
Mechanisches Fügen spröder Werkstoffe – Hochfeste Al-Legierungen und Magnesium

Mathias Jäckel, Christian Kraus

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

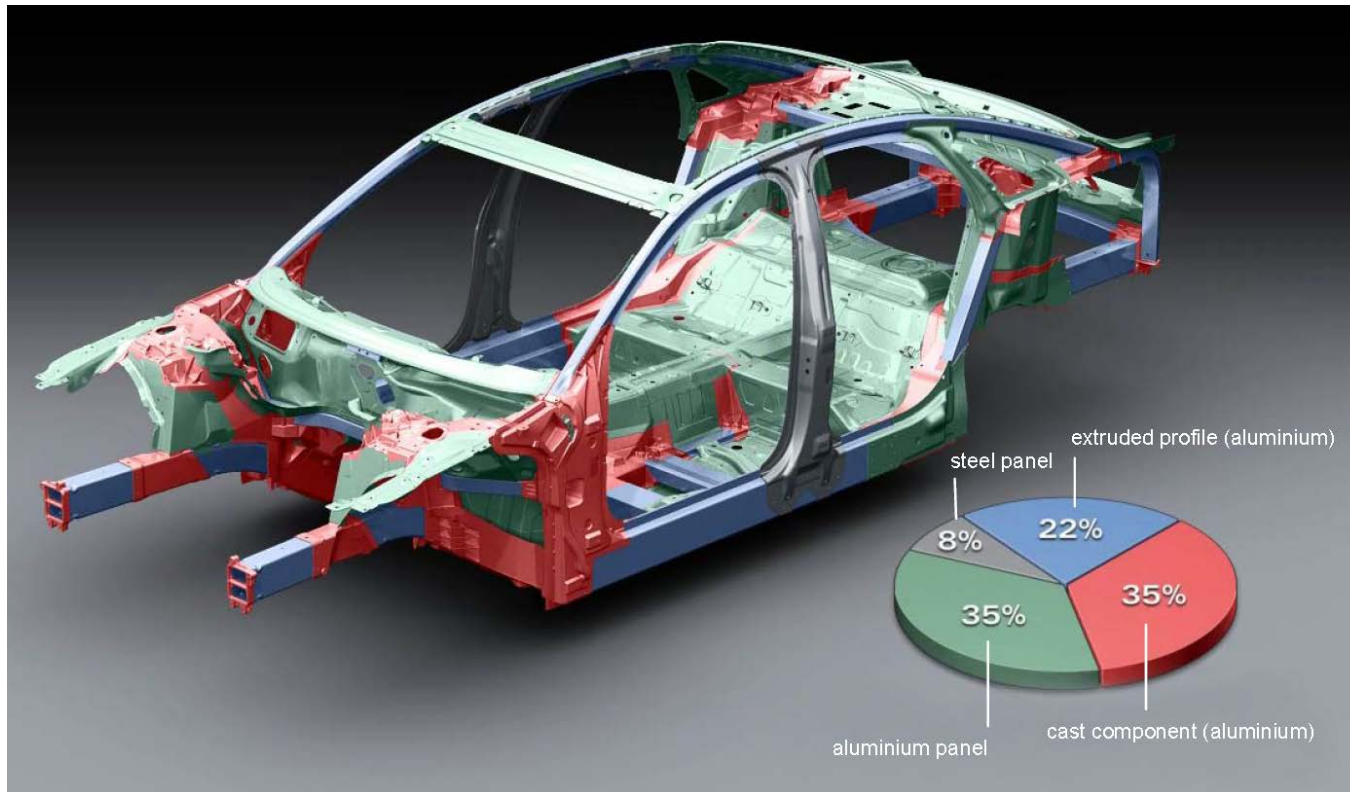
4. VDI-Fachkonferenz
Fügen im Automobilbau
27. und 28. Januar 2015 in Eisenach

Agenda

1. Einleitung
2. Serielles Halbhohlstanzen von naturhartem Aluminiumdruckguss
3. Vollstanzen hochfester Aluminiumlegierungen
4. Thermisch unterstütztes Clinchen von Magnesium

Automobiler Leichtbau

Audi Space Frame



Audi Space Frame des Audi A8 [Audi AG]

- Beispiel: Mischbau mit sprödem Aluminiumdruckguss
- Steigende Anforderungen an die mechanische Fügetechnik

Agenda

1. Einleitung

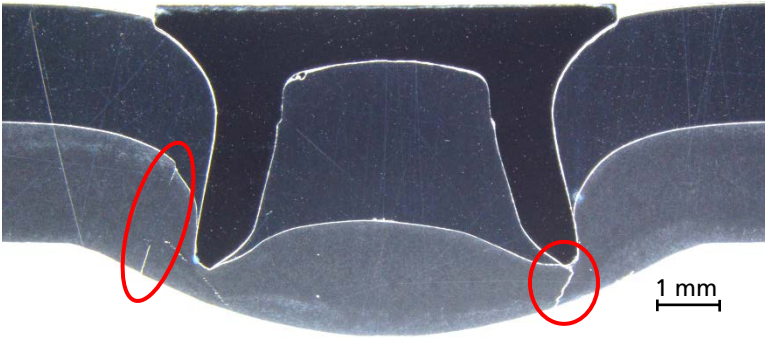
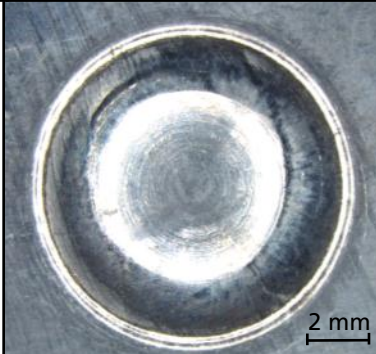
2. Serielles Halbhohlstanzen von naturhartem Aluminiumdruckguss

3. Vollstanzen hochfester Aluminiumlegierungen

4. Thermisch unterstütztes Clinchen von Magnesium

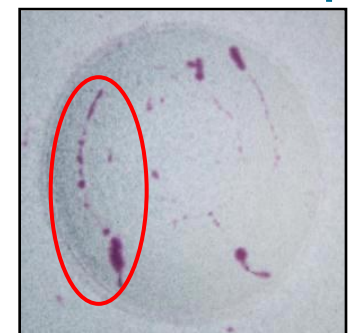
Konv. Halbhohlstanznieten naturharter Al-Druckguss

Fügepunktanalyse

Verfahrensparameter		Schliffbild				Schließkopf			
Stempels. Fügeteil:		Dicke:							
EN AW-6016 T4		2,0 mm							
Matrizens. Fügeteil:		Dicke:							
AlSi9Mn F		2,0 mm							
Niet:		C Ø5,3 x 5,0 H4 (SK)							
Matrize:		KM Ø10 x 1,3		Werte Fügeergebnis					
Setzkraft:		65 kN							
Fügesystem:		Promess 300							
Klebstoff:		-		Hinterschnitt $u_{1,2}$:	0,04 mm	Bodendicke t_r :	0,58 mm	Fußdurchm. d_f :	6,5 mm

Schliffbild und Prozessparameter der seriellen Halbhohlstanznietverbindung

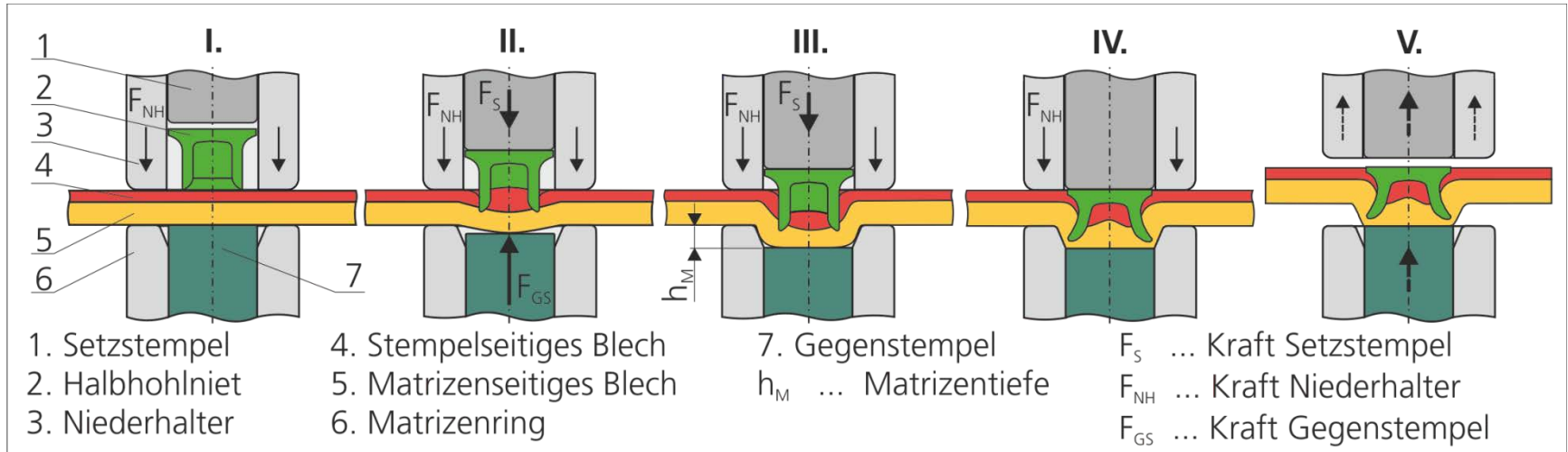
- Geringer Hinterschnitt
- Teilweise **Rissbildung** im matrizen seitigen Fügeteil erkennbar



Farbeindringtest

Seriellles Halbhohlstanznieten

Verfahrensablauf mit kraftgeregeltem Gegenstempel



Verfahrensprinzip seriellles Halbhohlstanznieten mit kraftgeregeltem Gegenstempel

Merkmale:

- Erzeugung von zusätzlichen Druckspannungen in der Fügezone

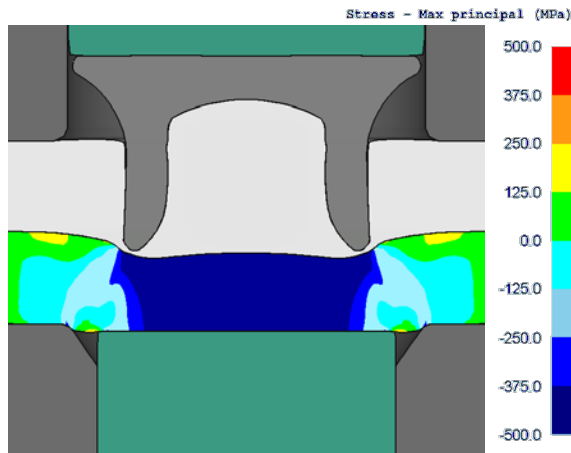
Ziel:

- Bei spröden Halbzeugen Druckspannungsüberlagerung, um Rissneigung zu verringern

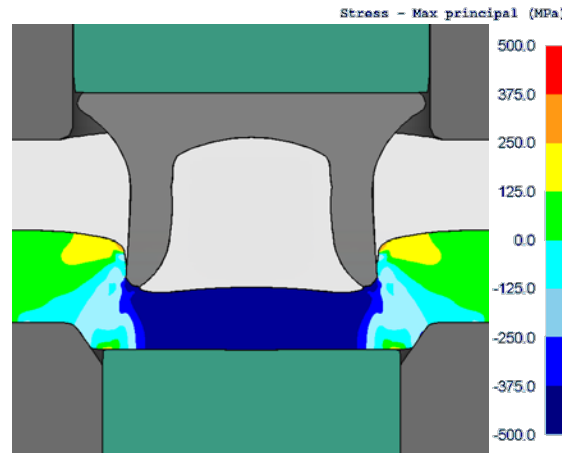
Seriellles Halbhohlstanznieten naturharter Al-Druckguss

Numerische Prozessentwicklung

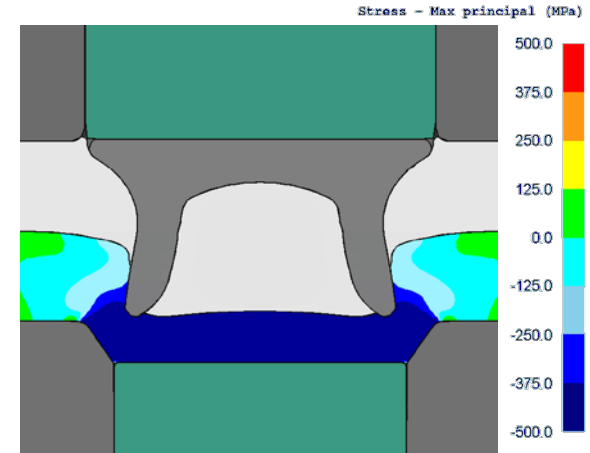
Ebene Matrize
bis $s_n = 2,5$ mm



Kraftgesteuertes Verfahren
des Gegenstempels



Erreichen der
Nietkopfendlage

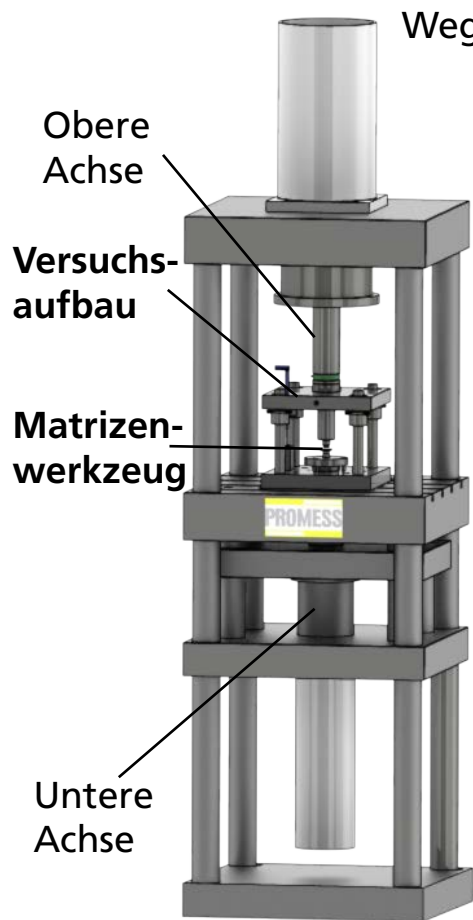


Ergebnis der numerischen Prozessentwicklung für das kraftgesteuerte serielle Halbhohlstanznieten in unterschiedlichen Prozessstufen

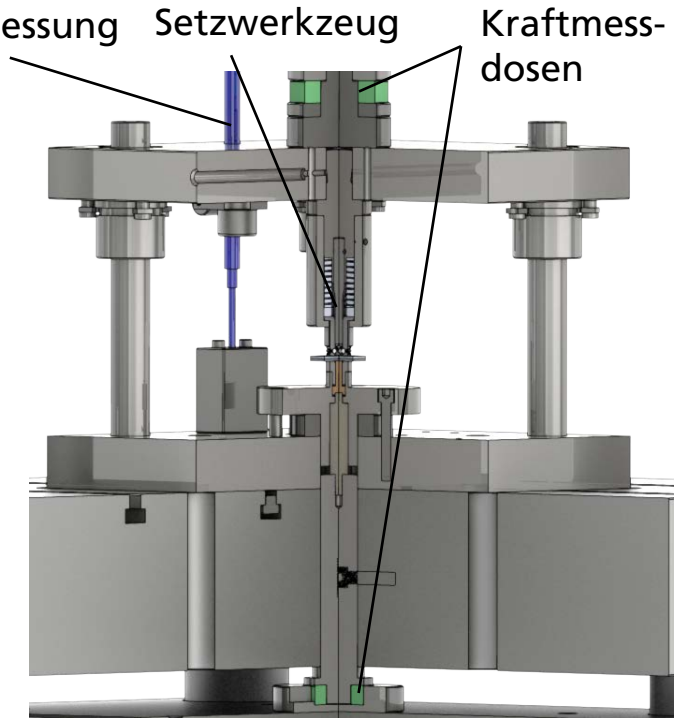
- **Ziel:** bestmögliche Druckspannungsüberlagerung der Umformzone bei gleichzeitigem Erreichen ausreichender Werte für Hinterschnitt und Bodendicke
- **Ergebnis:** bei erarbeitetem Matrizendesign und der Verwendung einer Gegenkraft von $F_{GS} = 25$ kN wird der gesamte Schließkopf durchgängig durch den Fügeprozess mit Druckspannungen überlagert

Seriell Halbholstanznieten naturharter Al-Druckguss

Versuchseinrichtung

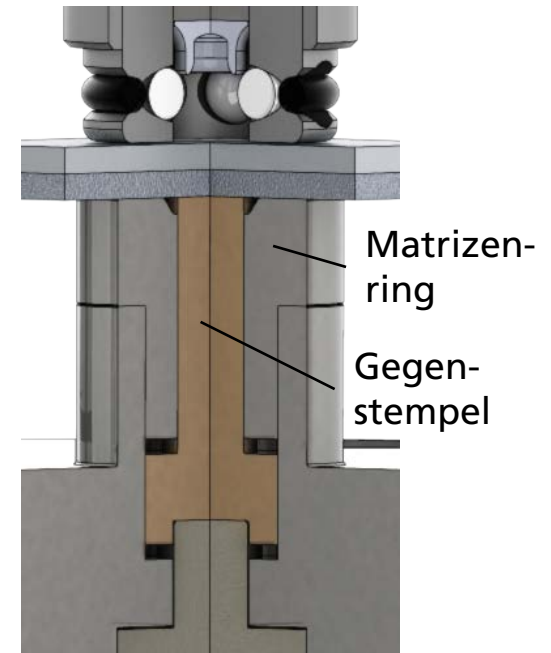


Versuchseinrichtung an Servospindelpresse



Versuchsaufbau mit Säulenführungsgestell

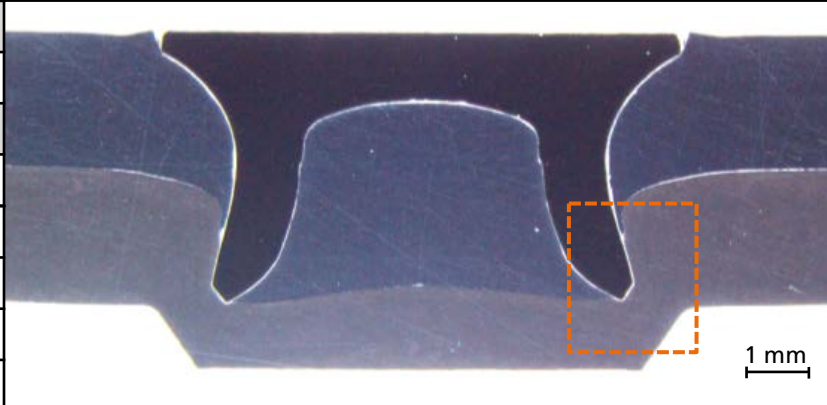
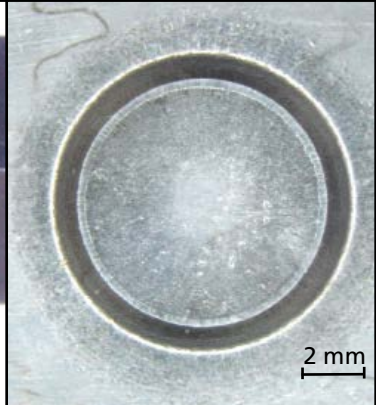
- Versuchsstand an elektromechanischer Servospindelpresse mit 2 Achsen
- Kraft- und Wegsteuerung beider Achsen gleichzeitig möglich



Matrizenwerkzeug

Serieller Halbhohlstanzenieten naturharter Al-Druckguss

Fügapunktanalyse

Verfahrensparameter		Schliffbild				Schließkopf	
Stempels. Fügeteil:	Dicke:						
EN AW-6016 T4	2,0 mm						
Matrizens. Fügeteil:	Dicke:						
AlSi9Mn F	2,0 mm						
Niet:	C Ø5,3 x 4,5 H4 (SK)						
Matrize:	SM Ø8 x 1,0						
Setzkraft:	60 kN						
Gegenkraft:	25 kN						
Fügesystem:	Promess 300	Werte Fügeergebnis					
Klebstoff:	-	Hinterschnitt $u_{1,2}$:	0,16 mm	Bodendicke t_r :	0,98 mm	Fußdurchm. d_f :	6,3 mm

Schliffbild und Prozessparameter der seriellen Halbhohlstanzenietverbindung

- Ausreichender Hinterschnitt
- Es konnte keine Rissbildung im Schließkopf festgestellt werden

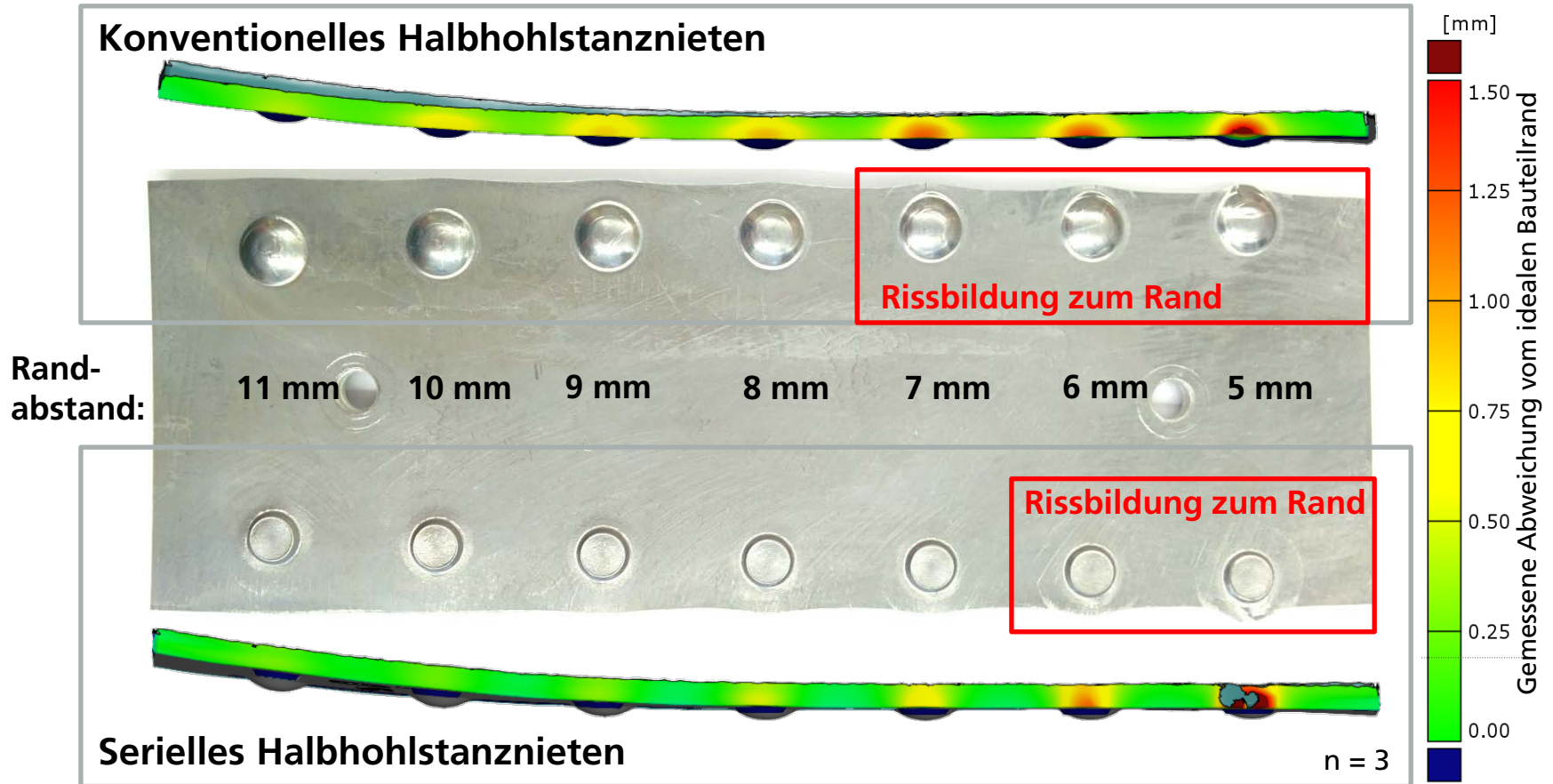


Farbeindringtest

Geätzt

Seriellles Halbhohlstanznieten naturharter Al-Druckguss

Bauteildeformation – Vergleich Randabstandsanalyse



Vergleich der durch das konventionelle und serielle Halbhohlstanznieten verursachten Deformation am Bauteilrand bei unterschiedlichen Abständen zwischen Bauteilrand und Fügepunkt

Agenda

1. Einleitung

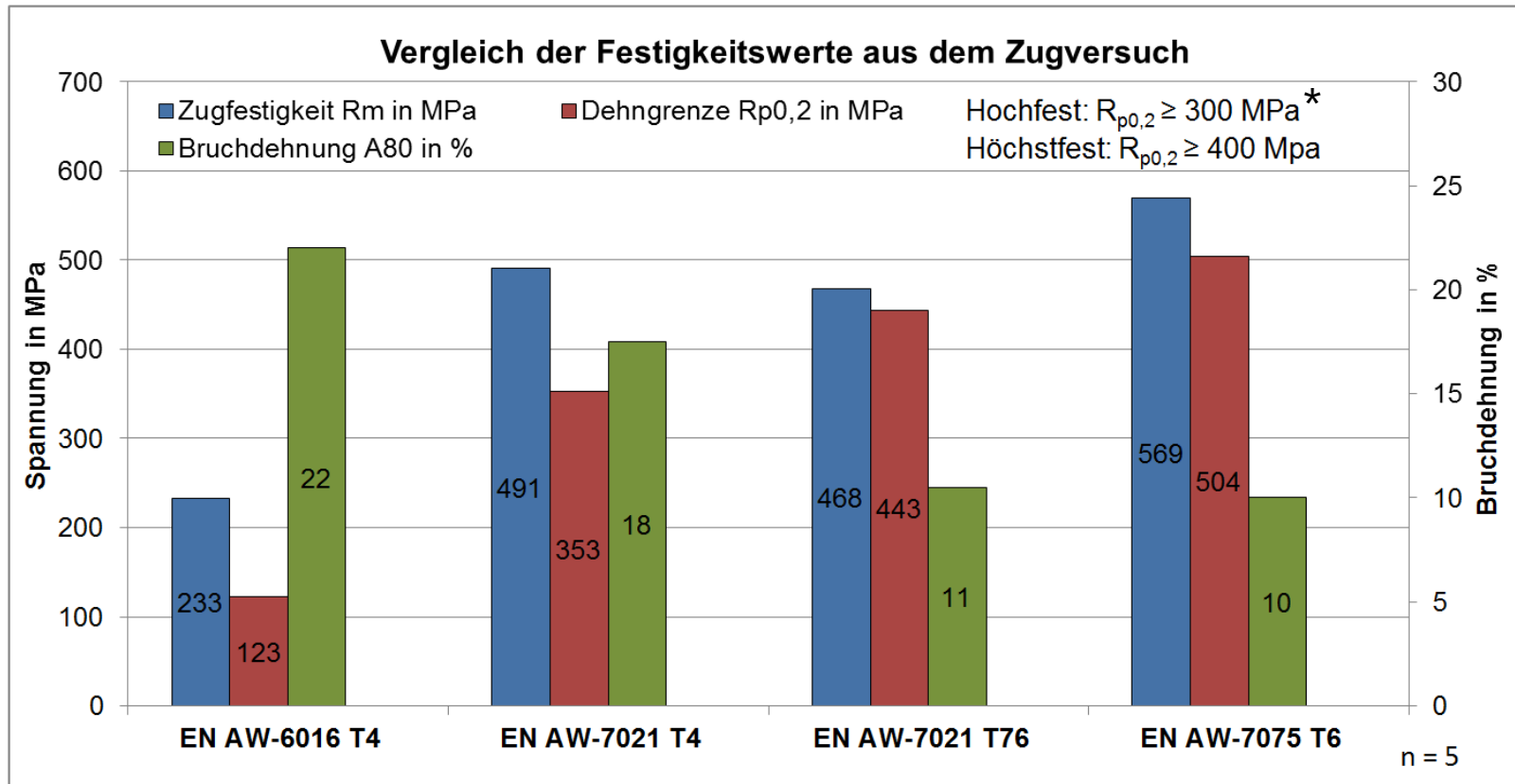
2. Serielles Halbhohlstanznieten von naturhartem Aluminiumdruckguss

3. Vollstanznieten hochfester Aluminiumlegierungen

4. Thermisch unterstütztes Clinchen von Magnesium

Hoch- und höchstfeste Aluminiumlegierungen

Mechanische Eigenschaften



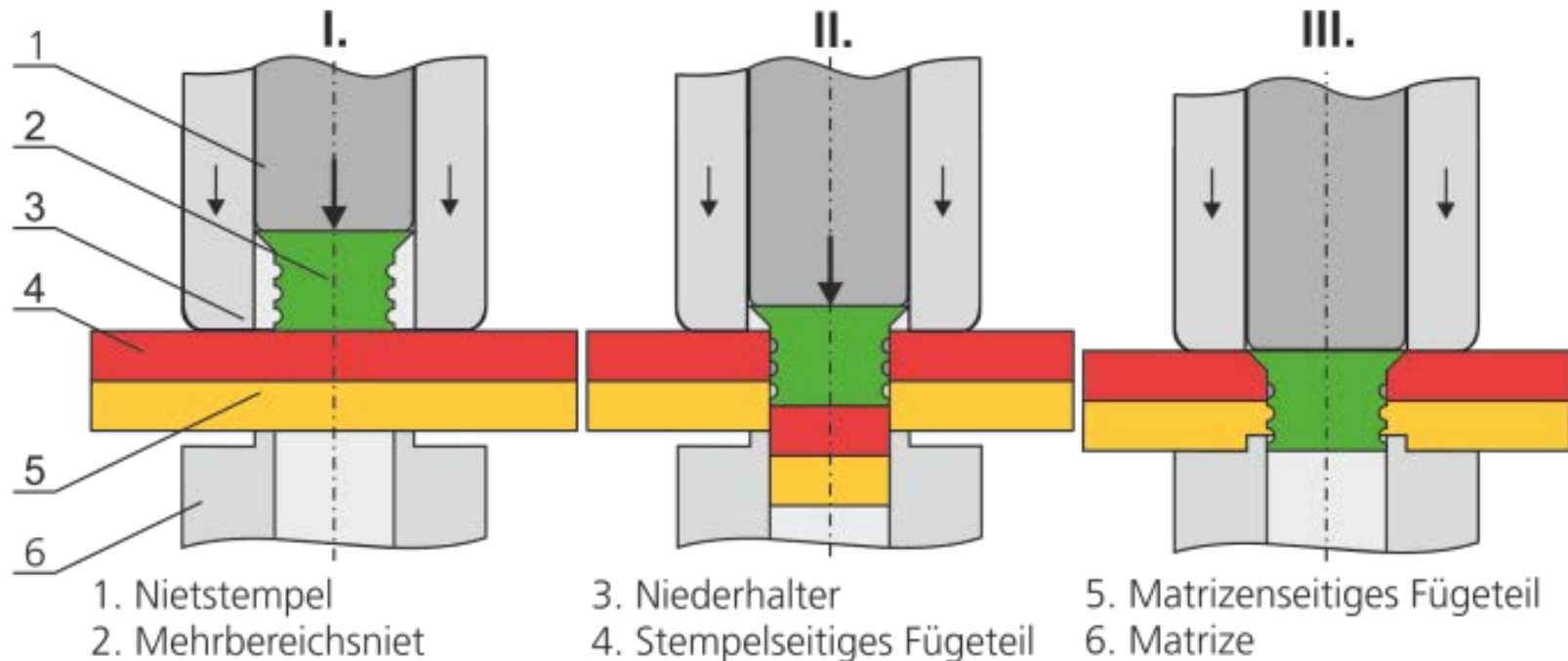
Festigkeitseigenschaften unterschiedlicher Aluminiumlegierungen

- Abnehmende Duktilität bei zunehmender Festigkeit

* Quelle: European Aluminum Association

Vollstanznieten

Verfahrensablauf

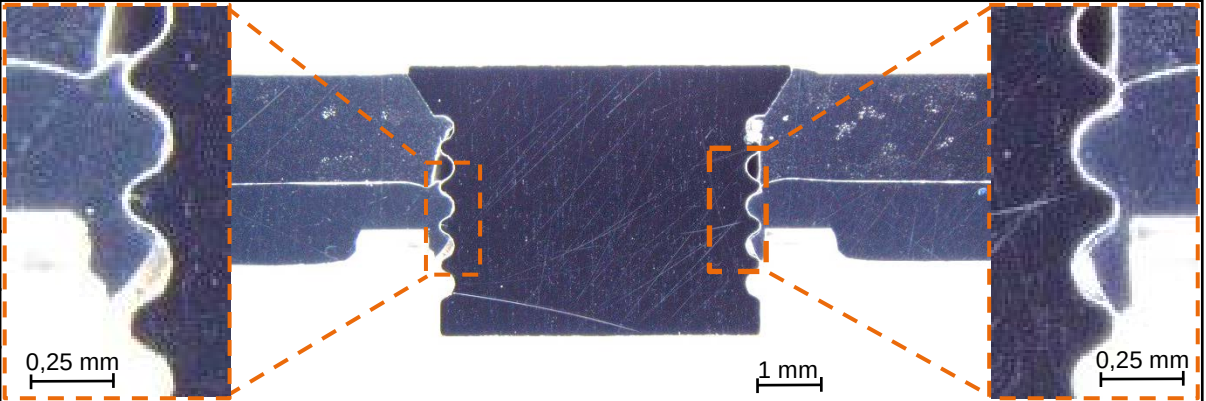


Schematische Darstellung Verfahrensprinzip Vollstanznieten

- Keine Störkontur
- Unterschiedliche Materialdickenkombinationen mit einem Niet möglich

Vollstanznieten hochfester Aluminiumlegierungen

Fügapunktanalyse

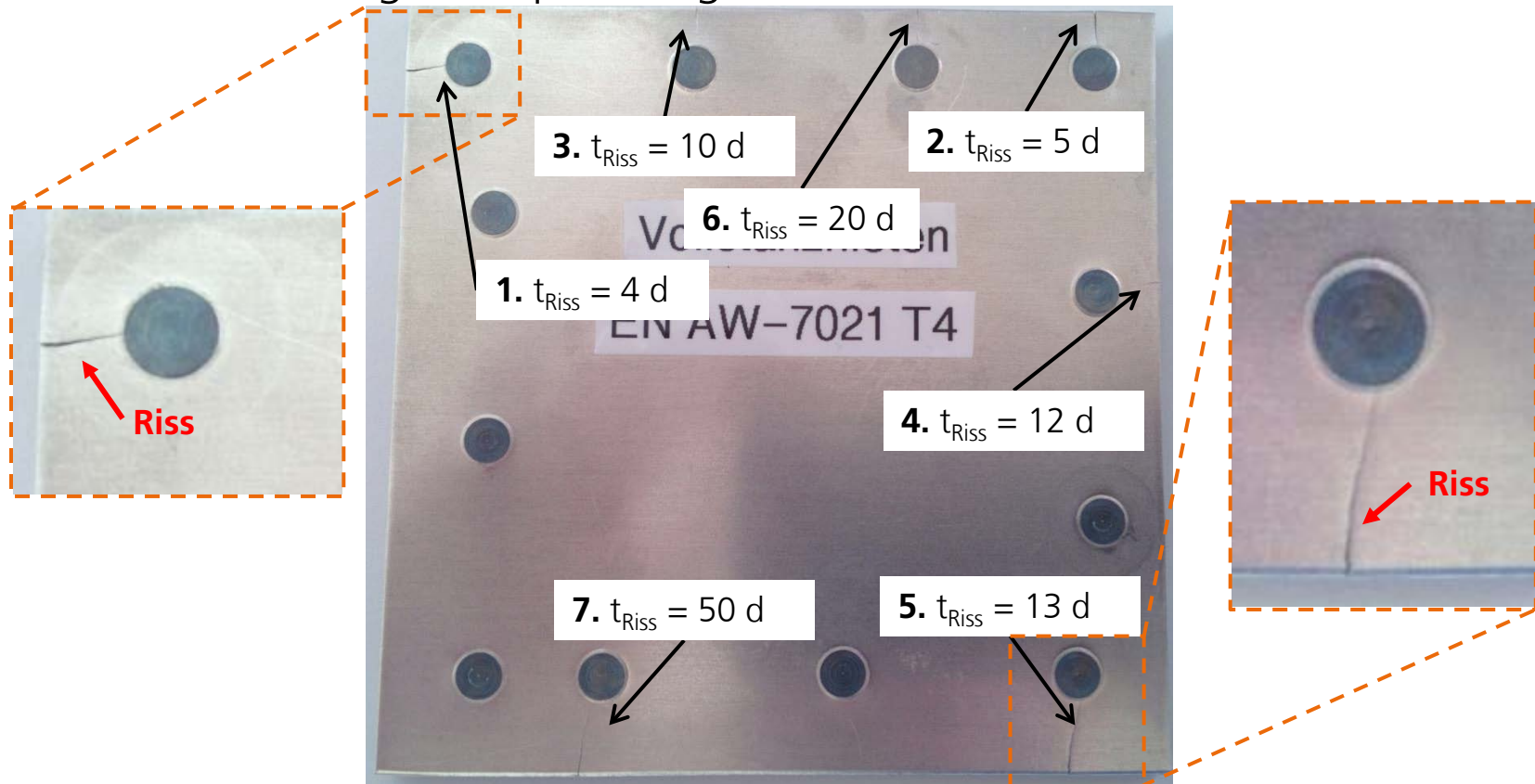
Verfahrensparameter		Schliffbild					
Stempels. Fügeteil:	Dicke:						
EN AW-7021 T4	1,7 mm						
Matrizens. Fügeteil:	Dicke:						
EN AW-6016 T4	1,2 mm						
Niet:	MBN Ø5 x 4,2						
Matrize:	Ø5,2 – PR1,0 x 0,5						
Klebstoff:	-						
Fügesystem:	TOX Fügezange	Werte Fügeergebnis					
Fügekraft:	45 kN	Schafthnutfüll. $u_{1,2}$:	100 %				

Schliffbild und Prozessparameter der Vollstanznietverbindung

- Gute Fügapunktausbildung
- Vollständige Schafthnutfüllung

Vollstanznieten hochfester Aluminiumlegierungen

Test zur Entstehung von Spannungsrisskorrosion

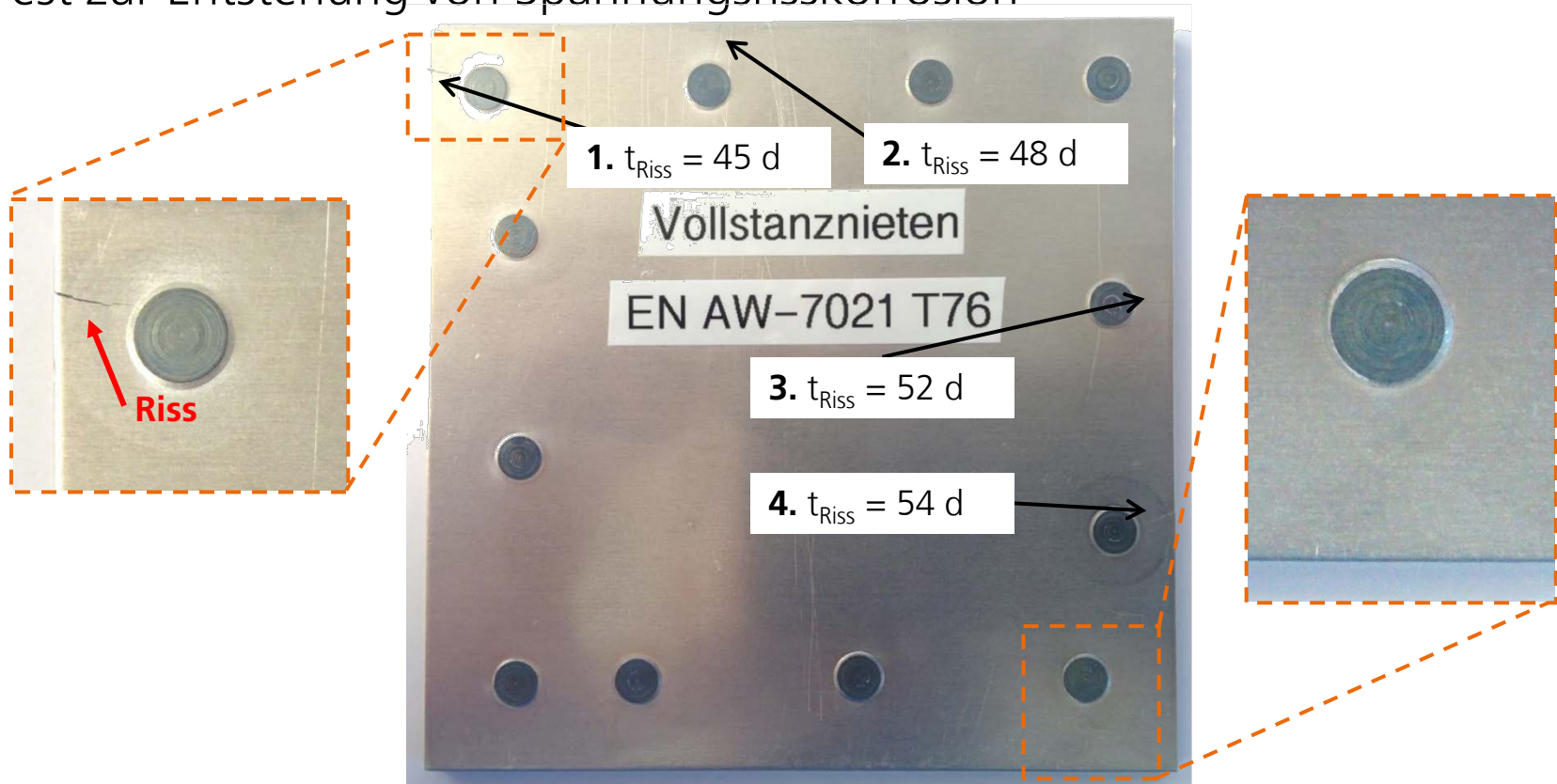


**Mehrpunktprobe mit unterschiedlichen Fügepunkt-Randabständen (8 mm, 12 mm)
– Vollstanznieten EN AW-7021 T4 (60 Tage nach dem Fügen)**

- Verzögerte Rissbildung im EN AW-7021 T4 zwischen Fügepunkt und Bauteilrand in beiden Walzrichtungen im Zeitraum von 5 bis 50 Tagen nach dem Fügen

Vollstanznieten hochfester Aluminiumlegierungen

Test zur Entstehung von Spannungsrissskorrosion

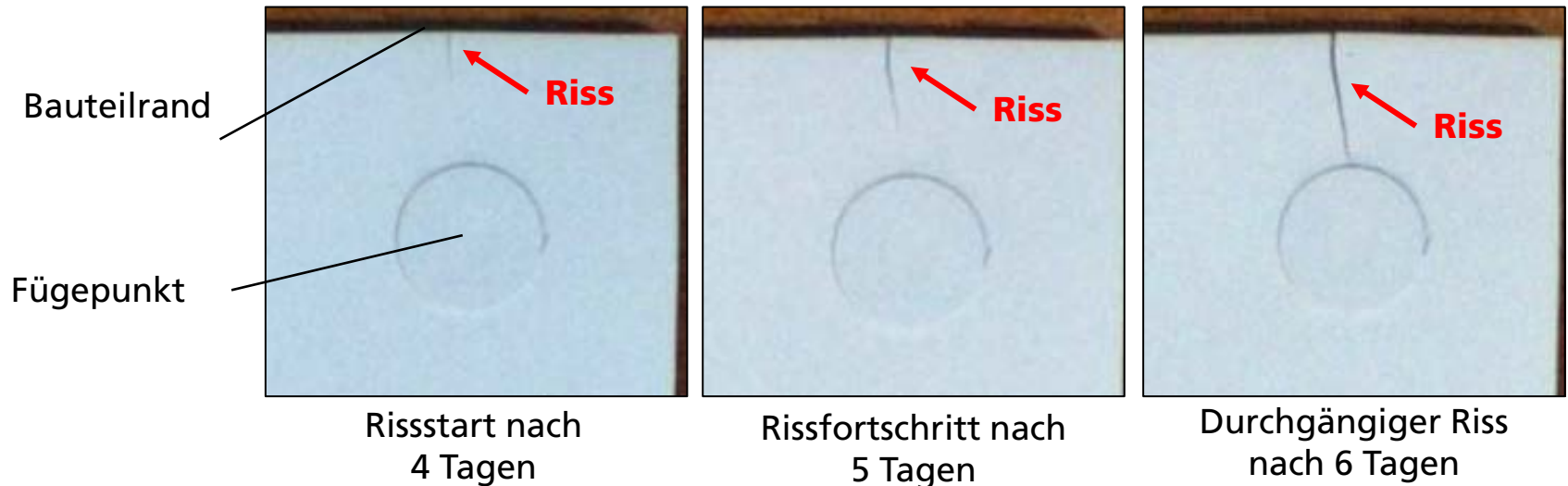


Mehrpunktprobe mit unterschiedlichen Fügepunkt-Randabständen (8 mm, 12 mm)
– Vollstanznieten EN AW-7021 T76 (60 Tage nach dem Fügen)

- Rissbildung im EN AW-7021 T76 zwischen Fügepunkt und Bauteilrand in beiden Walzrichtungen ab 45 Tagen nach dem Fügen

Vollstanznieten hochfester Aluminiumlegierungen

Spannungsrissskorrosion

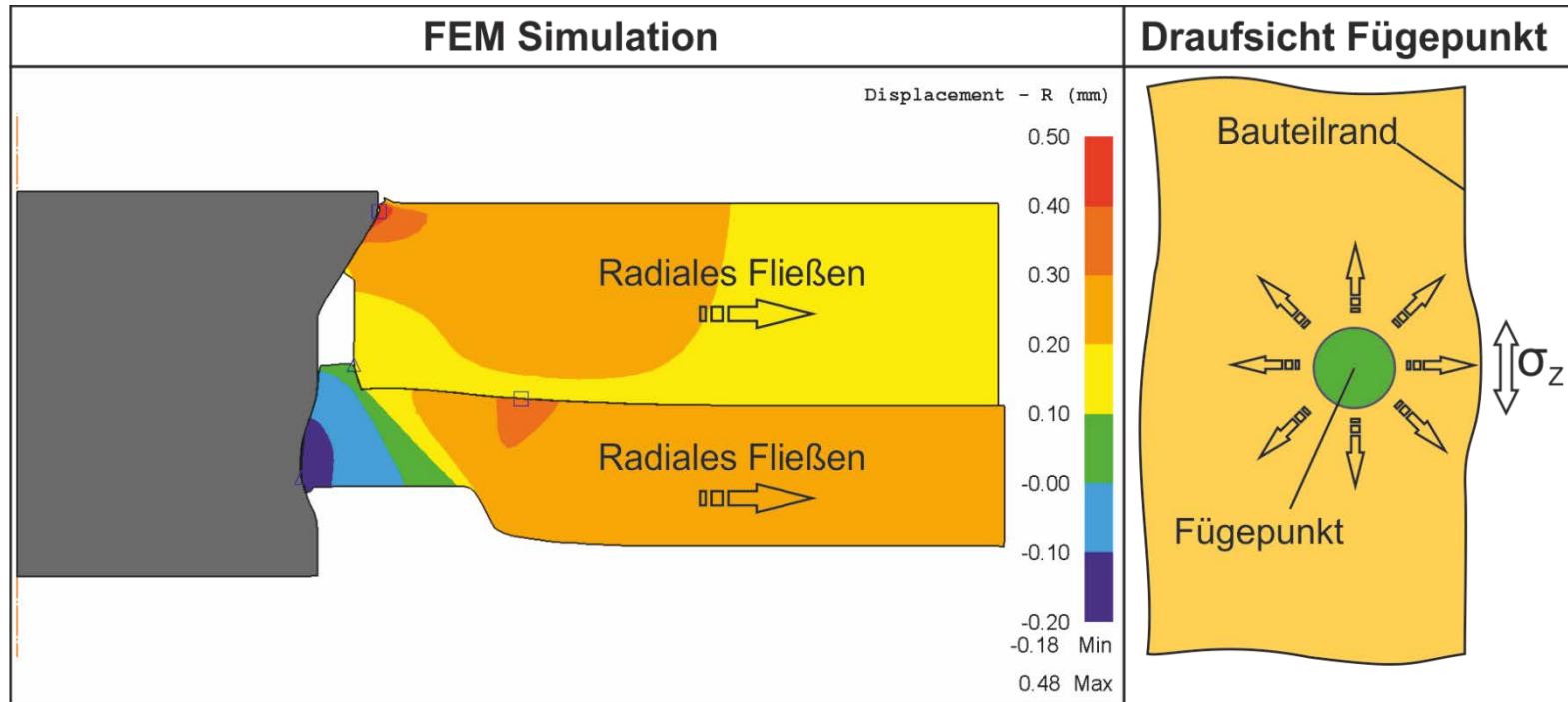


Rissfortschritt bei Spannungsrissskorrosion zwischen Bauteilrand und Fügepunkt

- Rissstart am Bauteilrand
- Nach [Ostermann - Anwendungstechnologie Aluminium] wird das Auftreten von Spannungsrissskorrosion unter anderem durch herrschende Zug-, Eigen- oder Kerbspannungen an Schnittkanten begünstigt

Vollstanznieten hochfester Aluminiumlegierungen

Analyse des Spannungszustands

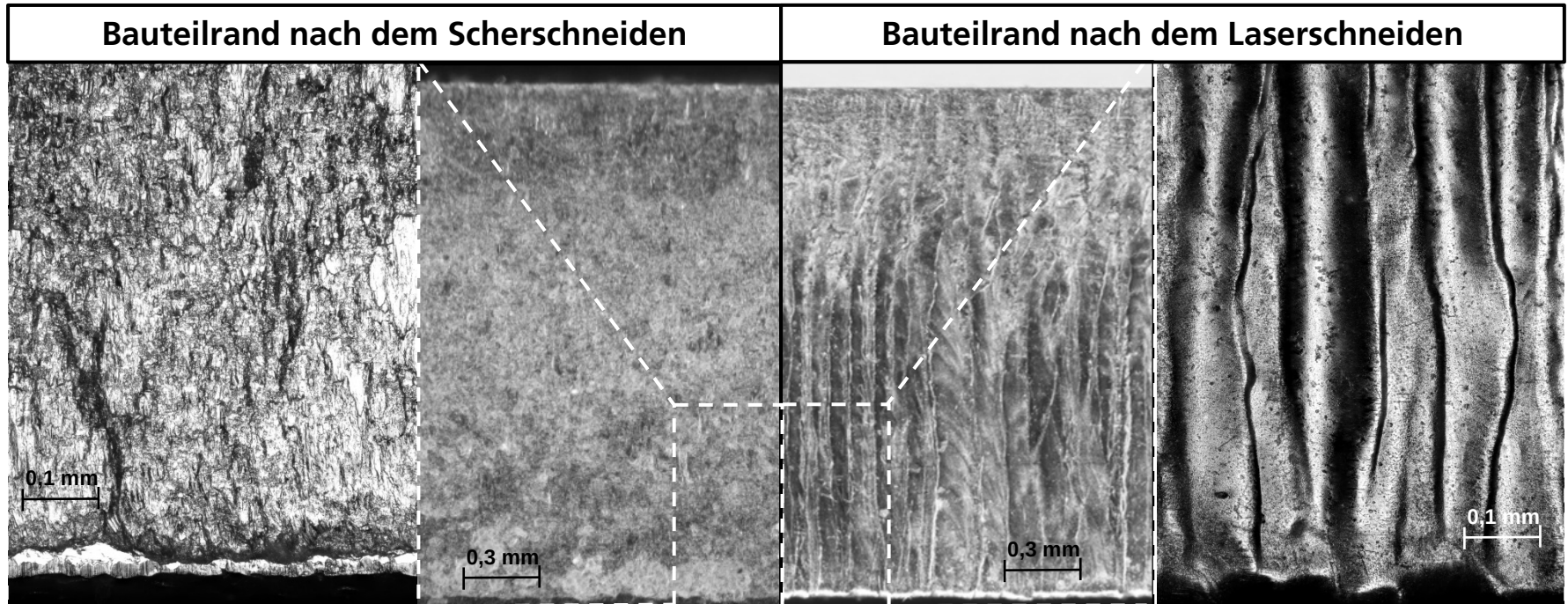


Zusammenhang aus radialem Werkstofffluss (links) und der Entstehung tangentialer Zugspannungen am Bauteilrand (rechts) beim Vollstanznieten

- Durch das Einformen des Nietkopfes bzw. des Prägeringes entsteht radialer Werkstofffluss in den Fügeteilen, wodurch tangentialer Zugspannungen am Bauteilrand induziert werden

Vollstanznieten hochfester Aluminiumlegierungen

Analyse der Bauteilrandoberfläche

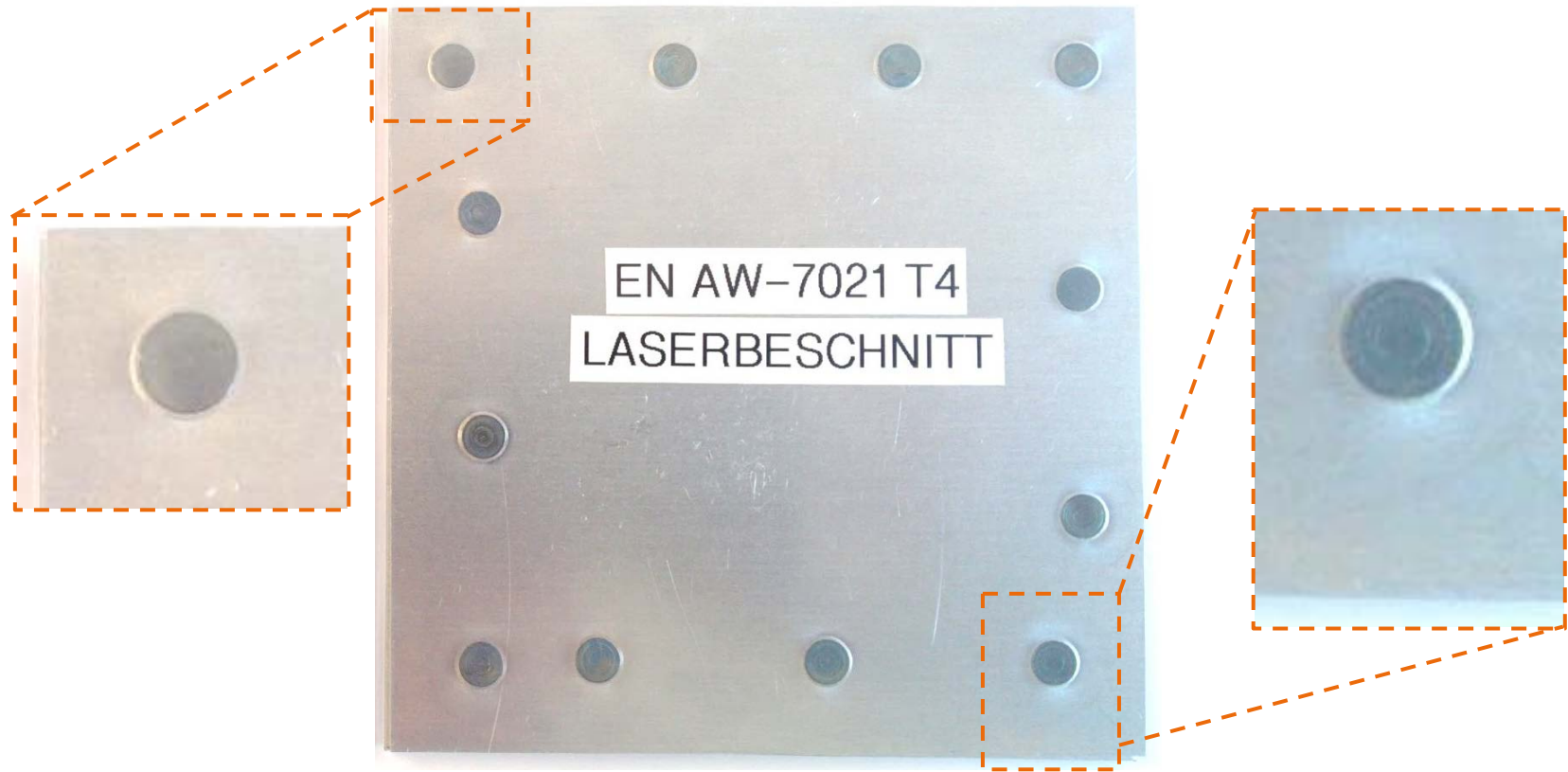


Vergleich der Bauteilrandqualität bei unterschiedlichen Randbeschnitttechnologien

- Die bisher dargestellten Fügeproben wurden mittels Scherschneiden beschnitten
- Reduzierung der am Bauteilrand durch den Beschnitt entstehenden Kerben durch Laserbeschnitt

Vollstanznieten hochfester Aluminiumlegierungen

Test zur Entstehung von Spannungsrisskorrosion



**Mehrpunktprobe mit unterschiedlichen Fügepunkt-Randabständen (8 mm, 12 mm)
– Laserbeschnitt und Vollstanznieten EN AW-7021 T4 (60 Tage nach dem Fügen)**

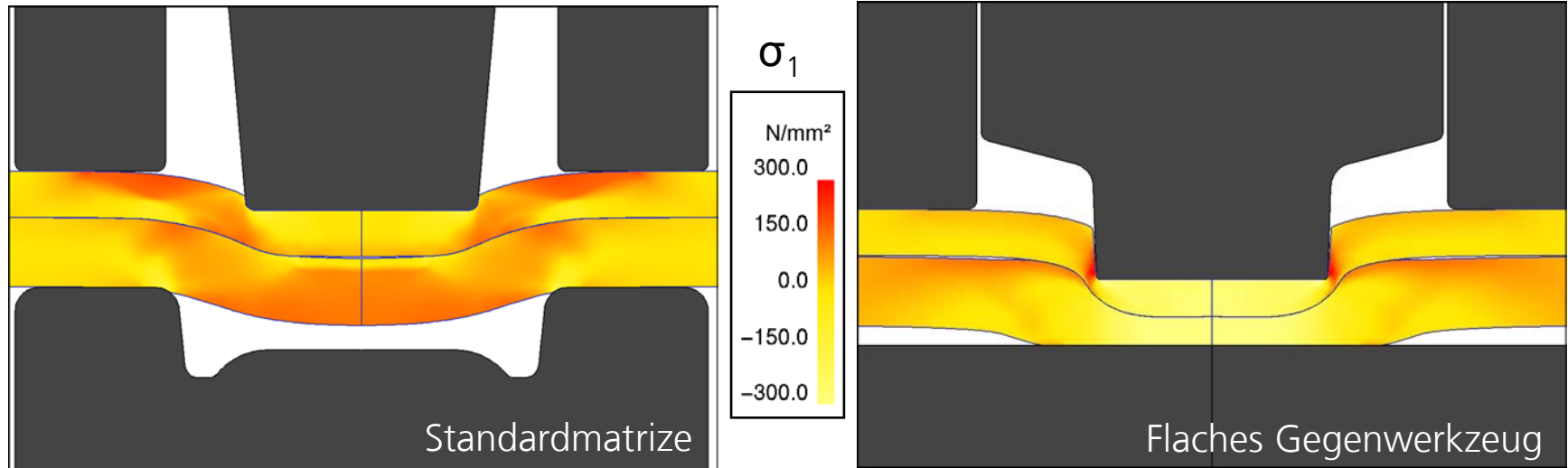
- Bei laserbeschnittenen Bauteilen tritt keine Spannungsrisskorrosion nach dem Fügen auf

Agenda

1. Einleitung
2. Serielles Halbhohlstanznieten von naturhartem Aluminiumdruckguss
3. Vollstanznieten hochfester Aluminiumlegierungen
4. Thermisch unterstütztes Clinchen von Magnesium

Thermisch unterstütztes Clinchen von Magnesium

Spannungsverteilung während des Fügeprozesses

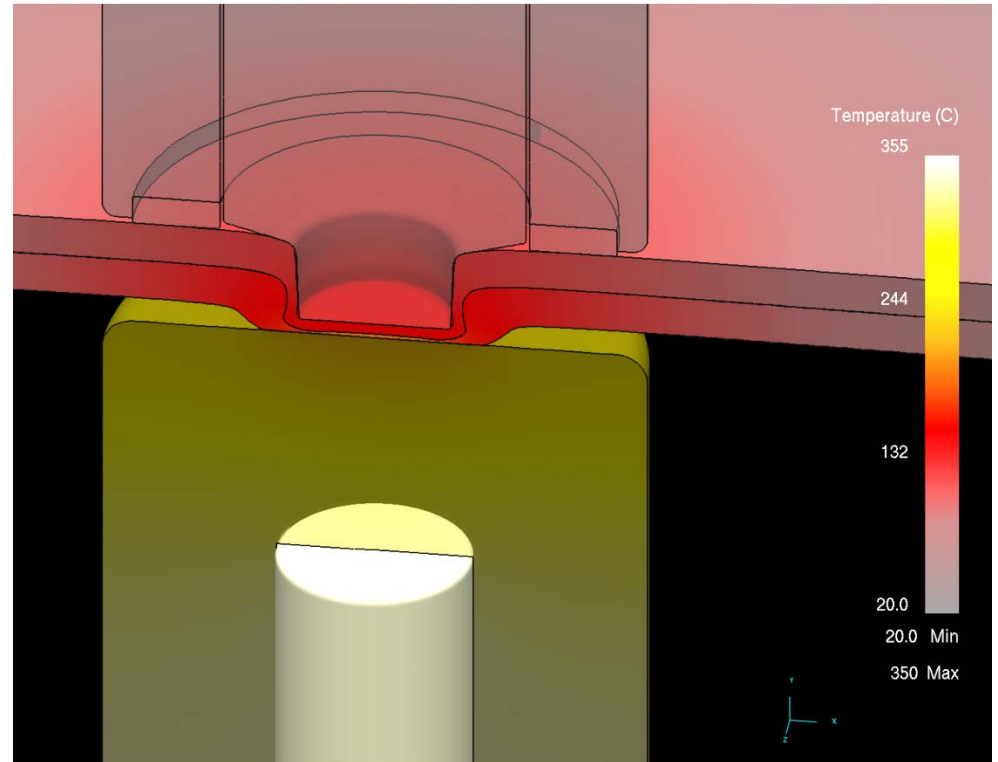
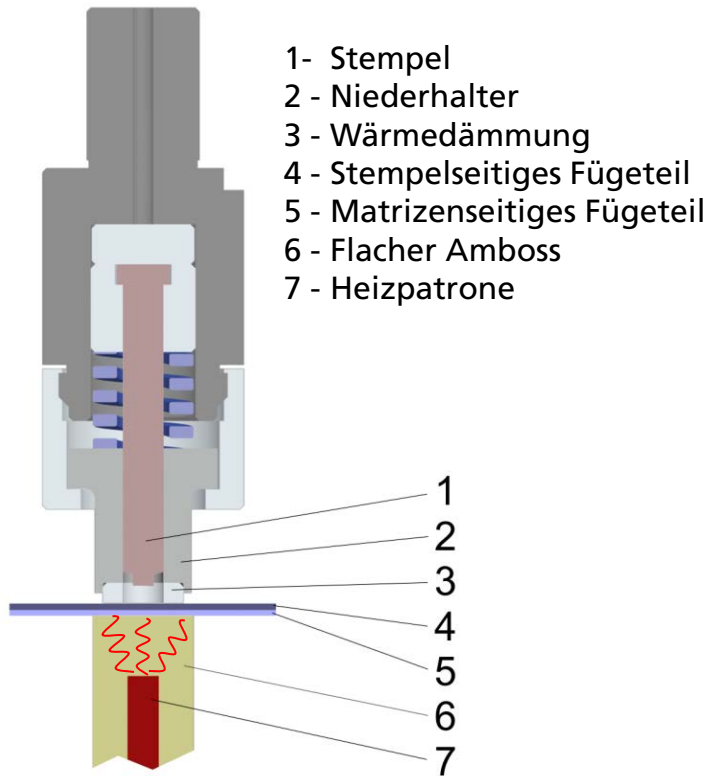


Vergleich der berechneten maximale Hauptspannung in den Fügeteilen beim konventionellen Clinchen (links) und beim Clinchen mit flachem Gegenwerkzeug (rechts)

- **Zugspannungen** beim Durchsetzen in die Matrizenkontur
- Nur **partieller Kontakt** zwischen unterem Fügeteil und Matrize
- Risiko für **Schließkopfrisse** über gesamten Prozess
- **Kein Durchsetzen** in Matrizenkontur
- **Flächiger Werkzeugkontakt** bereits zu Prozessbeginn
- **Druckspannungen** überwiegen im gesamten Prozess

Thermisch unterstütztes Clinchen von Magnesium

Werkzeugkonzept und Verfahrensablauf



Werkzeugkonzept (links) und Simulation (rechts) beim thermisch unterstützten Clinchen

Thermisch unterstütztes Clinchen von Magnesium

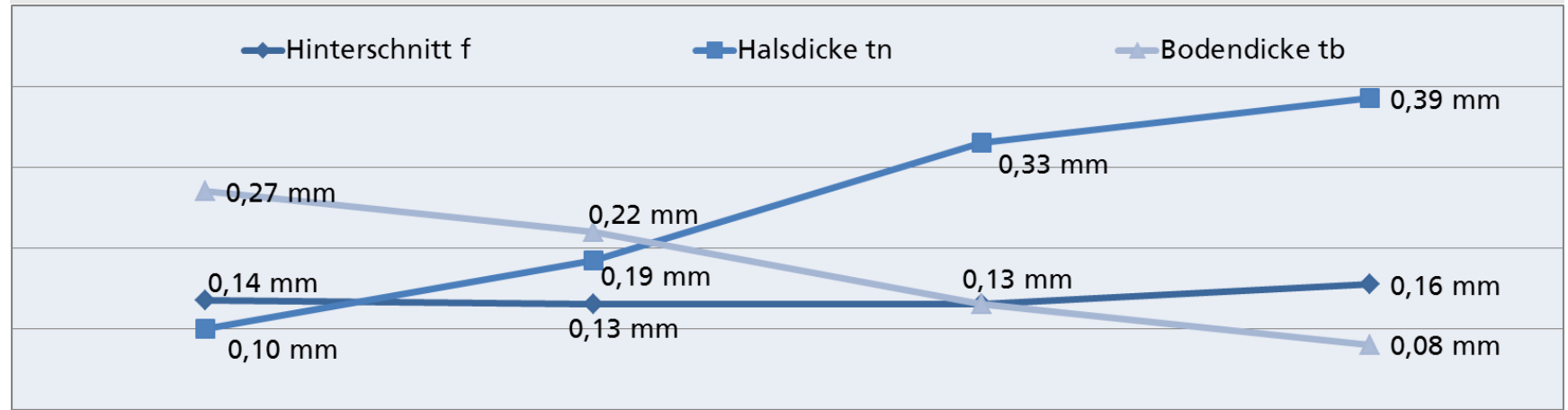
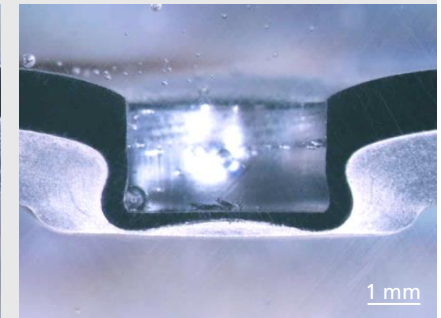
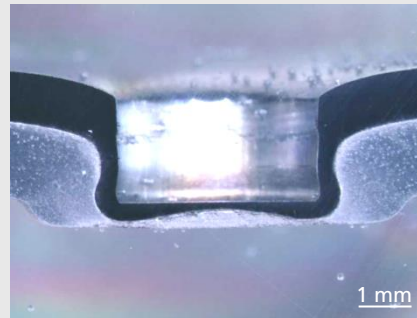
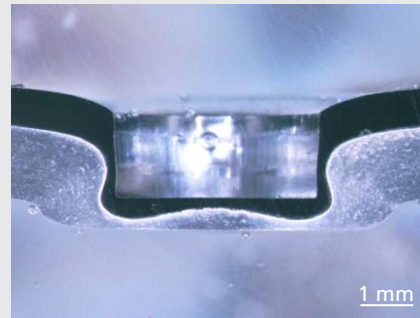
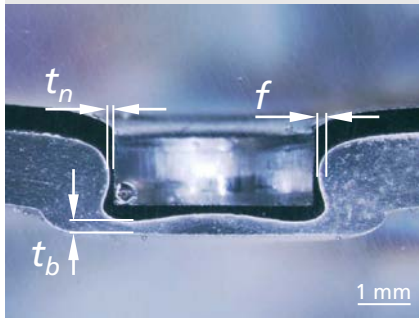
Fügapunktausbildung (Stempeldurchmesser $d_p = 4 \text{ mm}$)

DC04 / 0,5 mm +
AZ31 / 1,4 mm
(Fügekraft 17 kN)

DC04 / 0,8 mm +
AZ31 / 1,4 mm
(18 kN)

DC04 / 1,0 mm +
AZ31 / 1,4 mm
(23 kN)

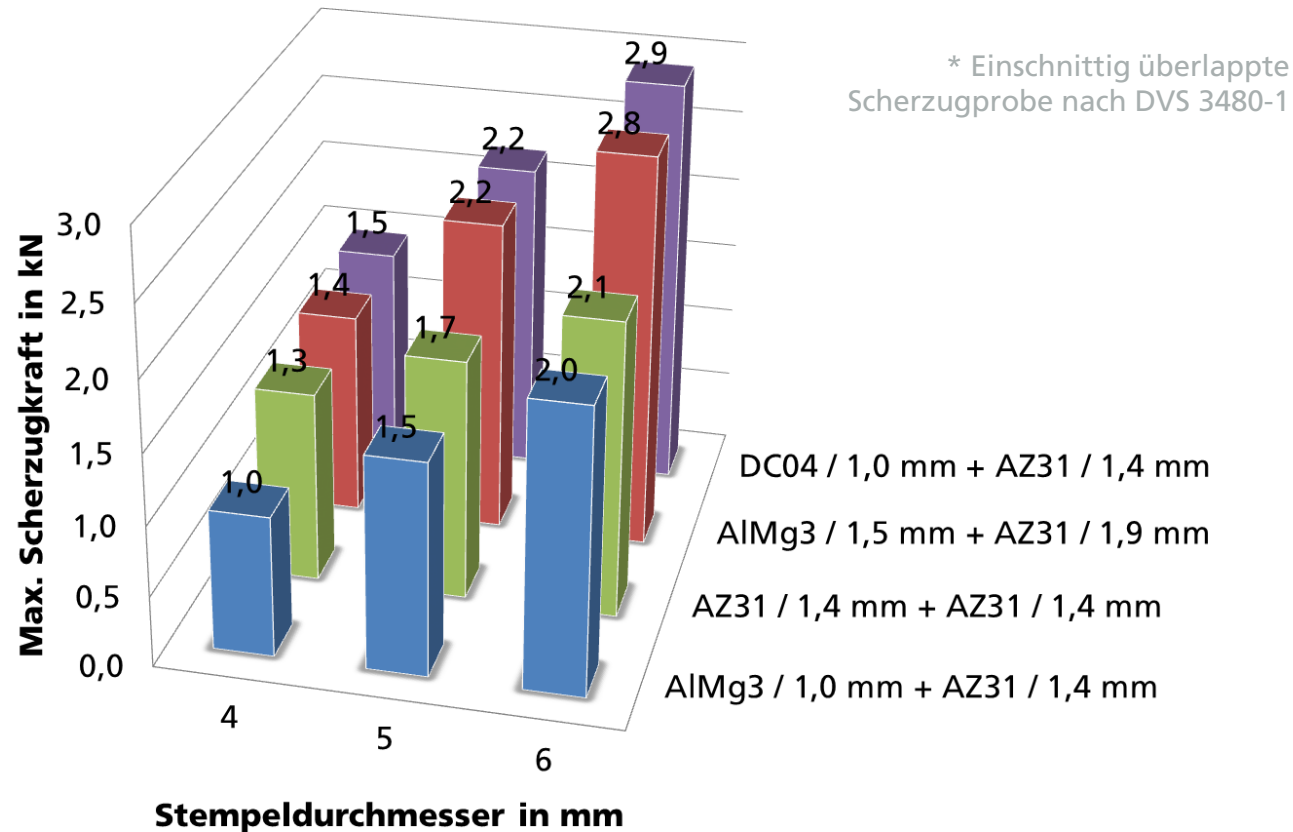
DC04 / 1,2 mm +
AZ31 / 1,4 mm
(25 kN)



Fügapunktausbildung in Abhängigkeit von der Dicke des stempelseitigen Fügeteils

Thermisch unterstütztes Clinchen von Magnesium

Scherzugprüfung* ausgewählter Verbindungen



Max. Scherzugkraft unterschiedlicher Verbindungen in Abhängigkeit vom Durchmesser des Clinchstempels

Zusammenfassung

- **Seriellles Halbhohlstanznieten von naturhartem Aluminiumdruckguss:**
 - Vermeidung von Rissbildung im Aluminiumdruckguss durch druckspannungsüberlagerten Halbhohlstanznietprozess
- **Vollstanznieten hochfester Aluminiumlegierungen:**
 - Risiko des Auftretens von Spannungsrisskorrosion kann durch Laserbeschnitt der Bauteile reduziert werden
- **Thermisch unterstütztes Clinchen von Magnesium:**
 - Kürzere Vorwärmzeiten durch ebenes Gegenwerkzeug möglich

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Förderhinweis:

Das IGF-Vorhaben 16699 BR der Forschungsvereinigung EFB wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.