



Orbitalschweißen von Aluminiumrohren

Entwicklung des Rührreibschweißprozesses für die hochfeste Aluminiumlegierung
EN AW 7085 T76 und die Anwendung an einem Aluminium Druckbehälter

Hütter A. (IWS TUGraz), Lind Ch. (SAG), Enzinger N. (IWS TUGraz)



Ausgearbeitet im Rahmen einer
DIPLOMARBEIT

von

Christof Kuttin, B.Eng.SE

Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Priv.-Doz. Christof Sommitsch

Betreuer:

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Norbert Enzinger

Dipl.-Ing. Thomas Weinberger



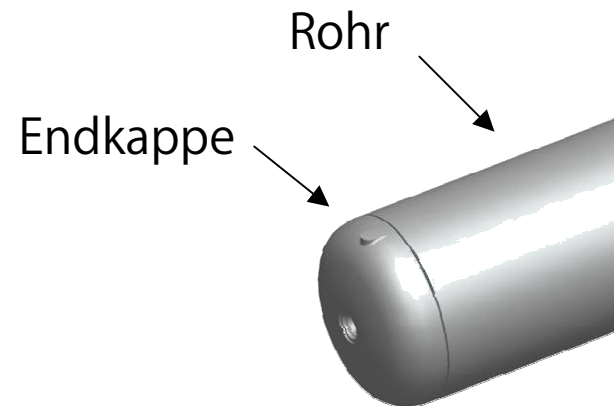
Inhalt:

- *Aufgabenstellung*
- *Parameterstudie*
- *Werkzeugentwicklung*
- *Orbitalschweißen*
- *Materialflussanalyse*
- *Zusammenfassung*



Aufgabenstellung des Industriepartners

- Aluminium Druckbehälter bestehend aus Rohr und Endkappen
 - Behälterdurchmesser $D = 230\text{mm}$
 - Zu verschweißende Wanddicke $s = 8,8\text{mm}$
 - Verbinden mittels Rührreibschweißen



- Motivation:
 - Gewichtsreduktion
 - Laut Norm Schweißung nicht zulässig (Schmelzschweißen)
 - Rührreibschweißen



Werkstoff

- EN AW 7085 T76
 - Wärmebehandlungszustand: warmausgehärtet, leicht überaltert
 - 7xxx Serie, AlZnMg Legierungen
- Zugfestigkeit: 543 MPa
- *schlecht strangpressbar*
- *nicht schmelzsweißbar*
→ Rührreibschweißen

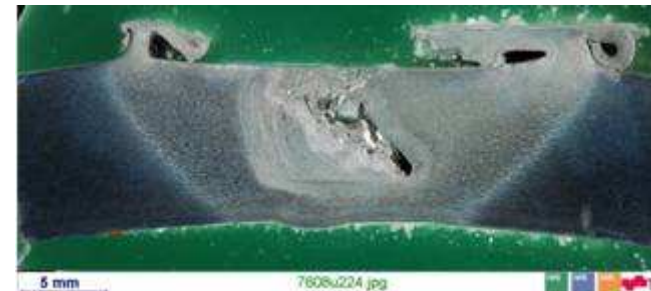


Motivation Parameterstudie / Werkzeugentwicklung

Bestehende Werkzeugsysteme
liefern keine zufriedenstellenden
Ergebnisse



6xxx, AlMgSi Legierung



7085, AlZnMg Legierung

→ Weiteres Optimierungspotential



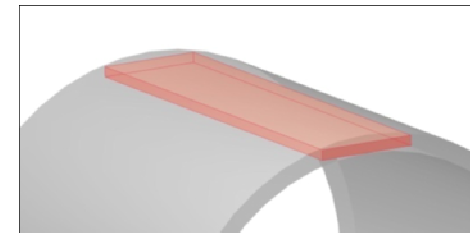
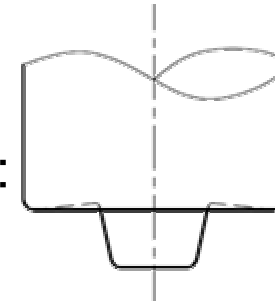
Parameterstudie

- **Schweißparameter:**
 - Drehzahl
 - Vorschubgeschwindigkeit
 - Eindringtiefe / Schmiedekraft
 - Werkzeugneigung
 - Werkzeuggeometrie
- **Zielgrößen**
 - Makroschliffbilder (Parametervorstudie, Werkzeugentwicklung)
 - Zugfestigkeit (Werkzeugentwicklung)
 - Härte (Werkzeugentwicklung)



Parameterstudie

- **Werkzeug:**
 - Bestandswerkzeug VA 1349 (JOIN B7):
 - Pin: konisch, 4.2mm Lang
 - Schulter: konkav 6°, 19mm Durchmesser
 - Ebene Platte 5mm Wanddicke:
 - aus Rohr
 - am vollen Material
- **Schweißparameter für Parameterstudie:**
 - Drehzahl
 - Vorschubgeschwindigkeit
 - **Parametermatrix**



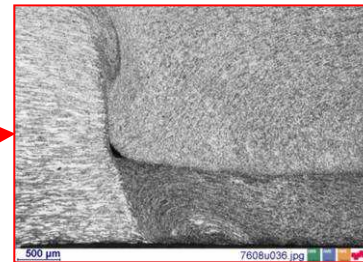
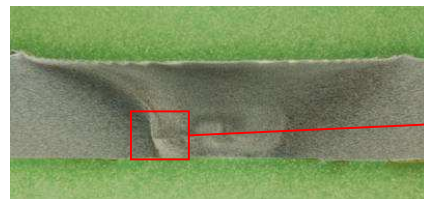


Parametervorstudie

Vorschubgeschwindigkeit: 300 mm/min



$n_1 = 800 \text{ 1/min}$



$n_2 = 600 \text{ 1/min}$

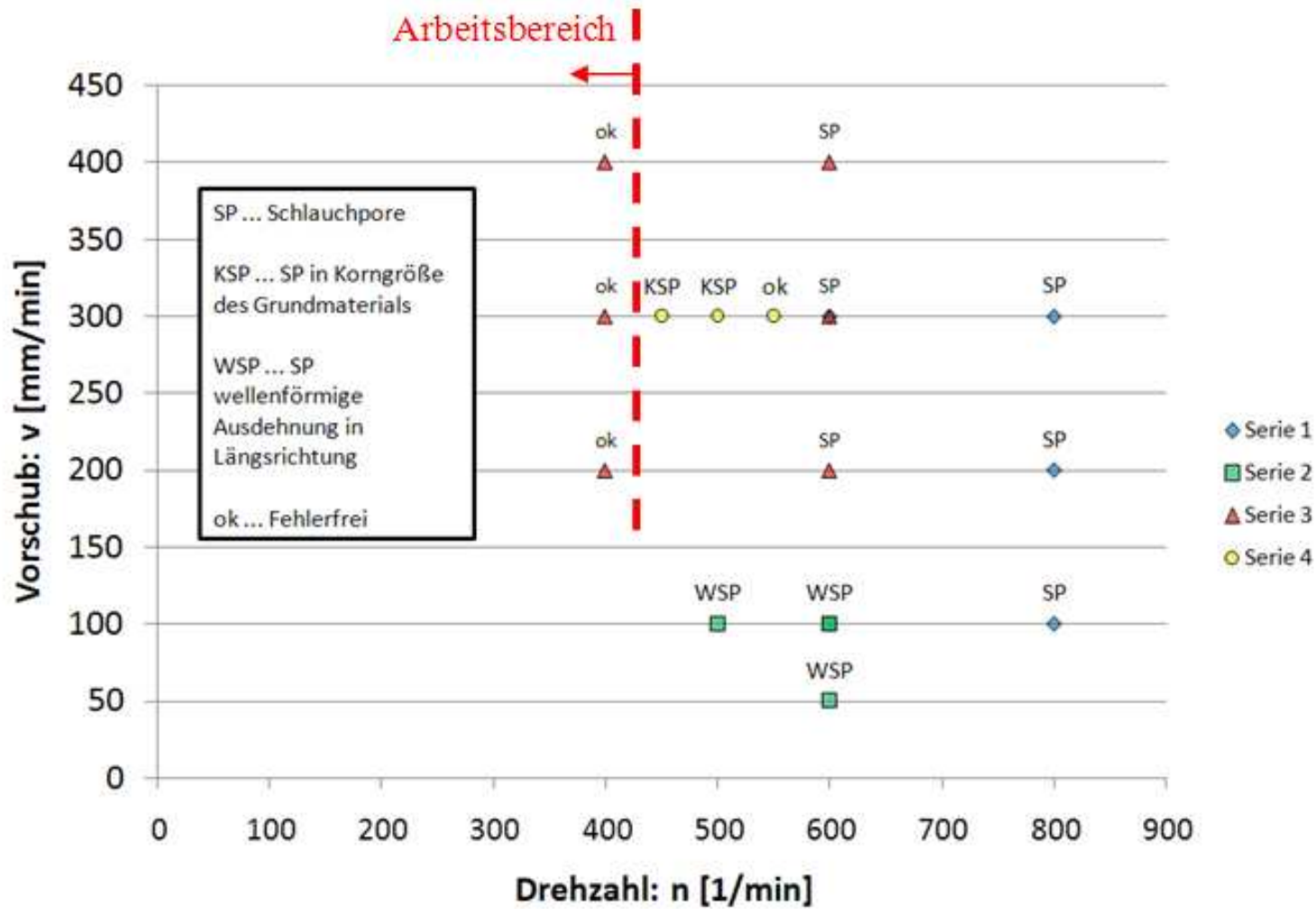


$n_3 = 400 \text{ 1/min}$

5 mm



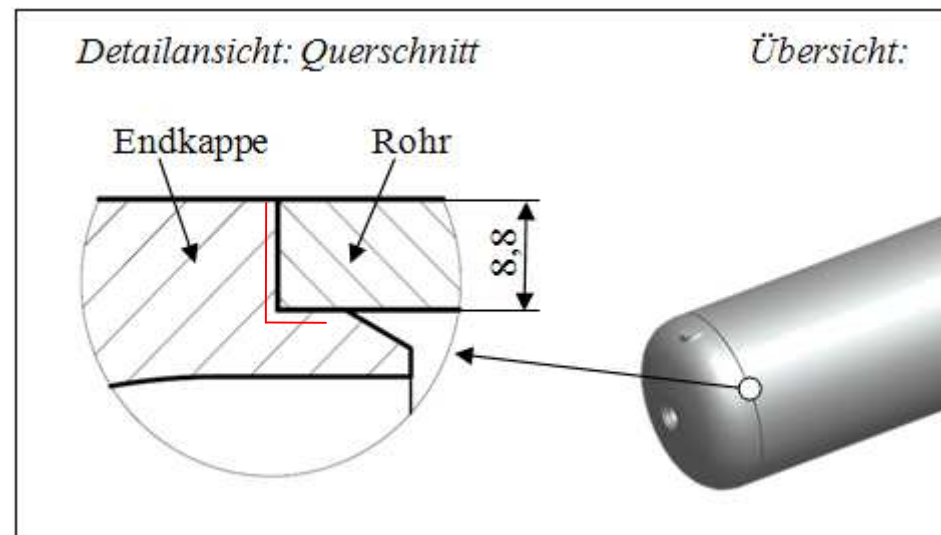
Parametermatrix





Werkzeugentwicklung

- Keine Unterlage bei geschlossenen Behälter möglich
 - Absatz an der Endkappe zur Abstützung der Schmiedekräfte → L-Stoß
- 8,8mm Wanddicke → Einschweißtiefe > 9mm





Werkzeugvorserie

- Modularer Werkzeugaufbau:

- Schulter = Pinaufnahme und Werkzeughalter
- Variable Pinlänge = Einschweißtiefe



D10, M10 LH, 3x18°



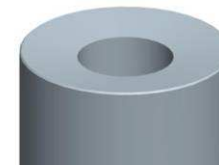
D10, 17°, R0.5, p=2



D10, 17°

- Schweißparameter aus Parameterstudie:

- $v=400\text{mm/min}$
- $n=400\text{U/min}$



D22, konkav 8°



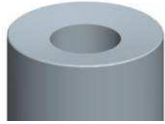


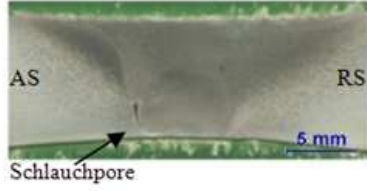

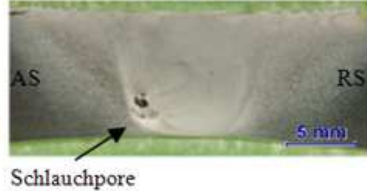
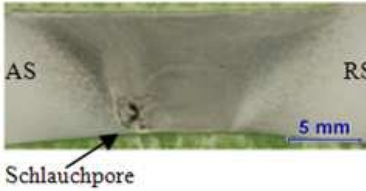

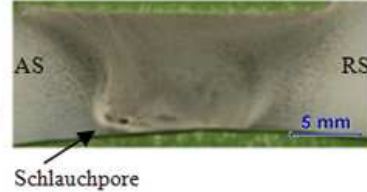
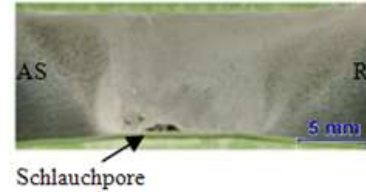
D22, R0.5, p=2.5

Schweißungen am Rohrsegment





Werkzeugvergleich

		
	<p>W006</p> <p>a.) </p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Drehzahl: 400 1/min Vorschub: 400 mm/min</p> </div>
	<p>W009</p> <p>b.) </p>	<p>W007</p> <p>d.) </p>
	<p>W010</p> <p>c.) </p>	<p>W011</p> <p>e.) </p>



Werkzeug Optimierung

- Maßnahmen zur Verhinderung von Schlauchporen:
 - Schmiedekraft steigern
 - Vorschubgeschwindigkeit senken
 - Materialfluss durch Werkzeugdesign verbessern
- Vorschubverhältnis 1mm/U
 - Profilsteigung von 1mm zu gering
- Materialfluss nach unten Richtung Schlauchpore steigern durch Werkzeug Pin:
 - Erhöhung der Profilsteigung
 - Vergrößerung des Spiralnutquerschnittes



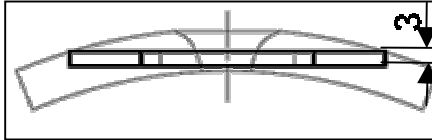
Optimiertes Werkzeug

- Werkzeug Pin:
 - Zylindrisch mit M10 Feingewinde
 - 3 Spiralnuten
 - Konisch: 15 Grad
 - Steigung: 60 mm
 - Tiefe: 1,5 mm
 - Radius: 2,5 mm
 - Pinende: 1,3mm freigestellt
- Werkzeug Schulter:
 - Konkav: 8 Grad
 - Durchmesser: 22 mm





Parameter Optimierung

- Drehzahl und Vorschubgeschwindigkeit am Rohrsegment optimiert und die Zugfestigkeit ermittelt
 - Parametermatrix
 - Schmiedekraft: 30kN
 - Werkzeugneigung: 3°
- Vor Zugversuch 16 Tage kalt ausgelagert
- Zugproben quer zur Schweißnaht
 
- Parameterkombination: $n=370\text{U/min}$, $v=430\text{mm/min}$:
 - Bruch in der Rührzone
- Alle anderen:
 - Außerhalb der Rührzone



Ergebnisse der Optimierung

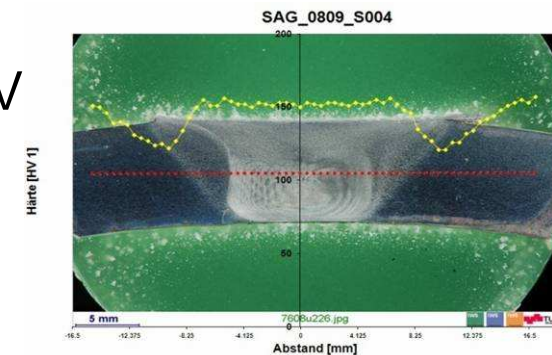
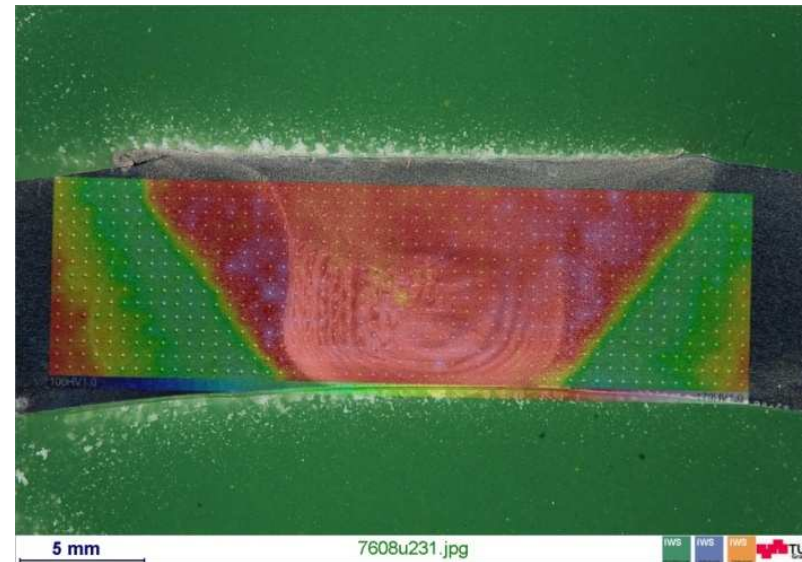
		Werkstoff: 7085 T76		
		$R_m(\text{Grundwerkstoff}) = 543 \text{ MPa}$		
Vorschub- geschwindigkeit $v[\text{mm/min}]$	R_m in MPa			
	430	406 (74%, $\sigma = 12,66$) XXX 0809 5005	410 (75%, $\sigma = 12,46$) XXX 0809 5007	
	400	421 (77%, $\sigma = 12,5$) XXX 0809 5004	438 (80%, $\sigma = 4,67$) XXX 0809 5002	
	370	424 (78%, $\sigma = 6,99$) XXX 0809 5003	426 (78%, $\sigma = 4,13$) XXX 0809 5006	
		370	400	Drehzahl $n[\text{U/min}]$





Ergebnisse der Optimierung

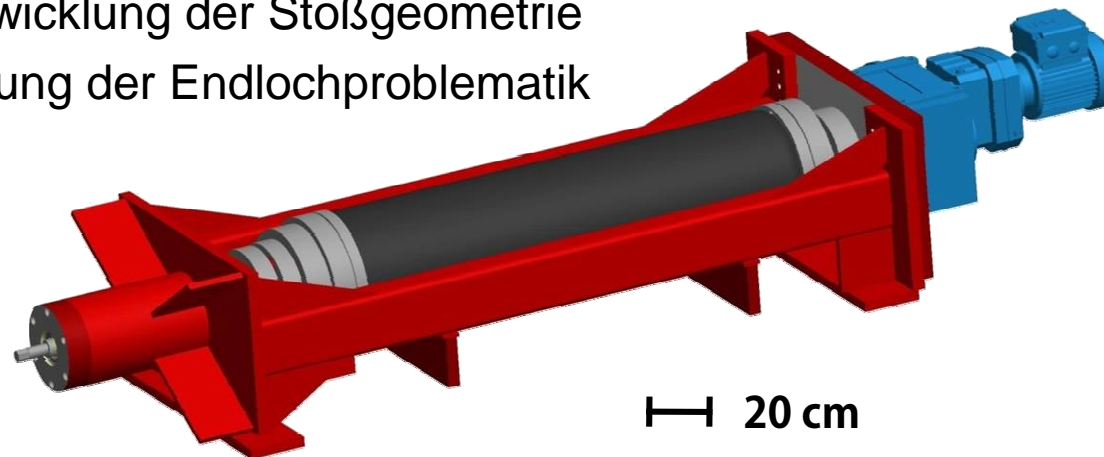
- Vickers Härte 1kg Prüfkraft:
 - blau 100 HV
 - weiß 170 HV
- Plateau
 - rot 150-155 HV
 - Rührzone, TMAZ
- Minium
 - Grün 120 HV
 - Übergang TMAZ und HAZ:
 - 69% der Grundhärte von 174 HV





Orbitalschweißen

- Anwendung der erarbeiteten Schweißparameter und das optimierte Werkzeug für orbitale Schweißnähte zur Erstellung eines Druckbehälters.
- Aufgaben:
 - Abstimmung der Schweißanlage mit der Drehvorrichtung
 - Entwicklung der Stoßgeometrie
 - Lösung der Endlochproblematik



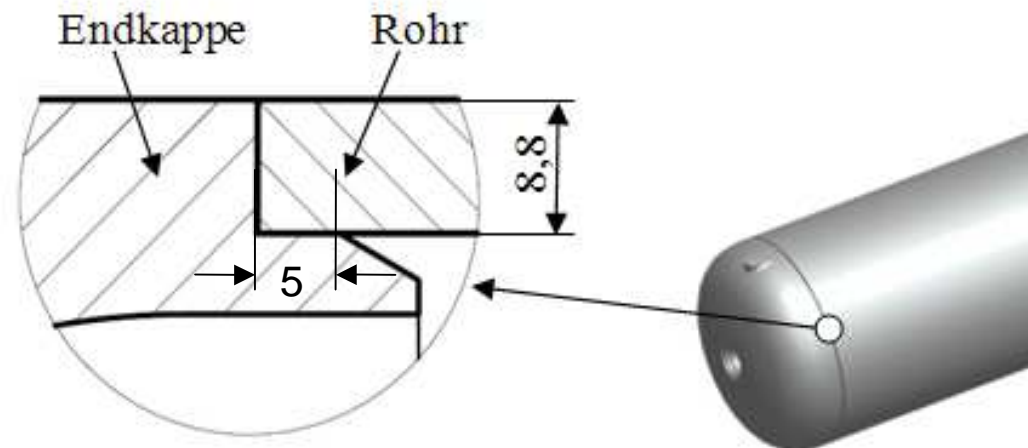


Entwicklung der Stoßgeometrie

- Anforderungen:
 - Zentrierung und Vormontage
 - Aufnahme der Schweißkräfte
 - Möglichst geringe Kerbwirkung

Detailansicht: Querschnitt

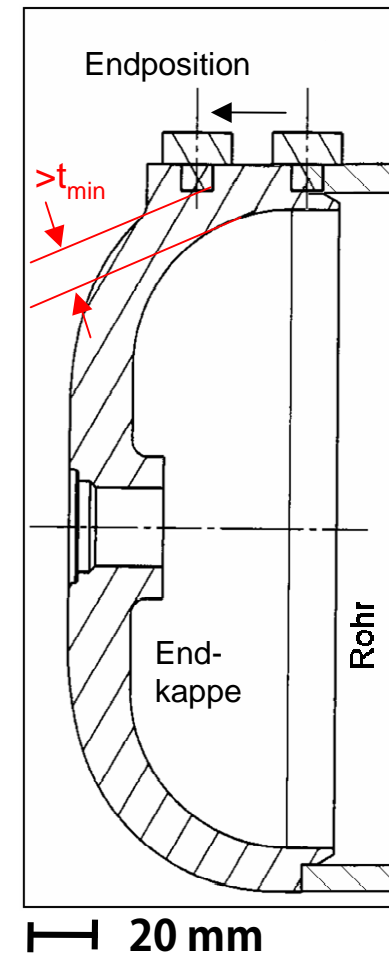
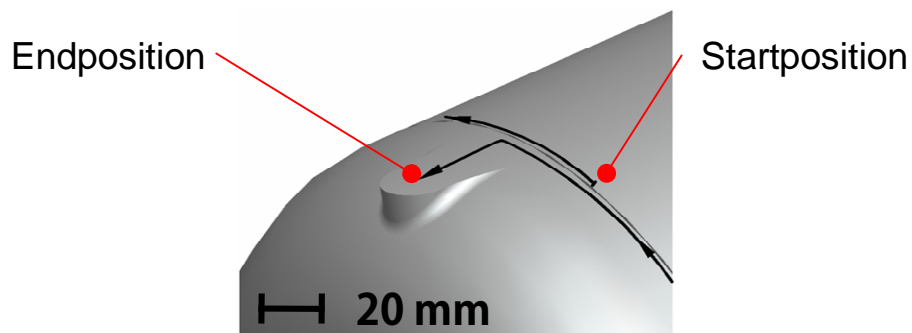
Übersicht:





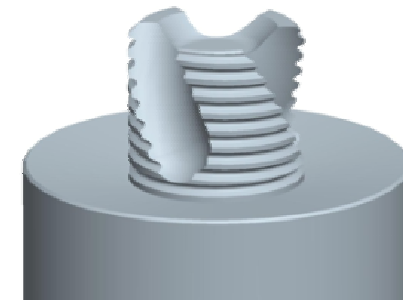
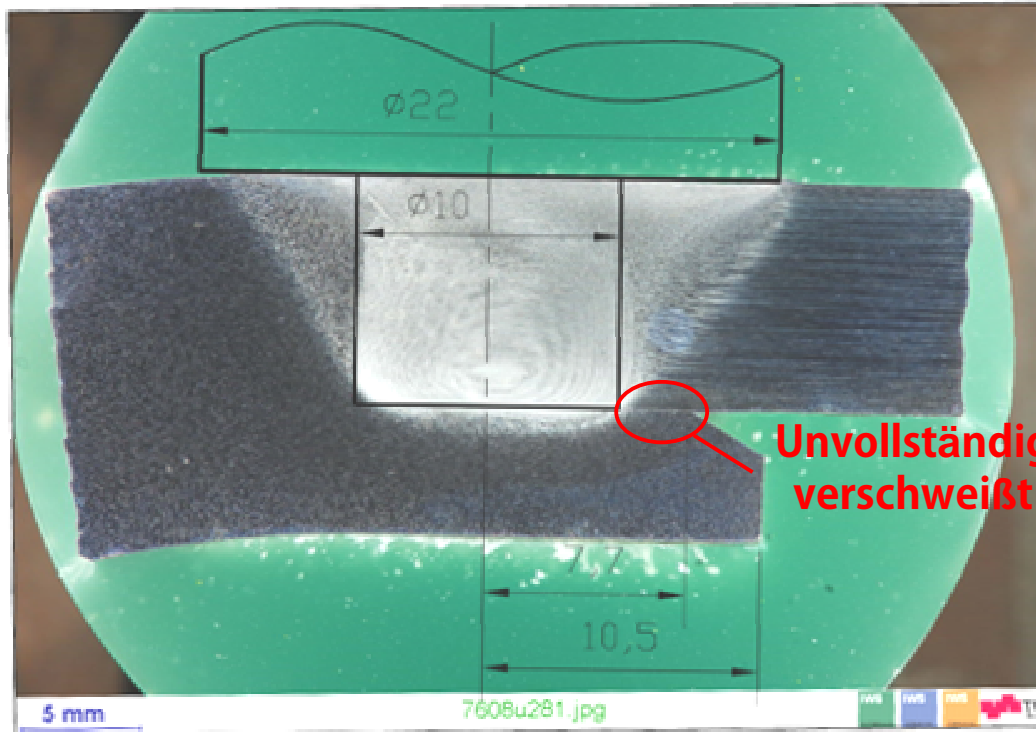
Lösung der Endlochproblematik

- Positionieren des Endloches an einer Stelle mit größerer Wanddicke:
 - Auslauf in Nase an der Endkappe





Ergebnisse Orbitalschweißung



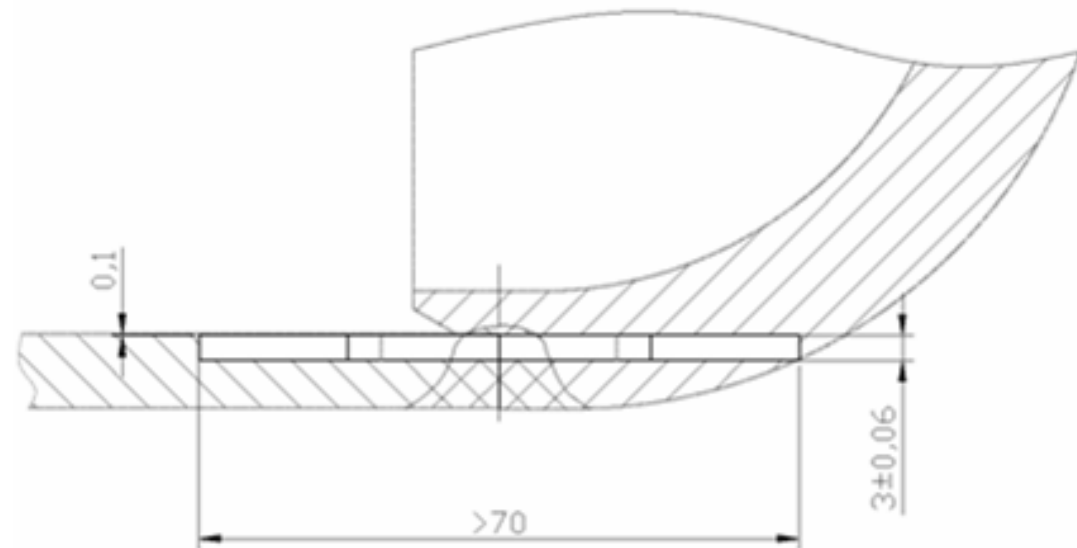
W201

- Erfolgreiche Orbitalschweißungen und Abstimmung der Schweißanlagen mit der Drehvorrichtung
- Schlauchporen sind im Schliffbild keine ersichtlich



Ergebnisse Orbitalschweißung

GW 7085-T76:	$R_m = 543 \text{ MPa}$
Probennummer.: SAG_0909_S013	$R_m = 437 \text{ MPa}$
	80.44 %
	$\sigma = 2.89 \text{ MPa}$

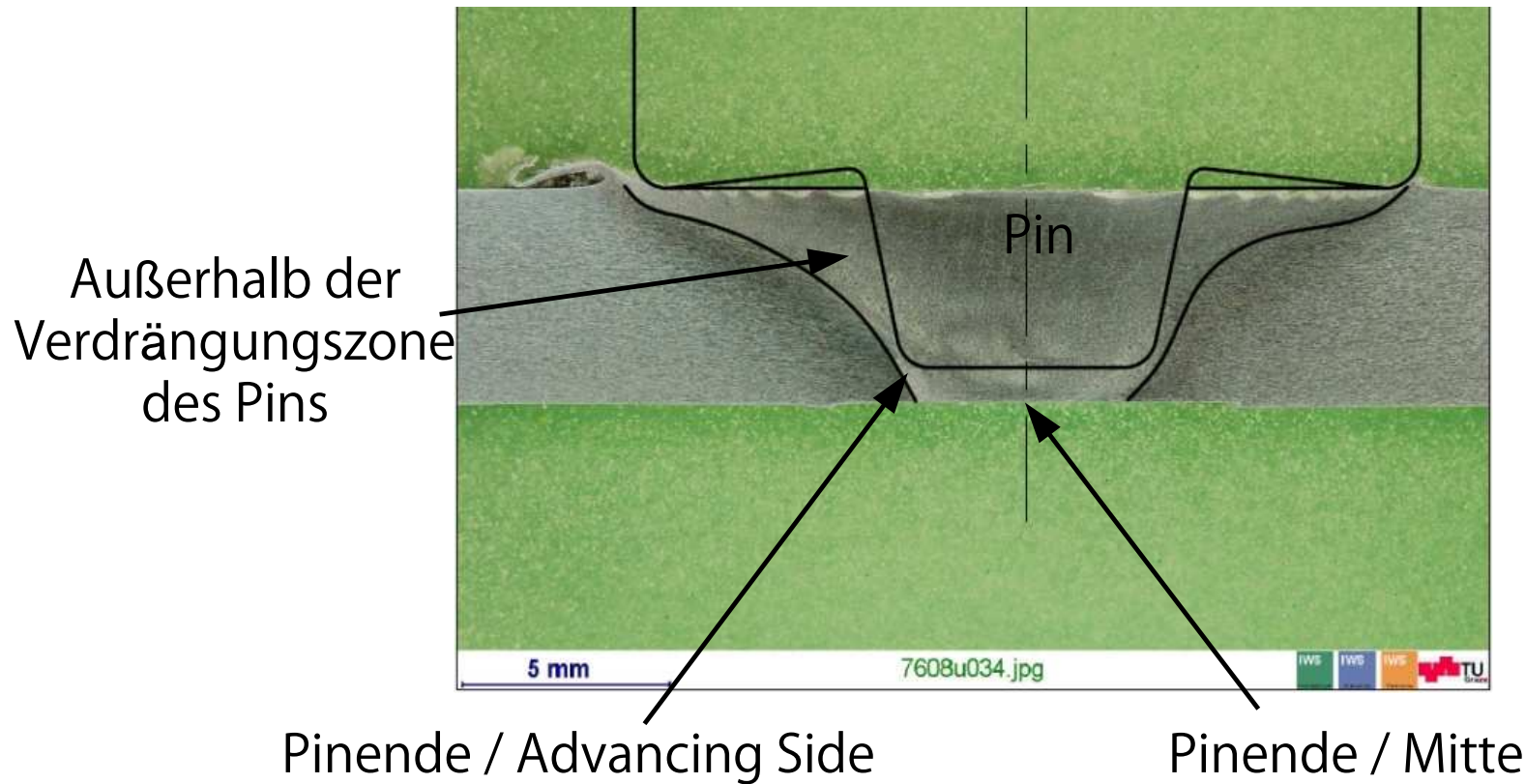


- Zugversuche zeigen, dass ähnliche Festigkeitswerte wie bei den Vorversuchen erreicht werden konnten



Materialflussanalyse

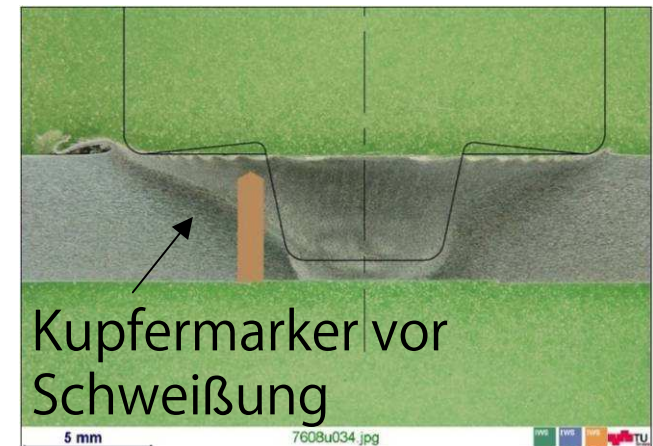
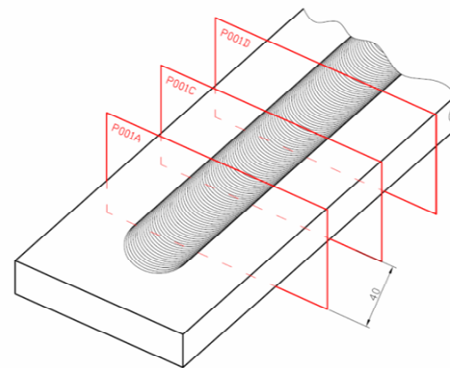
Positionen der Kupfermarker





Markermethode

- *Kupferdraht als Marker in 40 mm Abständen entlang der Schweißnaht*

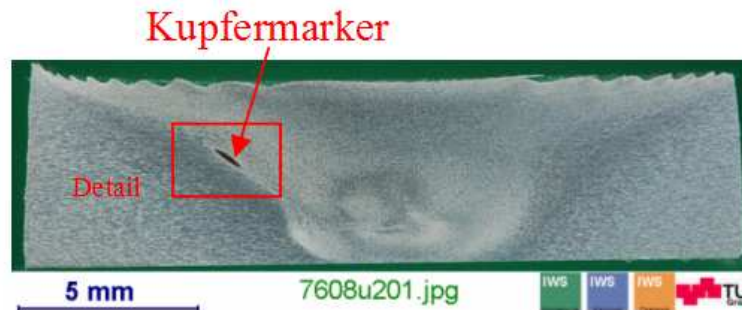
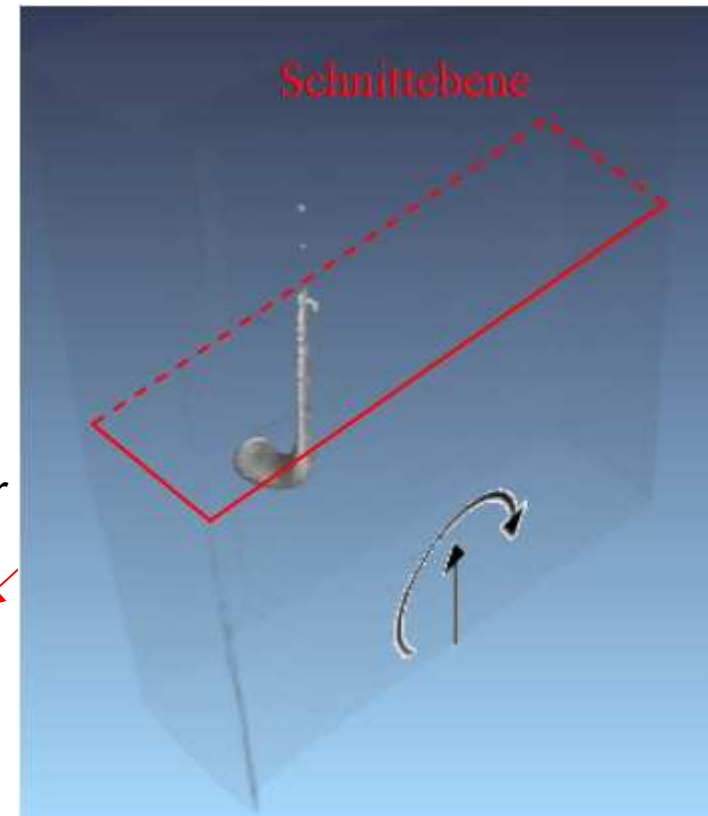


- *Computertomographische Untersuchungen der Bereiche:*
 - *Schulter, Pinumfang, Pinende*
- *Versuchsaufbau entspricht dem der Parameterstudie, $n=400\text{U}/\text{min}$, $v=400\text{mm}/\text{min}$*



Ergebnisse

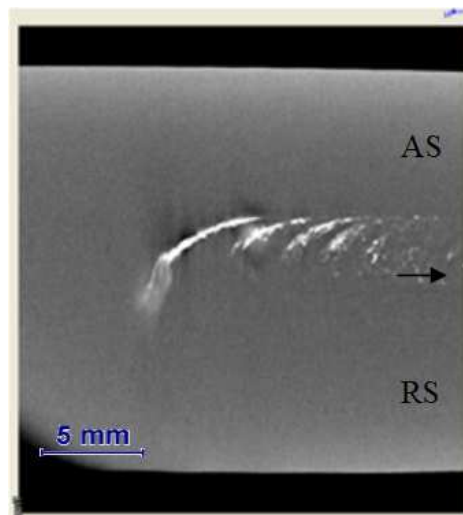
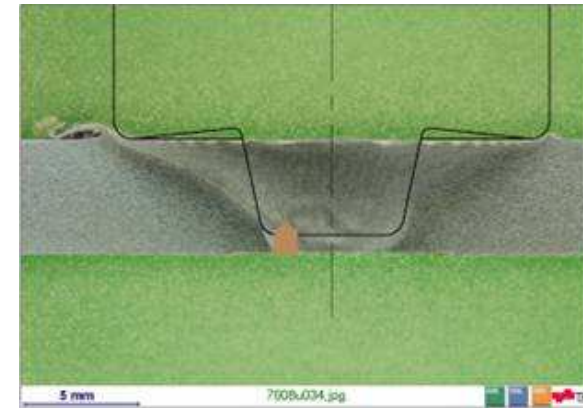
- *Kupfermarker im Schulterbereich und am Pinumfang*
 - *Metallische Kontinuität beibehalten*
 - *Nicht in die Verdrängungszone transportiert*
 - *In der thermo-mechanisch beeinflussten Zone gestreckt*
 - *Deformation der Kornstruktur*



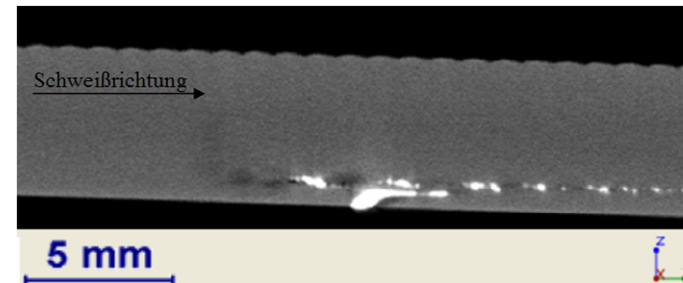


Ergebnisse

- *Kupfermarker am Pinende:*
 - *Advancing Side:*
 - *In der Ebene des Pinendes zerteilt*
→ *Kein vertikaler Materialtransport*
 - *Bogenförmig verteilt*
→ *Periodischer Wechsel zwischen Haft- und Gleitreibung*



CT Schnittbild: Draufsicht



CT Schnittbild: Seitenansicht



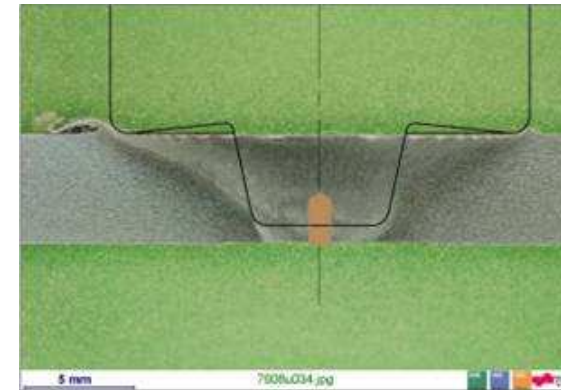
Ergebnisse

- *Kupfermarker am Pinende:*

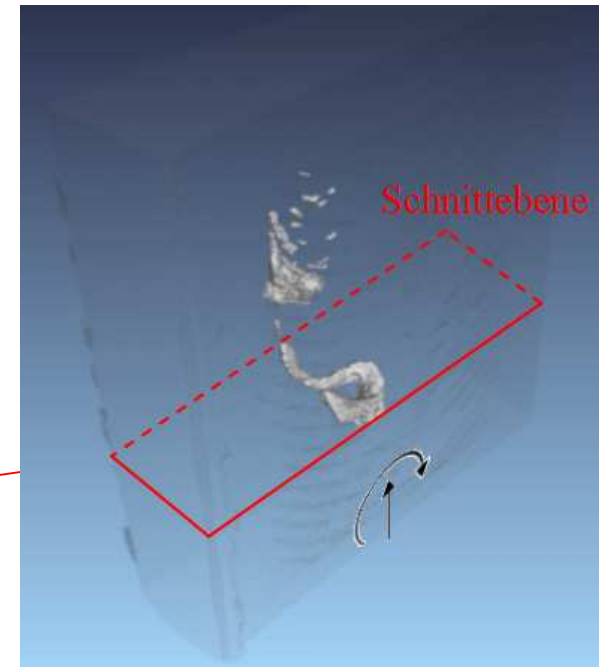
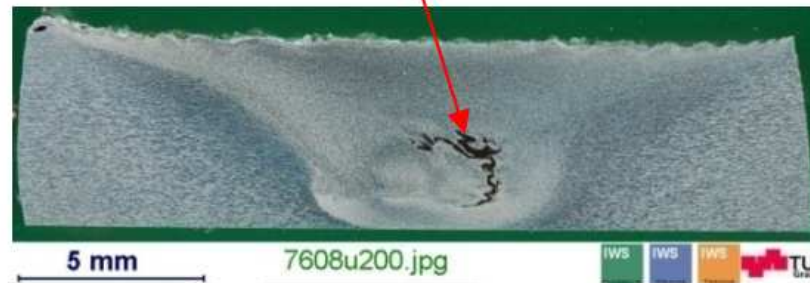
- *Pinende / Mitte:*

- *Großteils die metallische Kontinuität beibehalten*
- *Nach oben hin, Richtung Schulter gedrückt*
- *Onionring-Struktur wird sichtbar*

→ *Querschnitt einer spiralförmigen Struktur*



Kupfermarker





Zusammenfassung

- Werkzeug für den Werkstoff EN AW 7085 T76 für eine Wanddicke bis ca. 9mm:
 - Konkave Schulter
 - 3 konische Spiralnuten am Pin
 - Freistellung am Pinende
- Optimierte Schweißparameter:
 - 400U/min und 400mm/min
 - 80% der Zugfestigkeit des Grundwerkstoffes am Rohrsegment (16 Tagen nach schweißen)



Zusammenfassung

- Erfolgreiche Orbitalschweißungen:
 - Optimierung der Stoßgeometrie hinsichtlich Makroschliff und Festigkeit konnte erfolgreich durchgeführt werden
 - 80% der Zugfestigkeit des Grundwerkstoffes am Rohrsegment (16 Tagen nach schweißen)
- Materialflussanalyse:
 - Schulter- und Pinumfangbereich
 - Marker wurden nicht in die Verdrängungszone des Pins transportiert
 - Pinende Advancing Side
 - Kein vertikaler Materialfluss
 - Pinende Retreating Side
 - Material wird Richtung Schulter gedrückt
 - Onionring - Strukturen → Querschnitt von spiralförmigen Strukturen



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit