

Höhere Festigkeit durch bessere Geometrie

Angepasster Nietkopf für höhere Festigkeiten beim Ultraschall-Nieten

Beim Ultraschallnieten plastifiziert eine Sonotrode durch gezieltes Umwandeln von Schallenergie in Wärme ein Kunststoffniet. Dieses wird niedergedrückt, verformt sich und verbindet dadurch die Fügepartner miteinander. Ein angepasster Nietkopf führt im Vergleich zu konventionellen Varianten zu höheren Festigkeiten, wie ein Forschungsprojekt herausfand.

Ziel des Forschungsprojektes „US-Nieten innovativ – Ultraschallnieten mit optimierter Kopfform“ am Kunststoff-Zentrum in Leipzig (KUZ) war es, eine neue und angepasste Nietkopfform für das Ultraschall- (US-) Nieten zu entwickeln. Die neue Kopfform soll im Vergleich zu konventionellen Versionen sehr hohe Festigkeiten und eine gute Kopfoptik aufweisen sowie für die gängigen Konstruktionskunststoffe im Projekt Polyamid (PA) und Polyphenylsulfid (PPS) einsetzbar sein.

Grundlage hierfür waren FEM-Berechnungen unter Berücksichtigung der in Abhängigkeit von der Kopfform beim US-Nieten auftretenden unterschiedlichen Kräfteverhältnisse und Erwärmungsmechanismen. Unter Zuhilfenahme der Simulationssoftware Siemens NX wurde der Einfluss der Nietkopfgeometrie auf die Festigkeit untersucht. Es zeigte sich, dass in der FEM-Simulation viele Randbedingungen vorliegen, welche die Nietkopfform beeinflussen. So erfolgten die Entwicklung, Konstruktion und der Bau von Sonotroden mit angepasster Nietkopfgeometrie für die Arbeitsfrequenzen von 20 und 40 kHz aus theoretischen Vorüberlegungen, hypothetischen Betrachtungen sowie Erkenntnissen aus der FEM-Simulation. Diese wurden im Anschluss experimentell untersucht.

Eine wesentliche Ursache für die beim Ultraschallnieten möglicherweise geringeren Kopffestigkeiten ist die nach einem Nietvorgang vorhandene schlech-

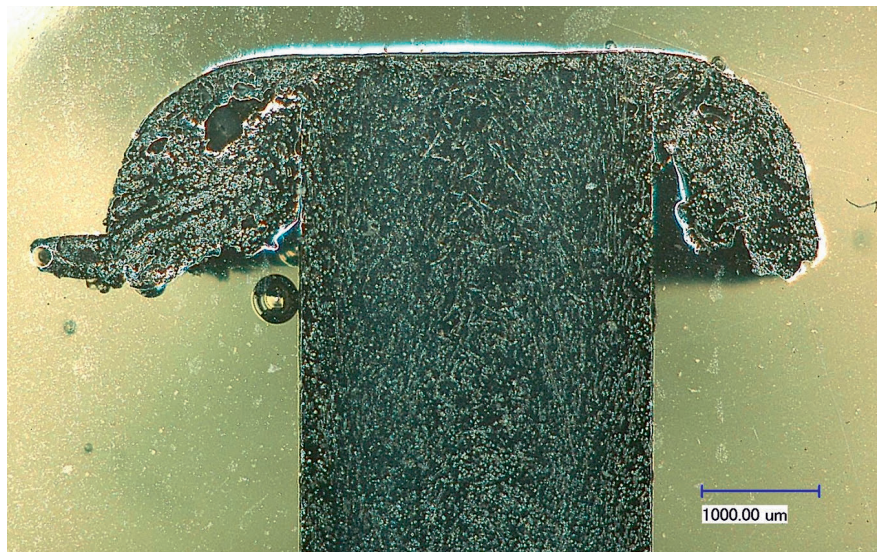


Bild 1. Schliffbild einer Nietverbindung aus PA 66-GF30 mit der geringen Anbindung des Materials im Nietkopf am Nietpin © KUZ

te Anbindung des geformten Kopfes an den Nietpin. Es ergibt sich eine nur geringe tragende Kopfhöhe, die die Festigkeit des gesamten Kopfes bestimmt. Außerdem entsteht eine starke Kerbwirkung, die bei einer Beanspruchung schneller versagt (**Bild 1**).

Durch eine veränderte Geometrie sollte die sich bildende Schmelzeschicht gezielt in die Nähe des Nietschaftes verlagert werden. Die Höhe der Schmelzeschicht bestimmt die Festigkeit und sollte daher gezielt vergrößert, Bindenähte zwischen umgelegtem Material und Nietschaft hingegen verhindert werden. Des Weiteren fanden Untersuchungen zur Beeinflussung der Schmelzeschichtdicke in

Abhängigkeit von Kopfform und Ultraschallfrequenz statt. Für die US-Nietversuche wurde ein repräsentatives Formteilpaar Metall-Kunststoff entwickelt. Für die Untersuchungen kam ein Nietteil aus Kunststoff mit Radius am Fußpunkt zum Einsatz, damit es durch die auftretende Kerbwirkung infolge der Ultraschallschwingungen oder eine Plastifizierung in diesem Bereich nicht reißt. Die Formteile wurden aus PA 66 ungefüllt, PA 66 GF30 und PPS GF40 spritzgegossen. Diese Formteilpaare wurden im weiteren Verlauf des Forschungsprojektes mit 20-kHz- sowie 40-kHz-US-Technik genietet. Die Untersuchungen erfolgten auf einer US-Fügeanlage (Typ: Branson 2000X »

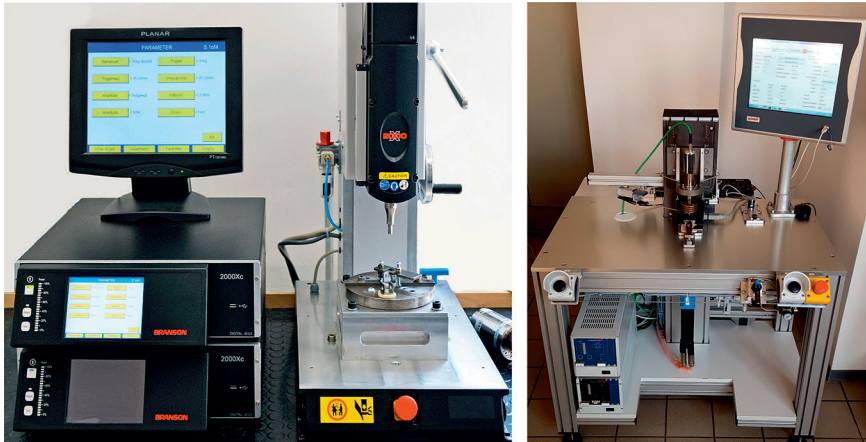


Bild 2. Die Ultraschall-Fügeanlage Branson links sowie die Kombimaschine am Versuchsstand rechts (© KUZ)

AEC-S, Hersteller: Emerson Electric Co., Saint Louis/Missouri/USA, sowie einem Versuchsstand des KUZ (**Bild 2**).

Dieser Versuchstand wurde auf das Verbindungsverfahren des US-Nietens ausgelegt. Der erforderliche geringe Fügedruck sowie die Präzision erfüllte ein spezielles Antriebs-Ambosskonzept. Des Weiteren ist es auf beiden Anlagen möglich, bei den Untersuchungen vom Polyphenylsulfid PPS GF40 die Sonotroden definiert zu temperieren. Für die experimentellen Versuche wurden die Fügeparameter Amplitude, Fügekraft sowie die Sonotrodentemperatur (nur bei PPS GF40) als die einflussreichsten Größen auf die mechanischen und optischen Eigenschaften der Nietverbindungen identifiziert. Diese Parameter wurden in den Versuchsreihen für die Nietformteile systematisch variiert, um den Bereich der geeigneten Fügeparameter zu finden. Zur Bewertung der Ergebnisse wurden an den genieteten Formteilkombinationen mechanische Prüfungen (Zugfestigkeit der Nietköpfe) und optische Prüfungen (Mikroskopie, Makroskopie, Computertomografie) durchgeführt.

Nieten mit einer „Glocke“

Bei konventionellen Kopfformen, wie beispielsweise nach DVS Form B, ergibt sich eine nur sehr geringe tragende Kopfhöhe, die die Festigkeit des gesamten Kopfes bestimmt. Durch die gezielte Geometrieänderung der Kopfform soll eine höhere Anbindung bewirkt werden. Dabei verlagert sich die bildende Schmelze beim Nietvorgang überwiegend in den Bereich des Nietschaftes. Die angepassten Nietkopfgeometrien ähneln dabei

einer Glockenform (**Bild 3**). In der Sonotrodenkavität findet eine höhere Kraftwirkung auf die Schmelze statt, welche mehr in Richtung Nietpin gelenkt wird, um einen Stoffschluss zu erzeugen.

Durch den US-Nietprozess wird das Material der Formteile im Nietstift aufgeschmolzen und zu einem Nietkopf umgeformt. Im Idealfall ergibt sich eine homogene Verbindung zwischen umgeformtem Material und Nietstift. Um dies zu prüfen, wurden Schlibfbilder sowie computertomografische Aufnahmen angefertigt. Für die Schlibfbilder wurden die Formteile längs in Nietstiftichtung geschliffen und anschließend mikroskopisch untersucht.

Wie in **Bild 4** beispielhaft zu sehen, zeigten die Nietversuche mit angepassten Kopfformen, dass sich das Material besser an den Pin anlegt, welches im Vergleich zu konventionellen Nietköpfen zu höheren Festigkeiten führt. Über die FEM-Analyse war zu sehen, dass die verbesserten Nietkopf- und Folgegeometrien zu weniger Bindenähten führten. Es ist zu sehen, dass sich im Bereich des umgelegten Materials eine relativ homogene Nietverbindung gebildet hat. Mit den entwickelten Nietkopfgeometrien und verbesserten Fügeparametern wurden Ergebnisse erzielt, welche im Vergleich zu Standardnietköpfen die Bruchkraft steigerten.

Ein Vergleich zwischen den eingesetzten US-Betriebsfrequenzen 20 und 40 kHz ergab, dass bei PPS GF40 und PA 66 GF30 bessere Ergebnisse mit 40 kHz erzielbar sind. Eine Erklärung hierfür liegt in einer höheren Dissipation des Ultraschalls in Kavitätsnähe und damit verbessertes Aufschmelzen im Nietpin.

„Heiße Glocke“ für Hochleistungskunststoffe

Zudem konnte der positive Einfluss der temperierten Sonotrode in Kombination mit angepassten Nietkopfgeometrien auf die optischen und mechanischen Ergebnisse für den Hochleistungskunststoff PPS GF40 nachgewiesen werden. Durch die temperierte Sonotrode verringerte sich die Wärmeableitung aus der Schmelze in die Sonotrode. Dies führte zu einem homogeneren Aufschmelzen und plastifiziert das Material deutlich besser. Dadurch wurden optisch ansprechendere Nietverbindungen und Bruchkräfte erzielt, die ca. 80 % der Grundbruchkraft (Mittelwert Serie ungenieteter Formteile) entsprechen (**Bild 5**).

Durch die Nutzung der temperierten Sonotrode bei PPS GF40 konnten die Amplituden reduziert werden. Dadurch wurde die Schwingung während des Fügeprozesses für dieses Material deutlich reduziert. Aufgrund der niedrigeren Amplituden sowie der temperierten Sonotroden resultierten längere Niet- und Haltezeiten. Des Weiteren war durch die erwärmten Sonotroden eine bessere Nachkristallisation bei PPS GF40 zu beobachten sowie geometrieübergreifend eine optisch ansprechendere Kopfausbildung zu verzeichnen.

Geringe Bindenähte – höhere Festigkeit

Die Untersuchungen zielten darauf ab, das Umformverhalten des plastifizierten Materials im Nietkopf bzw. die Anbindung zum Nietpin zu analysieren. Eine wesentliche Ursache für geringere Kopffestigkeiten ist die nach einem Nietvorgang vorhandene schlechtere Anbindung des geformten Kopfes an den Nietpin. Es zeigte sich eine konstruktiv bedingte Abhängigkeit von der gewählten Kopfform. Außerdem bestimmen der Grad der Anbindung der Schmelze an den Nietpin, die geometrische Lage der Schmelzeschicht (möglichst in Pinnähe) und vor allem die sich ergebende tragende Kopfhöhe die erreichbaren Kopffestigkeiten beim Ultraschallnieten.

Ziel des Projekts war es, die sich bildende Schmelze beim Nietvorgang überwiegend in den Bereich des Nietpins zu verlagern, um dadurch eine höhere Anbindung zu bewirken. Dies sollte durch eine gezielte Geometrieänderung der



Bild 3. Variation verschiedener getesteter Nietkopfgeometrien im Projekt (von links nach rechts Form1 bis 4) (© KUZ)

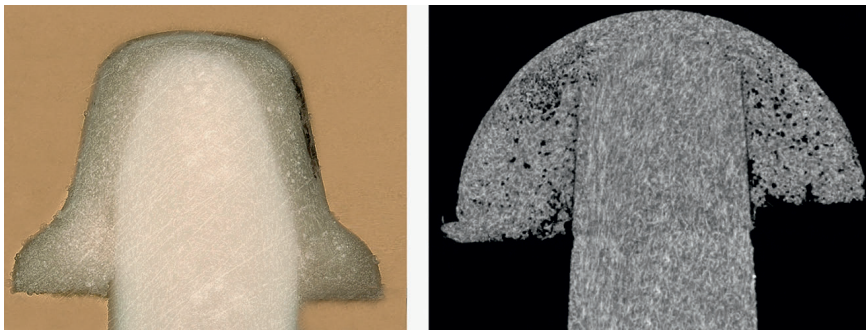


Bild 4. Bei der neu entwickelten Nietkopfform (Schliffbild Form 3, links) passt sich das Material im Vergleich zu einer konventionellen Nietkopfform (CT-Aufnahme Standardkopf, rechts) besser an den Pin an (© KUZ)

Kopfform und damit verbundener geänderter Kraftwirkung auf die Schmelze erzielt werden.

Die experimentellen Versuche bestätigten die These, dass aufgrund der Verbesserung hin zur Glockenform geringere Bindenähte und eine größere festigkeitsbestimmende Schmelzeschicht entstehen. Die Nietversuche zeigten, dass sich das Material besser an den Nietpin anlegt und im Vergleich zu konventionellen Nietköpfen zu höheren Festigkeiten führt. Die erzielten Ergebnisse zum Ultraschallnieten mit angepasster Nietkopf-

gestaltung bestätigen somit materialübergreifend das hohe Potenzial der neuen Geometrien.

Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde ein Kurzzeit-Fügefaktor fKF der Nietverbindungen bestimmt. Dieser Faktor wird analog zum Kurzzeit-Schweißfaktor nach DVS 2203 ermittelt. Durch ultraschallgerechte Gestaltung konnte in Bezug auf den Fügefaktor eine Steigerung von 15 (PA 66) bis zu 30 % (PPS GF40) gegenüber konventionellen Kopfformen wie zum Beispiel nach DVS Form B erzielt werden. ■

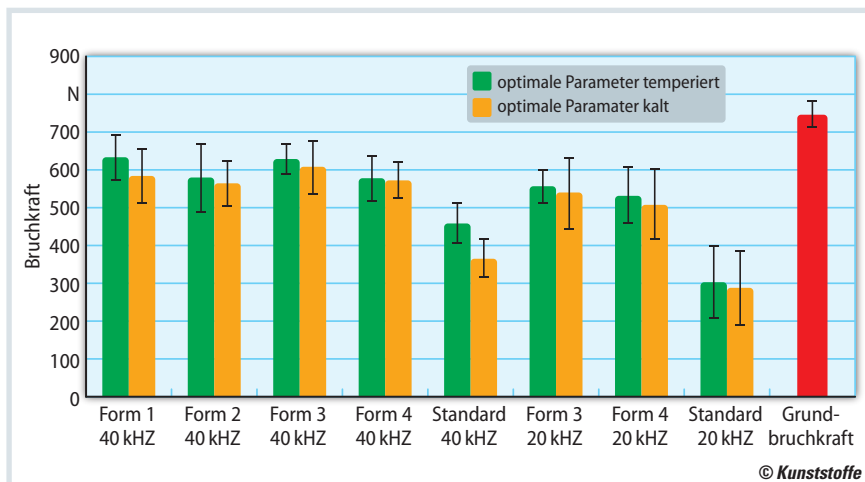


Bild 5. Die gemessene Bruchkraft der Nietköpfe aus PPS GF40. Durch die angepasste Nietkopfform konnte die Bruchkraft um etwa 30 % gesteigert werden (© KUZ)

Dank

Das Forschungsprojekt „US-Nieten innovativ – Ultraschallnieten mit optimierter Kopfform“ wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert.

Der Autor

Tino Jahnke ist seit 2011 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Verbindungstechnik, Abteilung Serienschweißen von Kunststoffen, im Kunststoff-Zentrum in Leipzig tätig; jahnke@kuz-leipzig.de

Service

Digitalversion

Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2019-09