

## **Kurzfassung der Forschungs- und Entwicklungsarbeit**

### **Reibschweißen mit servo-elektrisch kraftgeregeltem Vorschubsystem**

Zu den herausragendsten Entwicklungen der letzten Jahre auf dem Gebiet der Reibschweißtechnik gehört die Einführung eines servo-elektrischen Vorschubsystems. In Verbindung mit einer integrierten Kraftsensorik und moderner CNC-Steuerungstechnik ergeben sich dabei essentielle Vorteile gegenüber konventionellen hydraulischen Systemen.

Während die konventionellen hydraulischen Maschinen nur in einem begrenzten Kraftbereich gut beherrschbar sind, erlaubt das Servo-Achs-Prinzip einen nutzbaren Kraftparameterbereich zwischen 5 und 100% der Maximalkraft. Das heißt, das nutzbare Teilespektrum erhöht sich um ein Vielfaches und wird lediglich noch durch den Drehzahlbereich begrenzt. Gleichzeitig besitzt das Servo-Achs-System ein sehr hohes Maß an Dynamik bzw. Reaktionsgeschwindigkeit und gewährleistet damit eine hochgenaue Prozessführung.

Die Lärmemissionen der Anlagen beschränken sich hauptsächlich noch auf den Prozess selbst.

Der einfache technische Aufbau und die geringe Komponentenzahl am servo-elektrischen Vorschub gehen mit Preiswettbewerbsvorteilen und geringem Aufwand an Wartung und Instandhaltung einher.

Weitere Vorteile ergeben sich in der Energiebilanz. Die Elektromotoren verbrauchen nur dann Energie, wenn sie arbeiten – Hydraulik läuft ständig. Zusätzlich wird durch Rekuperation die Energie beim Abbremsen der Elektromotore ins Netz zurück gespeist. So wird die Umwelt geschont und für den Betreiber fallen die Betriebskosten gering aus.

Die Verwendung einer modernen CNC-Steuerung ermöglicht neben genauigkeitsrelevanten Eigenschaften wie dem winkelsekundengenauen Abbremsen der Spindel oder hochgenauen Positionieren der Linearachsen auch modulare Integration peripherer Komponenten wie zum Beispiel einem CNC-Drehsupport, Beladeachsen oder anwendungsspezifischer Softwareapplikationen.

Die erfolgreiche Kooperation zwischen Wirtschaft und Wissenschaft bei der Entwicklung des servo-elektrisch kraftgeregelten Vorschubsystems wurde in 2006 mit dem ersten Platz des Hugo-Junkers Innovationspreises gewürdigt.



Abbildung 1: Gruppenbild mit Herrn Klaus von Dohnanyi bei der Verleihung des Hugo-Junkers Innovationspreises

Das servo-elektrische Vorschubsystem wird seit dem Jahr 2005 bei den Serienreibschweißmaschinen der Firma H&B OMEGA Europa GmbH erfolgreich eingesetzt.



Abbildung 2: Entwicklungsstufen der servo-elektrischen Reibschweißmaschinen

Bei zahlreichen Prototypen- und Kleinserien bis hin zu hochautomatisierten Großserienapplikationen, u-a. auch bei sicherheitsrelevanten Automobilbauteilen, haben sich die mit servo-elektrischem Vorschub ausgerüsteten Maschine mit ihren spezifischen Vorteilen bewährt.




**20. Schweißtechnische Fachtagung**  
**03. November 2010 SLV Halle**

**Prof. Dr. H. Goldau**  
**Dr. H. Schmicker**  
**C. Behrend**



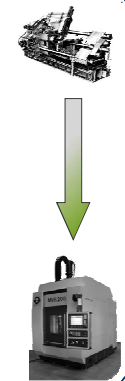
**Reibschweißen – Praktische Anwendungen, Forschung  
 und Entwicklung**


 20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010




**Historie**

- Reibschweißen ist ein Fügeverfahren, dessen Anfänge bis ins Ende des 19. Jahrhunderts zurückreichen
- 1890 erstes amerikanische Patent zur Nutzung der Reibungswärme zur Verbindung von Metallen
- In den frühen 40er Jahren entwickelte man Verbindungsmöglichkeiten von Kunststoffen
- 10 Jahre später wurde das Verfahren zum Reibschweißen von Metallen, wie man es heute kennt, entwickelt
- durch das im Jahr 1956 an den Russen Chudikov erteilte Patent, wurde das Reibschweißen als Fügeverfahren anerkannt
- nach weiterer Entwicklungsarbeit führender Industrienationen wie der damaligen UdSSR, USA, Japan, Deutschland und Großbritannien, etablierte sich das Verfahren in den 60er Jahren in der Fertigung
- Anfang der 60er Jahren wurde in den USA ein Patent zum Schwungradreibschweißen angemeldet
- Heute können Querschnitte von bis zu 350mm mit einer Kraft von bis zu 2000t geschweißt werden




 20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010




**Vorteile**

**Vorteile:**

- Verschweißen unterschiedlicher Werkstoffe und Werkstoffkombinationen
- Senkung der Fertigungskosten durch Reduzierung des Materialverbrauchs und der Schweißzeit
- Keine Schmelze, geringe thermische Belastung
  - günstige Gefügestruktur
- geringer Verzug durch eine schmale Wärmeeinflusszone
- der Werkstoff weist im nahen Bereich nach dem Schweißen ein feinkristallines Gefüge auf
- symmetrische Eigenspannungen
- kein Zusatzwerkstoff und Schutzgas nötig
- kurze Taktzeiten
- hohe Reproduzierbarkeit und damit verbundene Prozesssicherheit
- Keine belastenden Emissionen
- Hohe Genauigkeit der verbundenen Teile




 20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010



**Nachteile**


**Nachteile:**

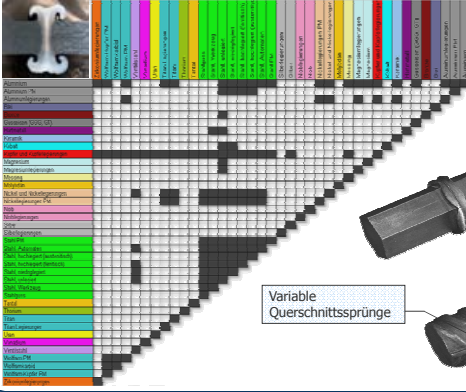
- Fügeverfahren begrenzt auf bestimmte Fügequerschnitte und Bauteillängen
- Teilweise hohe mechanische Belastung (Reibmoment, Stauchkraft)
- komplexe Spanntechnik (min. Spannlänge, rotatorisch symmetrische Fixierung)
- kostenintensive Maschinenbeschaffung
- Schweißwulst oftmals störend für die Funktionalität des Bauteils
- Eingeschränkte zerstörungsfreie Prüfmöglichkeiten



 20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010

### Werkstoffkombinationen







Schweißbarkeit auch von schwierigen Mischverbindungen

Präzise Winkelpositionierung


Variable Querschnittsprünge





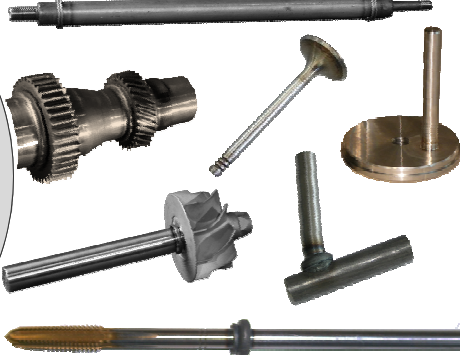
20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010

### Typische Anwendungen



**Anwendungsfelder:**

- An- und Abtriebswellen
- Ventile
- Achsen
- Turbolader
- Kolbenstangen
- Bohrer
- Zahnstangen
- Flansche
- Kabelschuhe
- hydr. Anschlüsse



20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010

### Prozessphasen



- 

**Anreiben**

Zwischen zwei Fügeteilen wird eine Relativbewegung erzeugt. Durch eine axiale Zustellung bekommen die Fügeteile Kontakt.
- 

**Reiben**

Durch die aufgebrachte Kraft (Reibkraft) und die Rotation entsteht Reibung, die beide Werkstücke an den Fügeteilen erwärmt. Der plastifizierte teigige Werkstoff wird hierbei nach außen gedrückt.
- 

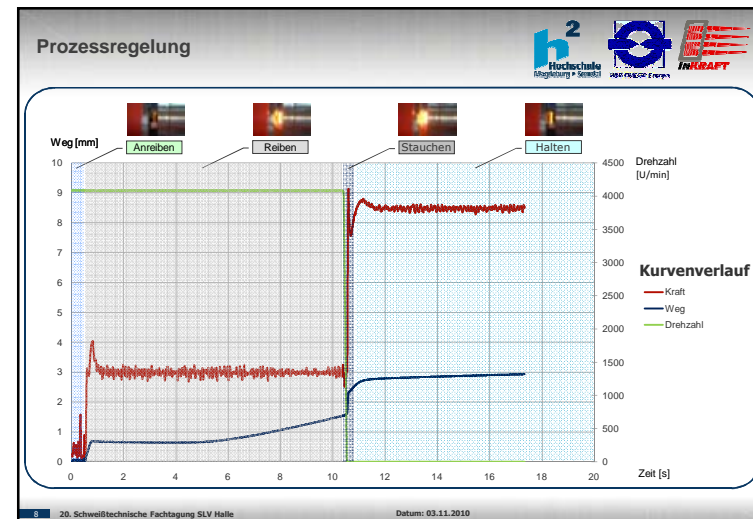
**Stauschen**

Die Rotation wird abgebremst und die Werkstücke gleichzeitig mit erhöhter Kraft (Staukraft) aneinander gepresst.
- 

**Halten**

Nach kurzer Abkühlphase sind beide Werkstücke miteinander verschweißt. Zurückbleibende Schweißwulst läßt Rückschlüsse auf Qualität der Schweißverbindung zu.
- 

20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010



### Meilensteine

Hydraulischer Vorschub    Kraftgeregelter Prozesssteuerung    Servo elektrischer Vorschub    Hochdynamische Prozessführung    Vollautomatische Be- und Entladung

**HRS-120**    **MVR-200**    **MHR-50**

9 20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle    Datum: 03.11.2010

### Meilensteine

Vollautomatische Be- und Entladung    Kontrollierte Wärmeführung    Zykloidreißschweißverfahren    RH 800-SE    High Speed Spindel

**RH-50-SE**    **RH-800-SE**

10 20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle    Datum: 03.11.2010

### Reibschweißmaschine RH800SE

**Technische Daten:**

- Spindeldrehzahl variabel: 0 – 1.500 U/min
- Prozesskraft: 10 bis 800kN (stufenlos regelbar)
- Eilangvorschub: > 10.000 mm/min
- max. Teildurchmesser: 150 mm, Rohrquerschnitt 80mm Vollmaterial
- Mindestteildurchmesser: 20mm
- max. BT-Länge Statorseite: 2.000mm
- max. BT-Länge Rotorseite: 1.000mm

**Genauigkeiten:**

- Rundlaufgenauigkeit: < 0,2mm (40mm neben der Fugestelle)
- Achsversatz: < 0,1mm
- Drehwinkelpositioniergenauigkeit: < 0,1°

11 20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle    Datum: 03.11.2010

### Antriebskonzepte


**Rotationsreißschweißen**

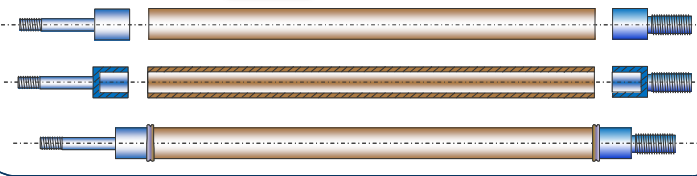
- Vorschubantrieb**
  - Hydraulik-antrieb
  - Servo-elektrischer Antrieb
- Spindeltrieb**
  - Kontinuierlicher Antrieb
  - Schwungrad-antrieb

12 20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle    Datum: 03.11.2010



### Fertigung Vorher / Nachhervergleich

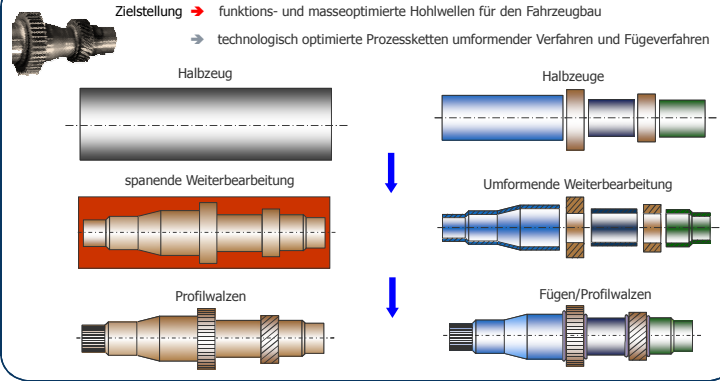
Bauteilbezeichnung, Werkstoff	Bauteil	Fertigung alt	Fertigung neu
Kolbenstange Baustahl/ niedriglegierter Vergütungsstahl		<b>Laserstrahlschweißen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>aufwendige Schweißvorbereitung der Fügestellen</li> <li>Geschlossener abgesicherter Raum notwendig</li> <li>Im Vergleich zum Reibschweißen lange Bearbeitungszeiten</li> </ul>	<b>Reibschweißen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>geringer Zerspanungsaufwand</li> <li>geringer Energieverbrauch</li> <li>keine Entmischung</li> <li>saubere kontrollierbare Wulstbildung</li> <li>Werkstoffsubstitution möglich</li> </ul>



20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010

### Konzept Antriebshohlwelle

Zielstellung → funktions- und masseoptimierte Hohlwellen für den Fahrzeugbau  
 → technologisch optimierte Prozessketten umformender Verfahren und Fügeverfahren



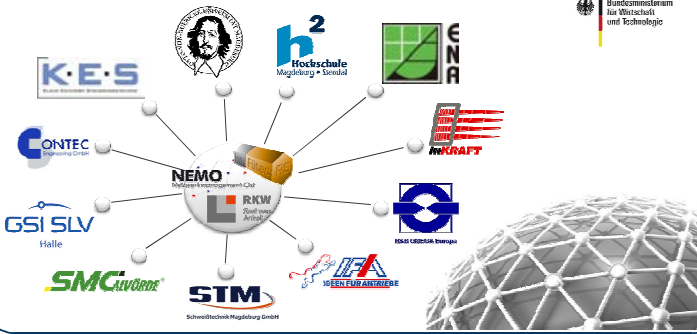
Halbzeug → spanende Weiterbearbeitung → Profilwalzen → Fügen/Profilwalzen

Halbzeuge → Umformende Weiterbearbeitung → Fügen/Profilwalzen

20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010

### Netzwerkverbund InnFüTec RS

Ein regionales Netzwerk zur Entwicklung und Anwendung von innovativen Fügetechnologien



Geleitet durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010

### Reibschweißen mit kontrollierter Wärmeführung

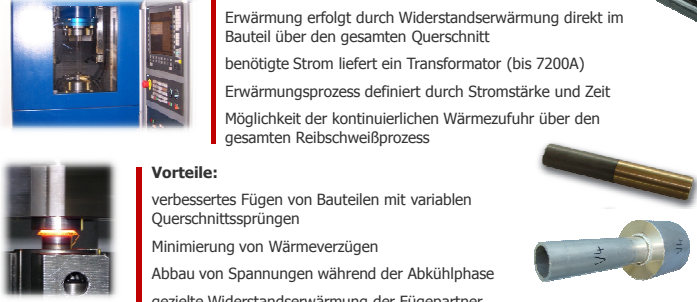
#### Fügen von schwierigen Mischverbindungen und Querschnittsprüngen

**Grundlagen:**

- Erwärmung erfolgt durch Widerstandserwärmung direkt im Bauteil über den gesamten Querschnitt
- benötigte Strom liefert ein Transformator (bis 7200A)
- Erwärmungsprozess definiert durch Stromstärke und Zeit
- Möglichkeit der kontinuierlichen Wärmezufuhr über den gesamten Reibschweißprozess

**Vorteile:**

- verbessertes Fügen von Bauteilen mit variablen Querschnittsprüngen
- Minimierung von Wärmeverzügen
- Abbau von Spannungen während der Abkühlphase
- gezielte Widerstandserwärmung der Fügepartner



20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010

### Reibschweißen mit kontrollierter Wärmeführung

**Einflüsse:**  
 Zeit,  
 Stromstärke,  
 Elektrodenmaterial- und Geometrie,  
 Anpresskraft

**Ziele:**  
 In-Prozesserwärmung  
 genaue Temperaturmessung  
 Erweiterung des Anwendungsspektrums  
 insbesondere für höherfeste Werkstoffe

Elektrode  
 Bauteil  
 Spannbacken  
 Generator

20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010

### Thermografieanalysen

Messwerte		Messwerte	
Def	T (°C)	Def	T (°C)
RPT Min	143,48	Def	143,48
RPT Max	309,82	Def	309,82
Def	avg	Def	avg
RPT	0,32	RPT	1,06

20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010

### Untersuchung Schrumpferhalten

#### Thermische Dehnung und Schrumpfung

Die abweichenden Temperatursdehnungskoeffizienten zweier Werkstoffe haben unterschiedliche thermische Dehnung und Schrumpfung zur Folge.

Längenänderung bei Temperaturänderung

Werkstoff	Lineare Gleichung	R-Quadrat
Silberstahl in mm	$y = 0,0039x + 331,03$	$R^2 = 0,9938$
Hartmetall in mm	$y = 0,0016x + 331,06$	$R^2 = 0,9932$

20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010

### Miniaturreibschweißen

**Grundlagen:**  
 passive Kraftregelung durch vorgespannte Federpakete  
 Integration einer Miniaturreibschweißvorrichtung als modulares Element in Standardbearbeitungszentren  
 Hohe Drehzahlen ermöglichen das Fügen kleiner Bauteile  $d < 3 \text{ mm}$

**Vorteile:**  
 Steigerung der Funktionalität und Produktivität  
 niedrigere Anschaffungskosten  
 kurze Prozessketten durch Reduzierung der Prozessnebenzeiten

3 mm

20. Schweißtechnische Fachtagung SLV Halle Datum: 03.11.2010