformung der Schneidkantengeometrie am Blech zu vermeiden.

An der Hochgeschwindigkeits-Fügeanlage wurde gleichermaßen ein Setzdruck eingestellt, bei dem die Einstanzmutter die Bleche sicher durchschneidet, jedoch das Einprägen des Matrizenprägerings infolge überschüssiger Energie vermieden wird. Die Geschwindigkeit des Schlaggewichtes beträgt bei dieser Einstellung etwa 3,7 m/s.

Es wurde die Höhe der Einstanzmutter vor und nach dem Setzprozess gemessen, um die Stauchung zu bestimmen. Zudem wurde eine Prüfung auf Lehrenhaltigkeit des Gewindes der Einstanzmuttern nach dem Stanzprozess mit einem Gewindelehrdorn vorgenommen.

Das Diagramm in Abbildung 6 zeigt den ermittelten Zusammenhang zwischen der Aufstauchung der Einstanzmuttern und der angewendeten Setzgeschwindigkeit. Die mit erhöhter Geschwindigkeit gesetzten Einstanzmuttern zeigen gegenüber den quasistatisch gesetzten Muttern eine verringerte Aufstauchung. Die Prüfung der Gewinde an gesetzten Einstanzmuttern zeigte für beide Mutterntypen bei konventioneller Setzgeschwindigkeit einen Verlust der Lehrenhaltigkeit nach dem Durchstanzen des 22MnB5-Bleches. Bei erhöhter Setzgeschwindigkeit hingegen wird die Lehrenhaltigkeit für beide Mutterntypen erhalten. Die Versuchsergebnisse zeigen das Potenzial des Hochgeschwindigkeitsfügens zur Verringerung der Stanzbundstauchung beim Einsatz an Stahlblechen hoher Festigkeiten auf.

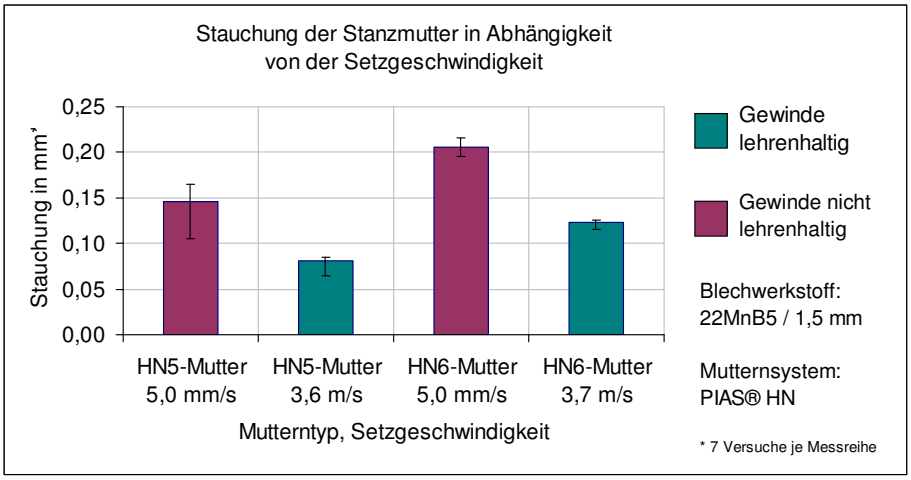


Abbildung 6: Einfluss der Setzgeschwindigkeit auf die Stauchung der Einstanzmutter am Beispiel eines 22MnB5-Bleches (s = 1,5 mm)

Die in Abbildung 7 dargestellten Schnittkanten der ausgestanzten Butzen zeigen unterschiedliche Verteilungen von Glattschnitt- und Bruchbereich. Es ist zu erkennen, dass der Glattschnittanteil bei erhöhter Setzgeschwindigkeit sinkt.

Die Schliffbildaufnahmen in Abbildung 7 zeigen die Schnittkanten der gelochten Bleche. Bei geringer Schneidgeschwindigkeit ist ein deutlich konischer Abrissbereich zu erkennen. Bei erhöhter Schneidgeschwindigkeit hingegen ist die Neigung zum konischen Abreißen des Butzens geringer. Die Auswirkung der beobachteten unterschiedlichen Ausprägungen der Schnittkanten auf die Verbindung zwischen Einstanzmutter und Blech werden im folgenden Abschnitt deutlich.

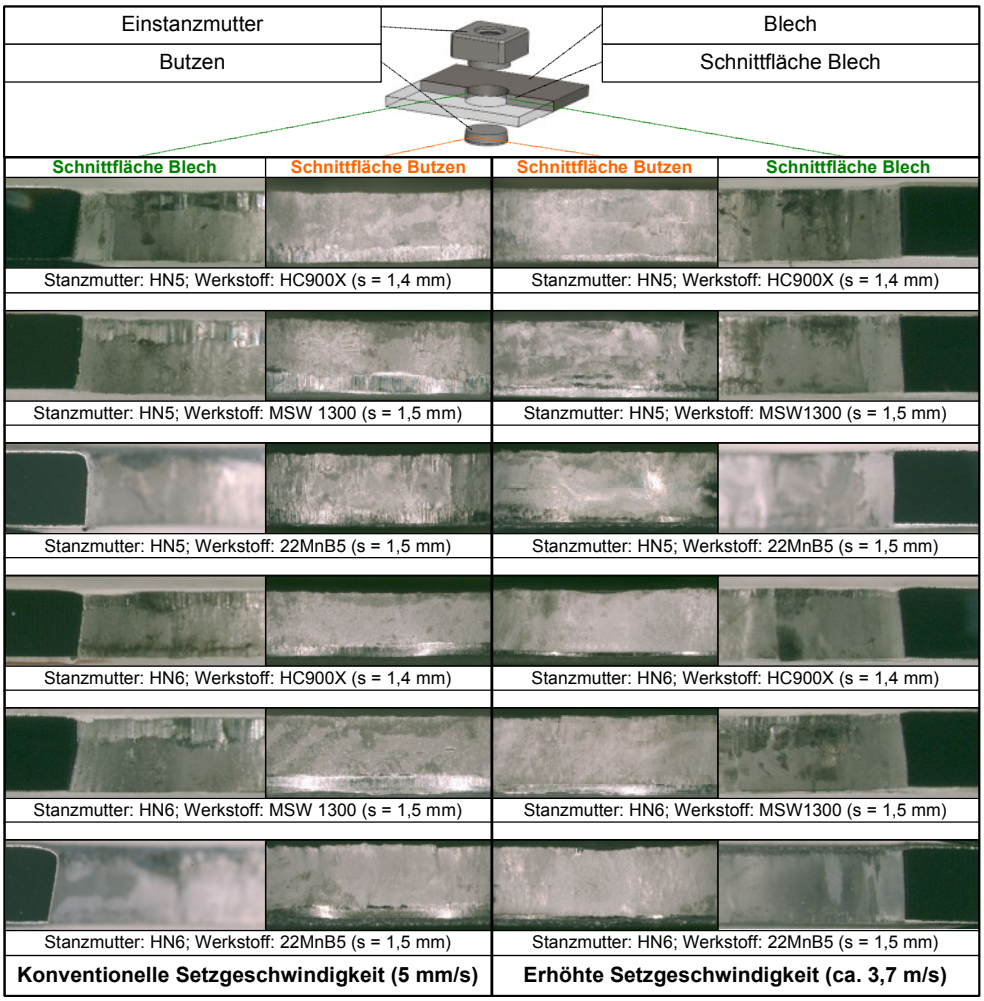


Abbildung 7: Schnittkanten der Bleche (Stanzvorgang durch HN-Mutter)

4.2.2 Anpassung der Einstanzmutterngeometrie

Die Verbindung zwischen Einstanzmutter und Blech muss Mindestanforderungen hinsichtlich des Verdrehwiderstands beim späteren Einschrauben eines Gewindeträgers sowie der Auszugsfestigkeit (entgegen der Setzrichtung) erfüllen. Deshalb wird nach erfolgtem Schneidprozess durch weitere Zustellung des Setzstempels unter Wirkung der Matrize der Blechwerkstoff in den sog. Clinchbereich der Einstanzmutter eingepresst. Der dabei entstehende Form- und Kraftschluss zwischen Mutter und Blech wird zusätzlich durch eine an der Mantelfläche des Stanzbundes eingebrachte Rändelung unterstützt.

Das Schliffbild in Abbildung 8 zeigt den Vergleich einer HN5-Einstanzmutter im gesetzten Zustand in zwei Bleche unterschiedlicher Festigkeit bei jeweils 50 kN Setzkraft. Während beim weichen Blech eine vollständige Ausfüllung des Clinchbereichs der Mutter erreicht wurde, zeigt der Querschliff beim hochfesten Material eine geringere Ausfüllung und zudem eine unerwünschte Verformung der Mutter im Bereich des Kopfbundes. Anhand dieses Beispiels wird die Einsatzgrenze für Einstanzmutternsysteme deutlich, bei denen der Clinchbereich auf Werkstoffe abgestimmt ist, deren Festigkeits- und Duktilitätseigenschaften eine ausreichende Ausfüllung der Elementkontur ermöglichen. Die Einsatzbarkeit reicht nach dem derzeitigen Stand der Technik für Werkstoffe bis zu einer Zugfestigkeit von etwa 850 MPa. Bei Blechen, welche diesen Festigkeitsbereich überschreiten, erfordert der Einsatz solcher Mutternsysteme eine genauere Prüfung je nach Anwendungsfall oder es werden alternative Mutternsysteme wie z. B. Nietmuttern eingesetzt. Das Ziel der Forschungsarbeiten liegt deshalb in der Entwicklung alternativer Einstanzmutterngeometrien, die für Blechwerkstoffe oberhalb der genannten Festigkeitsgrenze geeignet sind. Dabei sollen die bisher bewährten Festigkeitsklassen der Muttern beibehalten werden. Auch eine massive Erhöhung der Setzkräfte zum Erreichen einer stärkeren Umformung der Bleche muss vermieden werden, um die Standzeiten der Matrizen nicht zu beeinträchtigen.

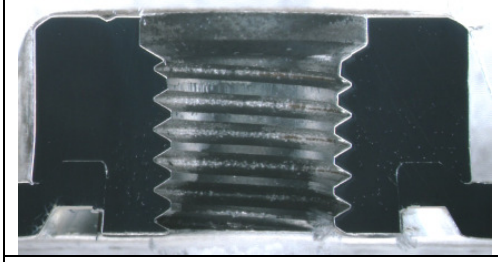
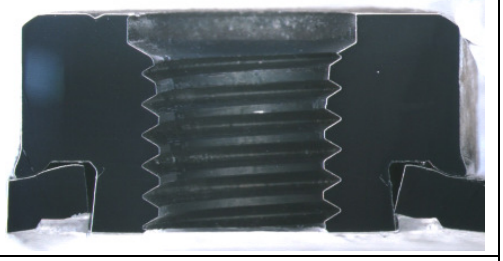
DC04 / 1,5 mm	**HC900X / 1,5 mm**
	
→ Clinchbereich der Einstanzmutter ausgefüllt	→ Clinchbereich nicht ausgefüllt → Verformung der Mutter am Kopfbund

Abbildung 8: Einstanzmutter-Blech-Verbindung, links: weicher Blechwerkstoff (DC04), rechts: Werkstoff mit hoher Festigkeit (HC900X), Setzkraft beider Verbindungen 50 kN

Wie das Schliffbild in Abbildung 8 (rechts) zeigt, treten bei hohen Festigkeiten des Stahlwerkstoffes unerwünschte Verformungen im Kopfbundbereich der Mutter auf, während das Blech nur partiell in den Clinchbereich der Mutter eingeformt werden kann. Dabei legt sich lediglich die untere Schnittkante des Bleches an den Stanzbund der Mutter an. Deshalb wurde der Clinchbereich der HN-Mutter durch spanende Bearbeitung entfernt. Auf diese Weise soll erreicht werden, dass die Abstützung des Bleches in axialer Richtung an der

Mutter direkt nach dem Stanzen erfolgt und unmittelbar nach dem Stanzvorgang ein radial nach innen gerichteter Werkstoffffluss im Blech zur Anlage der Blechkante an den Stanzbund erzeugt wird. Aufgrund des konisch gestalteten Stanzbundes und der eingebrachten Rändelung soll dabei eine Klemmwirkung des Bleches auf dem Stanzbund der Mutter erreicht werden.

Die Schliffbilder in Abbildung 9 zeigen die Fügeergebnisse von modifizierten Einstanzmuttern mit geradem Kopfbund. Dabei wurde eine niedrige Setzgeschwindigkeit von 5 mm/s angewendet. Es ist zu erkennen, dass die Anlagefläche zwischen Blech und Stanzbund der Mutter vergrößert werden konnte, jedoch im unteren Bereich des Stanzbundes ein Spalt auftritt. Die Ursache liegt im Schneidverhalten des Werkstoffs, welches bei geringen Schneidgeschwindigkeiten zu einer deutlich konischen Ausprägung der Lochwandung im Blech führt (s. Abschnitt 4.2.1).

Konventionelle Setzgeschwindigkeit (5 mm/s) → Konischer Abriss im Blech verschlechtert die Anlage des Bleches am unteren Stanzbund	

Abbildung 9: Einstanzmutter-Blech-Verbindung mit angepasster Mutterngeometrie (Kopfbund entfernt) bei niedriger Setzgeschwindigkeit (5 mm/s)

Der Querschliff in Abbildung 10 zeigt eine Verbindung, die mit einer erhöhten Setzgeschwindigkeit von 5,5 m/s gefügt worden ist. Der Abriss des Butzens erfolgt hierbei weniger konisch, sodass, gegenüber dem quasistatischen Setzen, kein Spalt zwischen Blech und unterem Stanzbund der Mutter entsteht.

Hochgeschwindigkeitsfügen (5,5 m/s) → Verbesserte Anlage des Bleches am Stanzbund durch verändertes Stanzverhalten bei hoher Setzgeschwindigkeit	

Abbildung 10: Einstanzmutter-Blech-Verbindung mit angepasster Mutterngeometrie (gerader Kopfbund) bei hoher Setzgeschwindigkeit

Um die Auswirkung der in den Schliffbildern dargestellten Unterschiede auf die Qualität der Mutter-Blech-Verbindung zu überprüfen, wurde eine entsprechende Prüfung durchgeführt. Ausgewertet wurde zum einen die Auszugskraft, die benötigt wird, um die gesetzte Mutter entgegen der Setzrichtung herauszuziehen. Zum anderen wurde das maximale Moment gemessen, welches die Mutter bei der Prüfung mittels Drehmomentschlüssel übertragen kann. Diese Größe ist relevant hinsichtlich der Belastung der Mutter-Blech-Verbindung, die später während des Einschraubvorgangs eines Gewindeträgers auftreten kann. Die Auswertung der erreichbaren Auszugsfestigkeiten und des Verdrehmoments der Mutter-Blech-Verbindung in Abbildung 11 zeigt, dass sich die im Schliffbild erkennbare Verbesserung des Formschlusses beim Hochgeschwindigkeitsfügen (*Abbildung 10*) positiv

auf die Verbindungsfestigkeiten auswirkt.

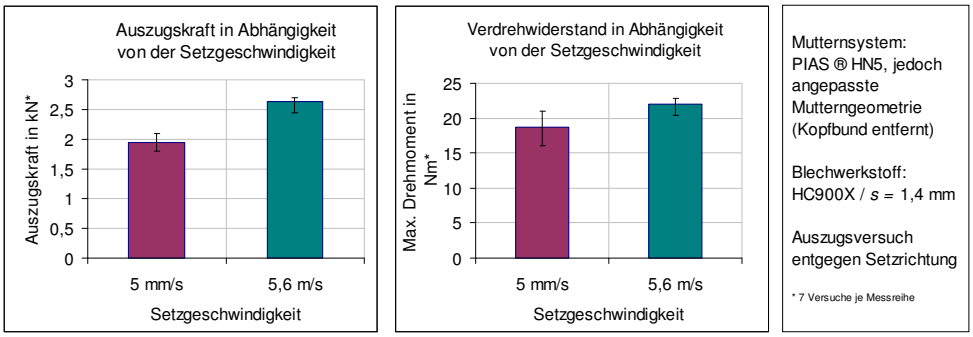


Abbildung 11: Einfluss der Setzgeschwindigkeit auf die Verbindungseigenschaften der Mutter-Blech-Verbindung

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellten Forschungsergebnisse zeigen das Potenzial des Hochgeschwindigkeitsfügens mit Einstanzmuttern für Anwendungen im Bereich von Stahlblechen hoher Werkstofffestigkeiten auf. Es wurde am Beispiel des 22MnB5-Blechwerkstoffes beim Hochgeschwindigkeitsfügen eine verringerte Aufstauchung der Einstanzmutter beim Durchstanzen der Bleche mit $v \approx 3{,}7$ m/s gegenüber dem konventionellen Setzprozess bei $v = 5$ mm/s beobachtet.

Die Untersuchungen zeigen weiterhin, dass bei Blechen hoher Festigkeit das Werkstoffvolumen, welches für die Herstellung eines Form- und Kraftschlusses unter Beibehaltung der Setzkräfte umgeformt werden kann, geringer ist als bei weichen Werkstoffen. Deshalb wurde der Clinchbereich an der Einstanzmutter in den vorgestellten Untersuchungen verkleinert.

Das Werkstoffverhalten von Stahlblechen hoher Festigkeit beim Stanzvorgang, bei dem die Einstanzmutter das Loch in das Blech einbringt, führt zu einer konischen Lochgeometrie. Durch das Hochgeschwindigkeitsfügen der Einstanzmuttern kann dieser Effekt verringert werden, sodass für die Herstellung der Mutter-Blech-Verbindung ein größeres Werkstoffvolumen zur Verfügung steht. Dieses Werkstoffvolumen vergrößert die Kontaktfläche zwischen Stanzbund der Mutter und Blech, was zu höheren Verdrehwiderständen und Auszugsfestigkeiten der Muttern führt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch die Kombination aus Geometrieanpassung der Mutter und Erhöhung der Setzgeschwindigkeit verbesserte Eigenschaften der Mutter-Blech-Verbindung beim Einsatz in Stahlblechen hoher Festigkeit erreicht werden können.

Gegenstand weiterer Forschungsarbeiten wird sein, eine weitere Abstimmung der Elementgeometrie auf die industrielle Anwendung vorzunehmen. Im Vordergrund steht dabei das Ziel, dass eine einzige Mutterngeometrie den Anforderungen verschiedener Fügeaufgaben hinsichtlich Blechdicke und Blechfestigkeit gerecht wird.

Beim Hochgeschwindigkeitsfügen treten gegenüber den konventionellen Fügegeschwindigkeiten veränderte, schlagartige Belastungen der Werkzeuge auf. Die Auswirkung dieser Belastung müssen im Rahmen von Standzeituntersuchungen untersucht werden.

Die Entwicklung eines alternativen Antriebssystems ist ebenfalls Gegenstand weiterer Entwicklungsarbeiten bei Arnold&Shinjo in Kooperation mit der PROMESS GmbH und dem Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU). Ziel ist dabei die Substitution der energieintensiven pneumatischen Antriebe, wie sie derzeit im Bereich der Hochgeschwindigkeitsfügetechnik überwiegend eingesetzt werden. Gemeinsam mit dem Partner Promess GmbH wird derzeit ein elektromechanischer Antrieb getestet.

6. Literaturverzeichnis

[DRA08] Draht, T.; Hußmann, D.; Meschut, G.: Hochgeschwindigkeits-Bolzensetzen RIVTAC - Mechanisches Fügen im Intermezzo der Werkstoffe. Intermezzo der Werkstoffe: Die Chance der Wahl für Konstrukteure und Planer, EFB-Kolloquium Blechverarbeitung, 28, in: Tagungsband, Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung Band 29, Hannover, 2008

[DRE09] Dreher, M.; Füssel, U.; Johne, V.; Amedick, J.; Wiethop, P.: Stanznageln – mechanisches Fügen hochfester Blechwerkstoffe. In: lightweightdesign 03/2009, Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009

[HAH06] Hahn, Ortwin ; Draht, Torsten: Entwicklung des Bolzensetzens für Blech-Profil-Verbindungen im Fahrzeugbau. LWF Schriftenreihe. Berichte aus dem Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik, 2006

[HAH08] Hahn, Ortwin; Poßberg, Stephan: Entwicklung des druckluftbetriebenen Bolzensetzens für den Einsatz im Karosserierohbau. LWF Schriftenreihe. Berichte aus dem Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik, 2008

[HAH08b] Hahn, Ortwin; Hußmann, Dominik: Weiterentwicklung des Bolzensetzens für innovative Fahrzeugkonzepte des automobilen Leichtbaus. LWF Schriftenreihe. Berichte aus dem Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik, 2008

[NEU08] Neugebauer, R. ; Kraus, C. ; Hahn, O. ; Leuschen, G. ; Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. -EFB- ; Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik -IWU-, Chemnitz ; Univ. Paderborn, Freundeskreis des Laboratoriums für Werkstoff- und Fügetechnik: Anwendungsuntersuchung zum Impulsfügen mit Halbhohlstanzniet. Hannover : EFB, 2008, 144 S. (EFB-Forschungsbericht, 286) (ISBN 978-3-86776-320-2)

[NEU10] EFB-Forschungsantrag vom 15.4.2010: „Hochgeschwindigkeitsfügen mit Vollstanzniet“, Aktenzeichen 02/110

Das diesem Beitrag zugrundeliegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzepts „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert (Förderkennzeichen 02PO2750) und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

BETREUT VOM

PTKA
Projektträger Karlsruhe
im Karlsruher Institut für Technologie

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung