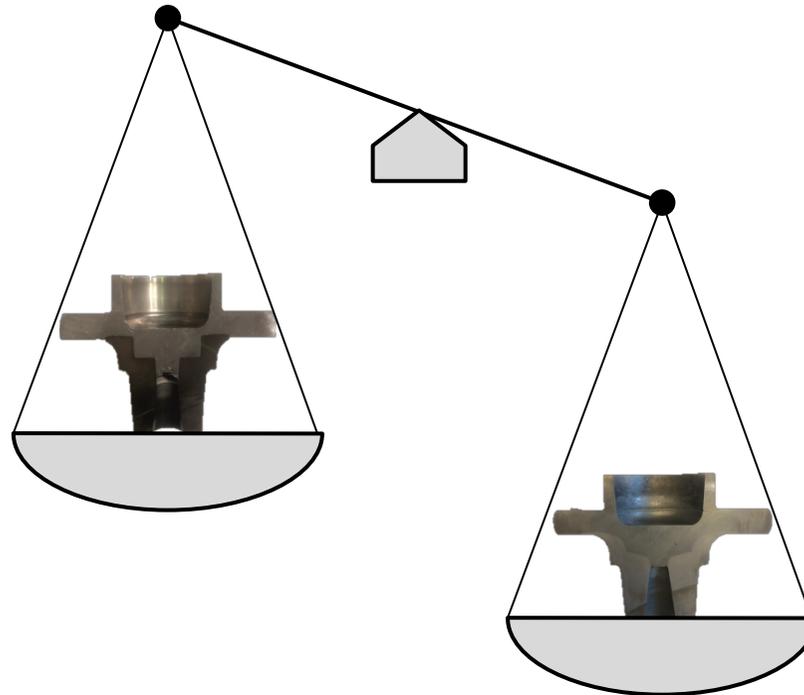


Leichtbau am Beispiel hybride Radnabe

Ziel: Verfahrensbewertung des Verbundschmiedens zur Herstellung hybrider Bauteile



Forschungsinstitut



Julian Diefenbach

Philipp Kuwert

Forschungsvereinigungen



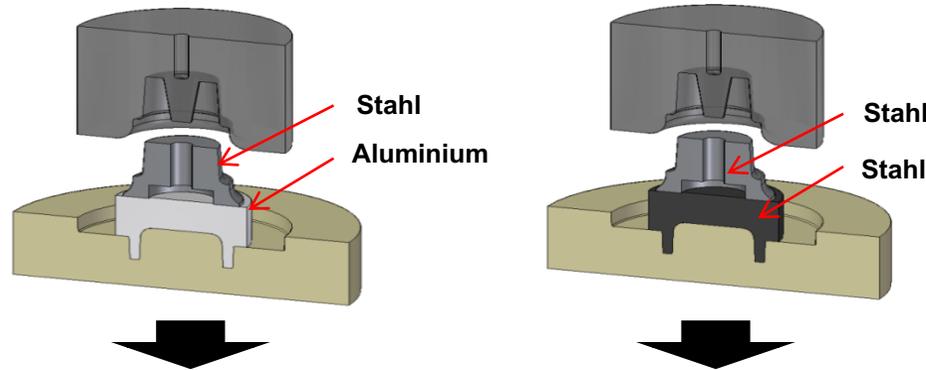
Im Folgenden werden Ergebnisse aus den Forschungsprojekten Untersuchungen zum Verbundschmieden unterschiedlicher artfremder und artgleicher Materialkombinationen (P 1055 / IGF-Nr. 19040 N) präsentiert.

Einführung und Konzept

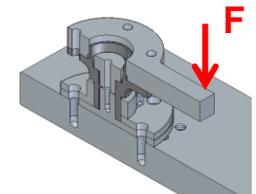
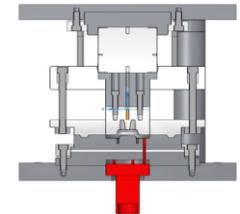
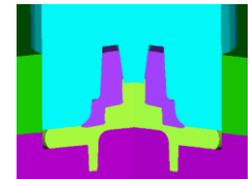
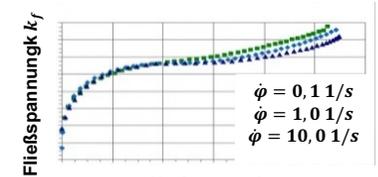
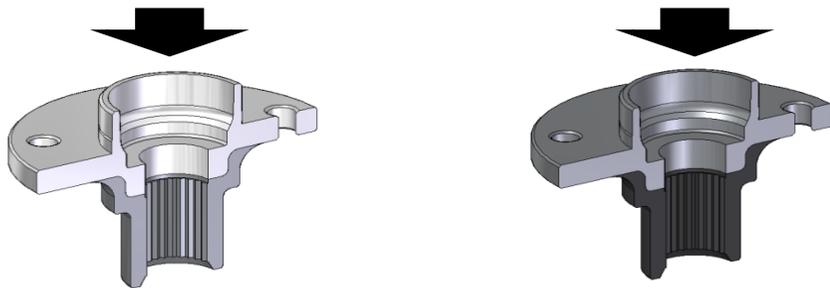
Dipl.-Ing. Julian Diefenbach

Abschlussstreifen massiver Leichtbau

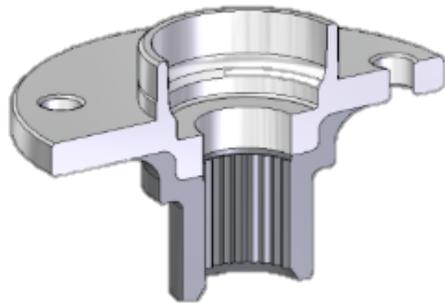
Forschungsvorhaben



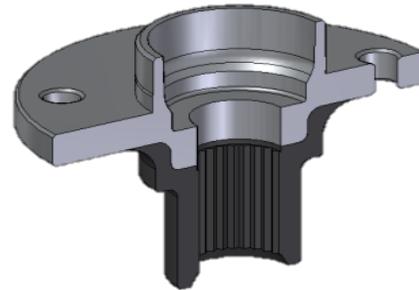
- Kombinierte Warm- und Halbwarmumformung
- Werkstoffverbund durch Stoff-, Form- und Kraftschluss



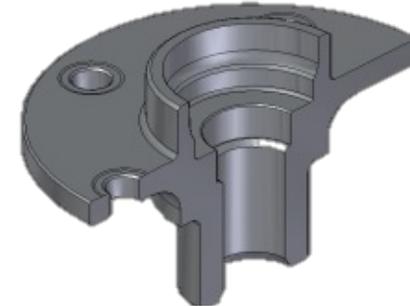
Forschungsvorhaben



Stahl-Aluminium Radnabe



Stahl-Stahl Radnabe



Monoradnabe

	Werkstoff	Gewicht	Vorteil
Stahl-Aluminium Radnabe	C60 / AW 6182	1,02 kg	Gewichtsreduzierung
Stahl-Stahl Radnabe	C60 / 30CrNiMo8	1,98 kg	Verbesserte Bauteileigenschaften
Monoradnabe	C60	1,98 kg	Referenz

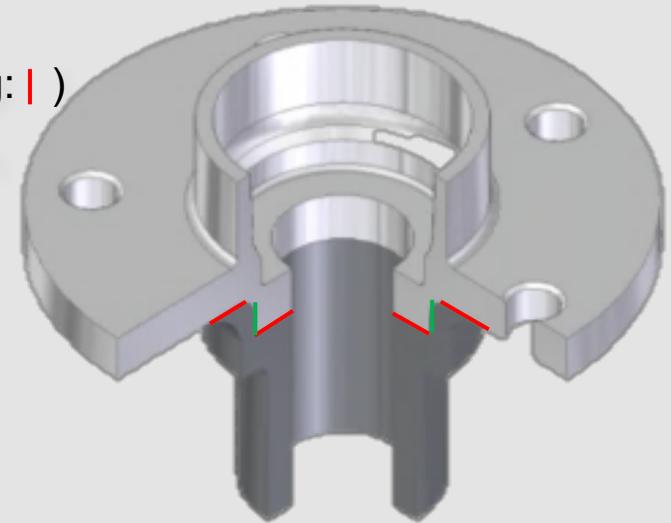
- Durchführung des Vorhabens zur Potentialanalyse der werkstoffspezifischen Vorteile der jeweiligen Materialkombination

Konzeptvorstellung des Materialverbunds

- Maximaler stofflicher Leichtbau durch komplexen Fügezonenverlauf
- Paralleler Stoff- und Kraftschluss zur Erhöhung der Bauteilsicherheit

Fügestrategie:

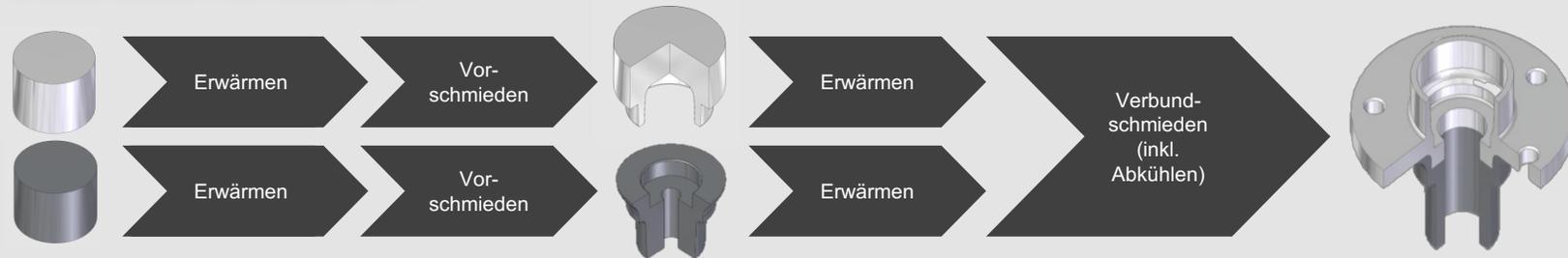
- Stoffschluss an planaren Flächen (Kennzeichnung: |)
- Kombiniertes Kraft-/Formschluss im Mantelbereich (Kennzeichnung: |)
- Umsetzung durch gezielte geometrische Halbzeugauslegung und Gestaltung des Umformprozesses
- Gegenform im Lagerhalbzeug notwendig für die Einstellung eines Querpressverbands



Angestrebter Mischverbund am CAD-Modell

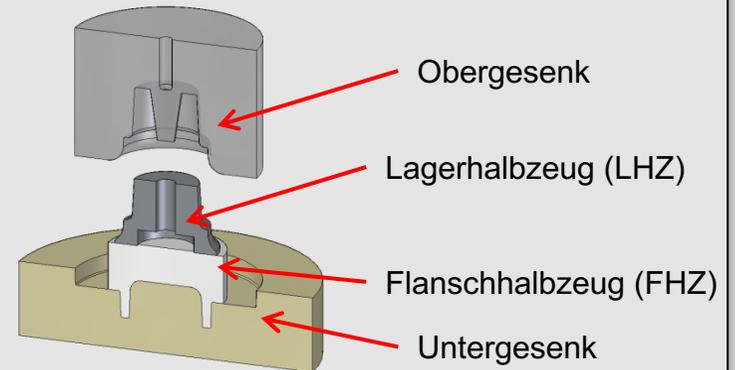
Konzeptvorstellung des Materialverbunds

- Verbundstrategie benötigt Vorgeometrie in den Halbzeugen für artgleiche und artfremde Materialkombinationen



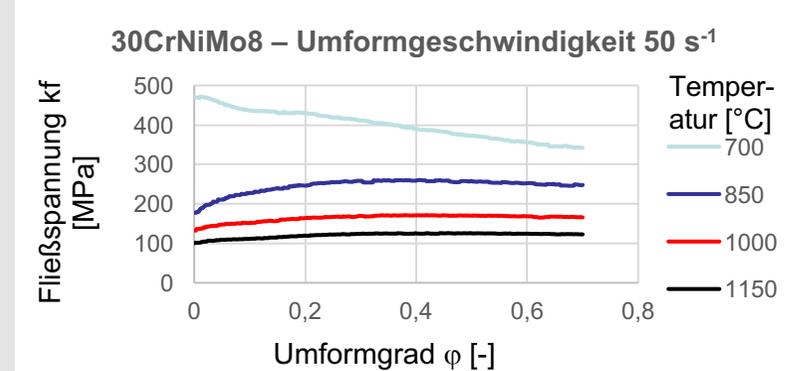
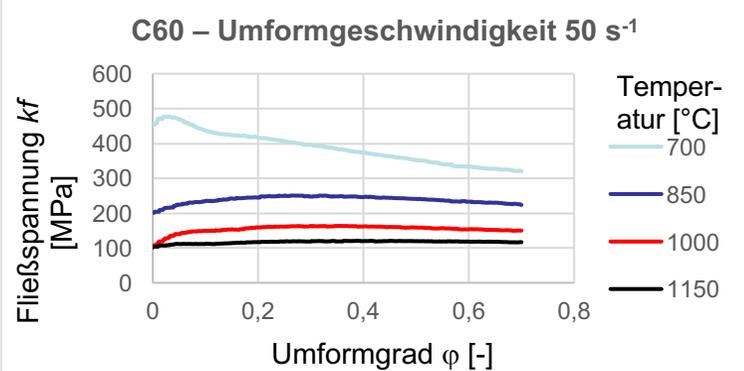
Prozesskette für das Verbundschmieden

- Einschmieden des FHZ abhängig vom mechanischen Widerstand (Fließspannung)
- Niedriger Widerstand im FHZ und hoher Widerstand im LHZ der Nut notwendig
- Fließkurvenaufnahme zur Prozessfensteranalyse notwendig



Schematische Übersicht des Umformprozesses

Konzeptvorstellung des Materialverbunds

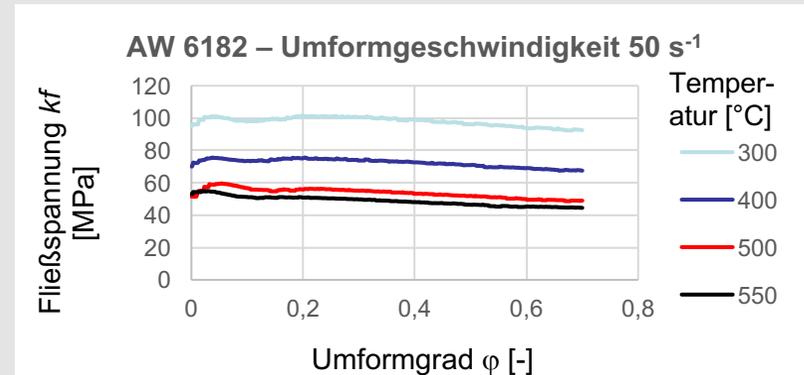


Stahl – Aluminium Radnabe:

- $T_{Al} = 300\text{ °C}$; $k_f \approx 100\text{ MPa}$
- $T_{C60} = 900\text{ °C}$; $k_f \approx 200\text{ MPa}$

Stahl – Stahl Radnabe:

- $T_{C60} = 1.000\text{ °C}$; $k_f \approx 150\text{ MPa}$
- $T_{30CrNiMo8} = 1.100\text{ °C}$; $k_f \approx 150\text{ MPa}$



- Verbundgestaltung in anschließenden numerischen Untersuchungen notwendig

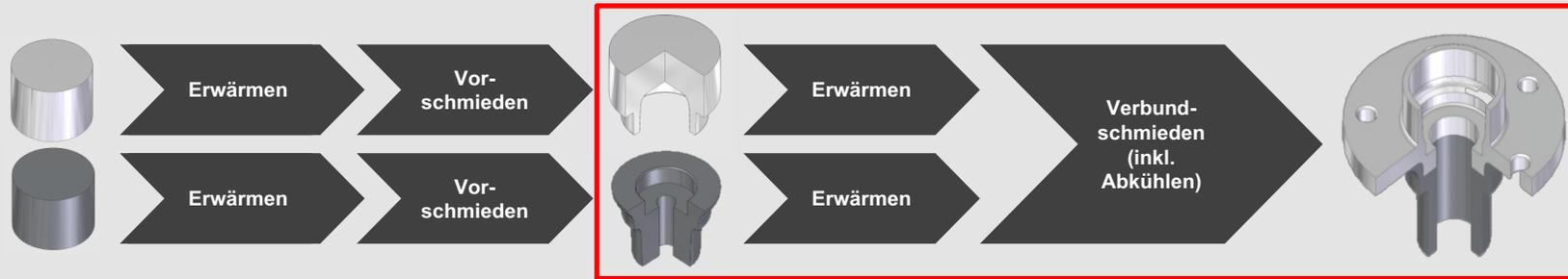
Verbundgestaltung und Eigenschaften

Philipp Kuwert, M. Eng.

Abschlussstreifen massiver Leichtbau

Verbundgestaltung

- Fokus der Untersuchungen liegt auf dem Verbundschmieden der Vorformen

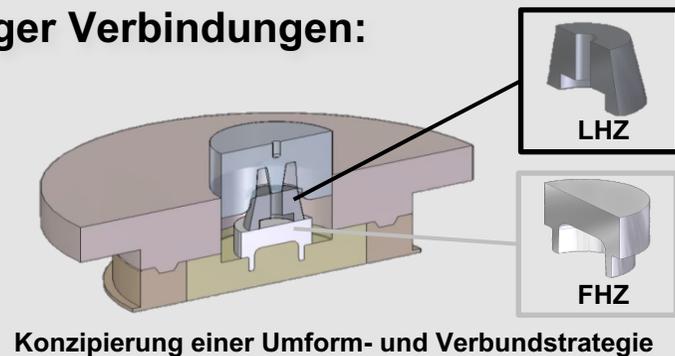


Prozesskette für das Verbundschmieden

- Erfolg der Verbundstrategie maßgeblich von numerischer Vorformauslegung abhängig

Kontrollaspekte zur Bildung stoff- und kraftschlüssiger Verbindungen:

- Ausreichende Oberflächenvergrößerung
- Hoher Kontaktdruck
- Hohe Umformtemperaturen
- Erhalt der inneren Nut
- Ausreichende thermische Schrumpfung des LHZ während des Abschreckens

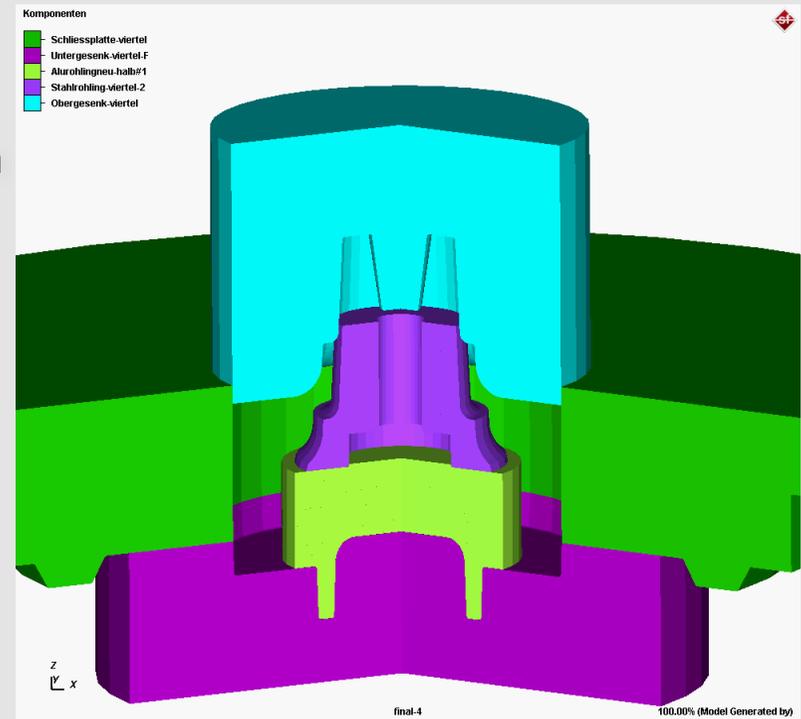


Verbundgestaltung

- Annäherung des oberen Halbzeugs an Endkontur für das kraftschlüssige Fügen
- Vorherige Formgebung des LHZ begünstigt den Verbundschmiedeprozess
- Herstellung des Querpressverbands nur möglich bei geringer Umformung des LHZ

Abschließende Prozessfolge

- Gesenk schließen
- Formgebung der unteren Vorform
- Einschmieden des unteren Werkstoffs
- Aufschumpfen des oberen Werkstoffs durch Abschrecken



Umformsimulation für das Verbundschmieden artfremder und artgleicher Materialkombinationen

Verbundgestaltung



Technische Daten

- Nennpresskraft 5 MN
- Bruttoenergie 40 kJ
- Höhe: 920 mm



Spindelpresse SPR 500

Werkzeugsystem für das Verbundschmieden

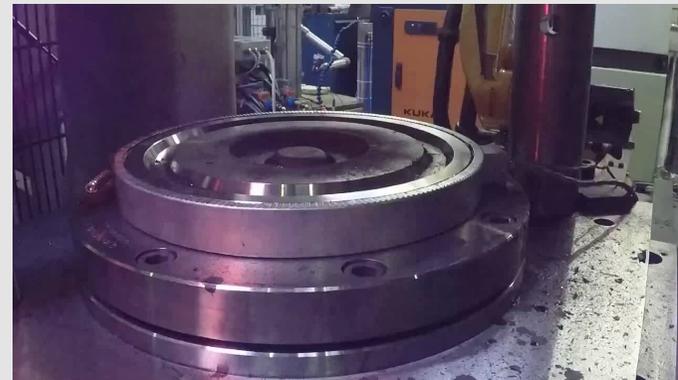
Verbundgestaltung



Spindelpresse SPR 500



Video: Herstellung der Stahl-Aluminium Radnabe



Video: Herstellung der Stahl-Stahl Radnabe

Verbundgestaltung

- Herstellung der Stahl-Aluminium Radnaben ohne Prozessschwierigkeiten
- Fügen der beiden Stahlwerkstoffe nur bei gemeinsamer Erwärmung und Zusammenführung unter Schutzgasatmosphäre möglich

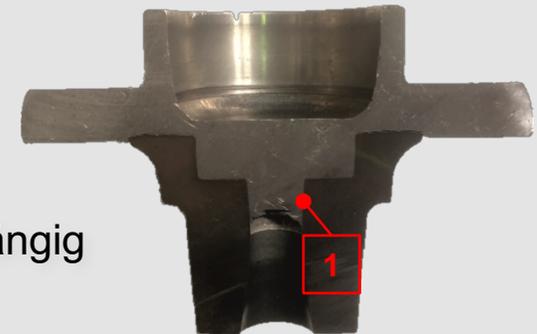


Darstellung der Stahl-Aluminium (links), Stahl-Stahl-(rechts) und Monoradnabe (Mitte)

- Verbundanalyse in weiteren metallografischen und mechanischen Untersuchungen

Eigenschaften der Stahl-Aluminium Radnabe

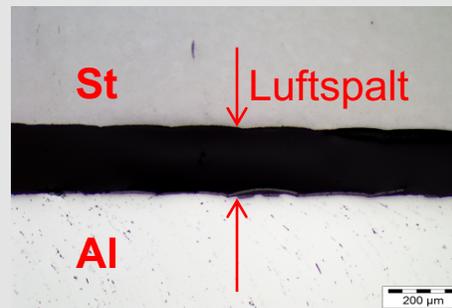
- Lichtmikroskopaufnahmen zeigen kontinuierlichen Verlauf eines Luftspalts bedingt durch Zunder
- Intermetallische Phasen (IMP) nur innerhalb des Bohrungsbereichs mit einer Dicke von $16,33 \mu\text{m}$ vorhanden
- Ausbildung des IMP-Typ von den Versuchsbedingungen abhängig (Umformtemperaturen und chemischer Zusammensetzung)
- Charakterisierung der IMP-Phasen erforderlich aufgrund der Übertragbarkeit auf zukünftige Prozessauslegungen
- Charakterisierung mittels EDX-Analysen und Mikrohärtemessungen



Stahl-Aluminium Radnabe (Halbschnitt)



Übersicht zur Fügezone



Verdichtungszone im Einschmiedebereich

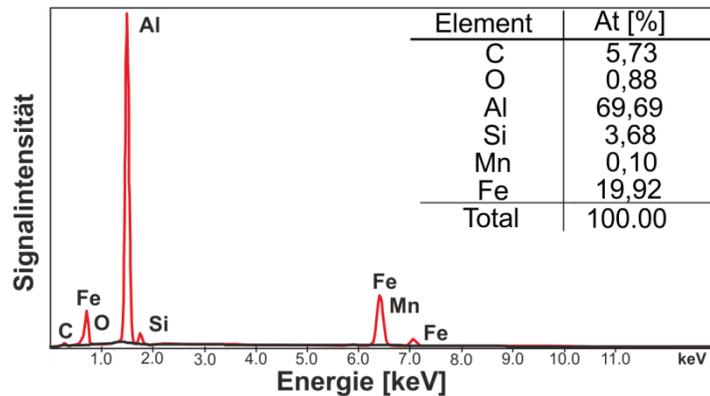


Intermetallische Phasen im Pkt. 1

Eigenschaften der Stahl-Aluminium Radnabe

EDX-Analyse

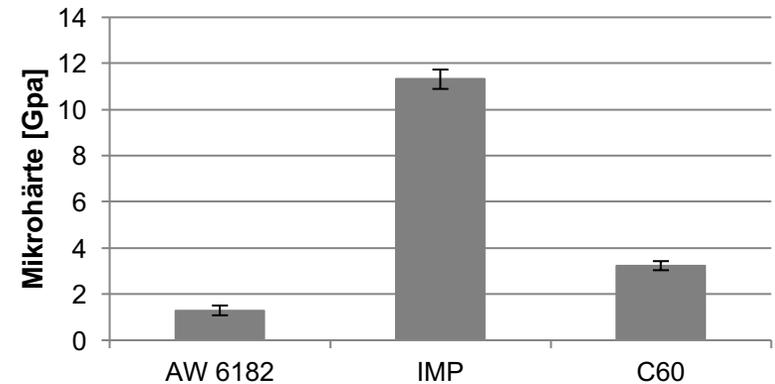
- EDX-Analyse an unterschiedlichen Bereichen der Fügezone
- Zusammensetzung entspricht Phasentyp Fe_2Al_5
- Festigkeit der IMP grundsätzlich geringer als die der Grundwerkstoffe



EDX-Analyse der intermetallischen Phase

Mikrohärtemessungen

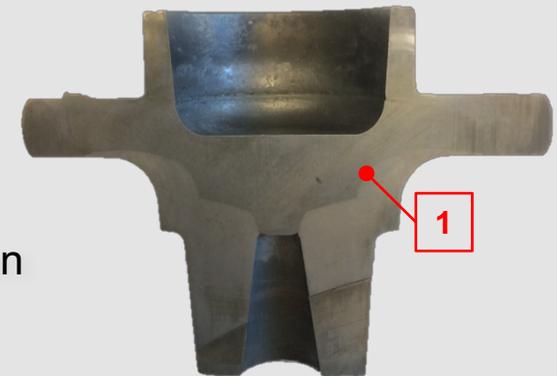
- Hoher Härteanstieg bestätigt die Bildung der IMP vom Typ Fe_2Al_5
- Sprödes Verhalten verschlechtert die dynamischen Bauteileigenschaften
- Erhöht Notwendigkeit einer geringen Phasensaumdicke ($< 10 \mu m$)



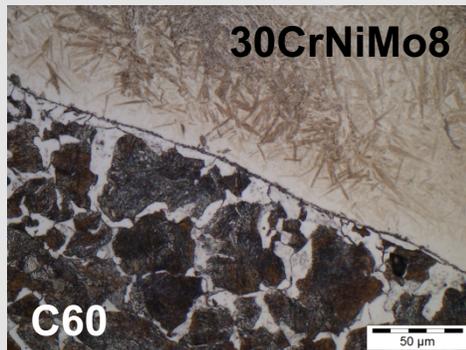
Mikrohärtemessungen für die artfremde Materialkombination

Eigenschaften der Stahl-Stahl Radnabe

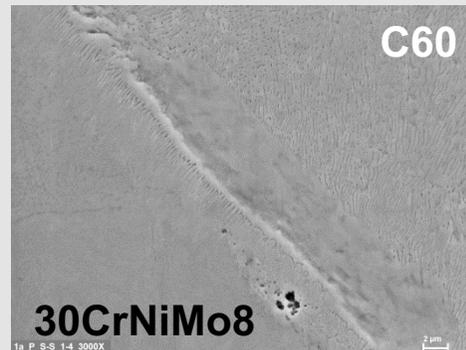
- Geringe Luftspalte im Fügeverbund aufgrund Schutzgaseinschlüsse während des Verbundschmiedens
- Stoffschluss konnte durch Rasterelektronenmikroskop identifiziert werden
- Charakterisierung der Fügezone mittels Mikrohärtemessungen und EDX-Analyse



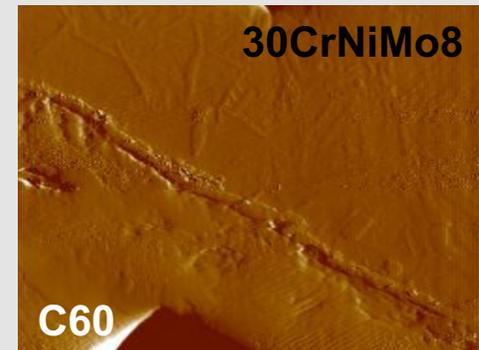
Stahl-Stahl Radnabe (Halbschnitt)



Fügezonenübersicht in Pkt. 1



Fügezonenübersicht durch REM

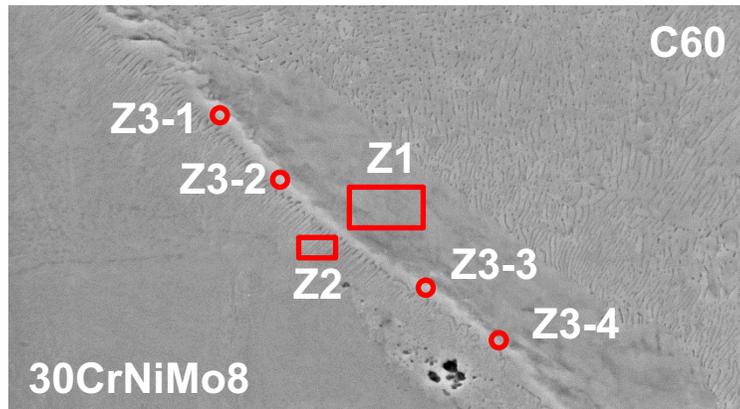


Fügezonenübersicht am Nanoindenter

Eigenschaften der Stahl-Stahl Radnabe

EDX-Analyse

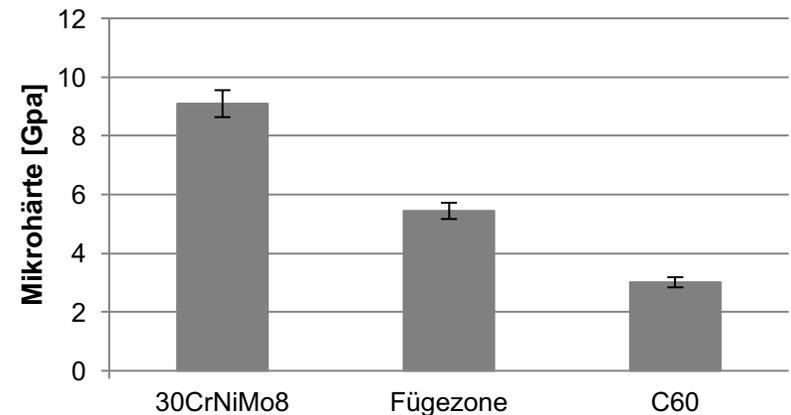
- Nahtdicke bei der Stahl-Stahl Radnabe ca. 0,5 μm
- Grundwerkstoffe sind im Bereich (Z1 und Z2) der Fügezone ebenfalls von Diffusion betroffen
- Fügezone (Z3-1 bis Z3-4) entspricht einer Kombination der Grundwerkstoffe



Fügezonenübersicht der artgleichen Materialkombination

Mikrohärtemessungen

- Fügezone entspricht ungefähr einem Mittelwert zwischen den beiden Grundwerkstoffen
- Keine Versprödung durch die ablaufenden Diffusionsvorgänge



Mikrohärtemessungen für die artgleiche Materialkombination

Eigenschaften

Stahl-Aluminium Radnabe

- Stahlseitige Zunderbildung verhindert die Umsetzung der angestrebten Fügestrategie
- Bildung spröder intermetallischer Phasen vom Typ Fe_2Al_5
- Phasensaumdicke überschreitet mit $16,33 \mu\text{m}$ zulässige Dicke von $10 \mu\text{m}$
- Grundsätzlich reduzierte Bauteilfestigkeit ist zu erwarten
- Zeitabhängiger Spannungsabbau führt teilweise zur Trennung der Materialien

Stahl-Stahl Radnabe

- REM- und EDX-Analysen zeigen erfolgreiche Verbindung der beiden Stahlwerkstoffe
- Diffusionsvorgänge ebenfalls in den Grundwerkstoffen zu beobachten

- Weitere Charakterisierung der Verbindungen mittels Torsions-, Biege- und Push-Out Versuchen

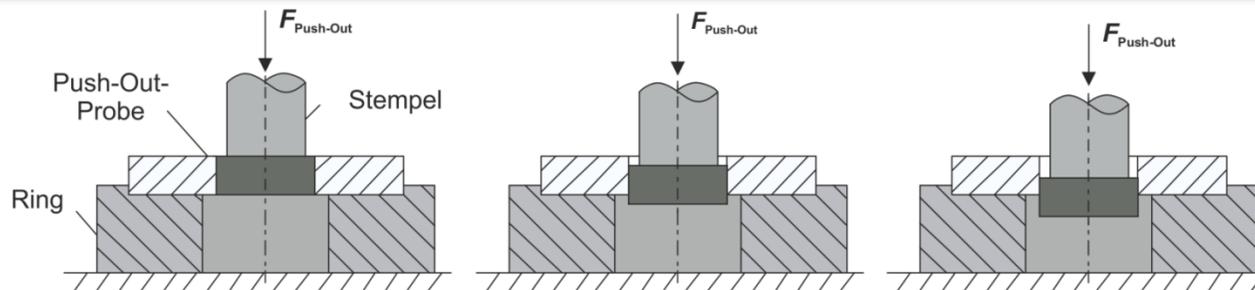
Eigenschaften

Vorgehensweise – Push-Out Versuche:

- Entnahme von scheibenförmigen Segmenten aus dem Fügeverbund
- Lagerung des Mantelwerkstoffes auf einem Ring
- Ausdrücken des inneren Werkstoffes durch das axiale Verfahren eines Stempels

Ergebnisse:

- Stahl-Aluminium Radnabe: Keine Prüfung möglich (Kein Werkstoffverbund)
- Stahl-Stahl Radnabe: 13 bis 21 MPa (Formschluss)
Verbundfestigkeit oberhalb 120 MPa (Stoffschluss)



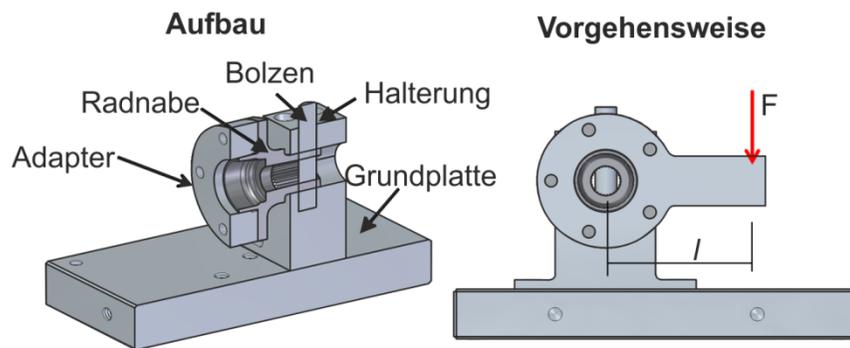
Schematischer Aufbau der Push-Out Versuche

Eigenschaften

Torsionsversuche

Ergebnisse:

- Stahl-Aluminium: Keine Prüfung möglich
- Stahl-Stahl: max. Belastung bis 11.000 Nm (Versagensgrenze des Prüfstands, Erkennbares Versagen im Lagerwerkstoff)
- Monoradnabe: Prüfung nicht möglich

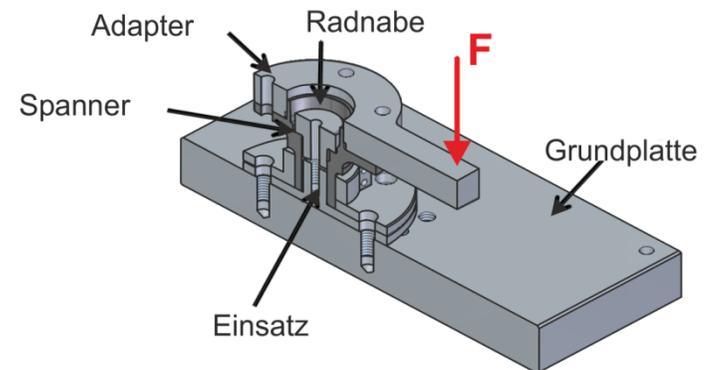


Prüfstand für die Durchführung der Torsionsversuche

Biegeversuche

Ergebnisse:

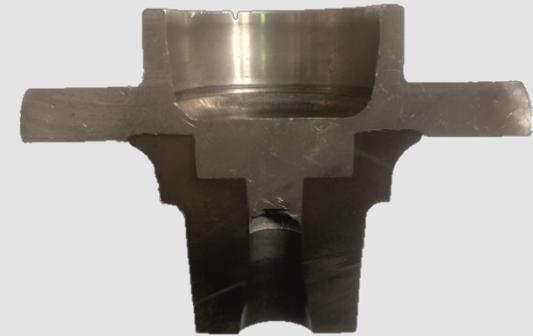
- Stahl-Aluminium: Keine Prüfung möglich
- Stahl-Stahl: max. Belastung bis 9.500 Nm (Versagensgrenze des Prüfstands)
- Monoradnabe: Prüfung nicht möglich



Prüfstand für die Durchführung der Biegeversuche

Zusammenfassung und Ausblick

- Herstellung artfremder Radnaben mit lokal variierenden Mischverbund nur in einem kleinen Prozessfenster unter Schutzgasanwendung möglich
- Mögliche Reduzierung des Bauteilgewichts um ca. 1 kg
- Zunderbildung während des Halbzeugtransfers in die Umformmaschine vermeidet das stoffschlüssige Fügen im angestrebten Bereich
- Spanende Nachbearbeitung führt zum Bauteilversagen
- Keine Erfassung der mechanischen Eigenschaften möglich
- Lösung durch Neuauslegung der Vorformen



Stahl-Aluminium Radnabe (Halbschnitt)

Zusammenfassung und Ausblick

- Verbundschmieden der Stahlwerkstoffe nur bei Erwärmung und Zusammenführung in Schutzgasatmosphäre möglich
- Bereits geringe Zunderbildung verhindert das stoffschlüssige Fügen der Werkstoffe
- Teilweise geringe Spaltmaße vorhanden infolge der Schutzgaseinschlüsse
- Abhilfe durch Neuauslegung der Vorformen
- Chemische Zusammensetzung entspricht einer Kombination der Grundwerkstoffe
- Mechanische Eigenschaften der Fügenaht konnten nicht ausreichend erfasst werden
- Funktioneller Leichtbau und Performancesteigerung können in folgenden Forschungsvorhaben untersucht werden



Stahl-Stahl Radnabe (Halbschnitt)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ansprechpartner für Ihre Rückfragen:

Philipp Kuwert, M.Eng.
Tel.: +49 (0) 511 762 2166
Tel.: +49 (0) 511 762 3007
kuwert@ifum.uni-hannover.de



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit