Forschungsvorhaben: AiF-Nr. BR03120/09

Thema: Schweißen von pulvermetallurgisch hergestellten ferritischen Chromstählen

Laufzeit: 01.02.2010 – 31.12.2011

Statusbericht Februar 2011

1 Forschungsziele

Mit dem Forschungsvorhaben sollen Grundlagen für eine prozesssichere, reproduzierbare und kostengünstige schweißtechnische Verarbeitung hochlegierter ferritischer, pulvermetallurgisch hergestellter Chromstähle gelegt werden.

Dazu wird im ersten Schritt die grundsätzliche Eignung ausgewählter Verfahren für die Aufgabenstellung untersucht. Zur Anwendung kommen das MSG-, das WIG- und das Plasmaschweißen. Die Verfahren mit nicht abschmelzender Elektrode werden hierbei mit und ohne Zusatzwerkstoff untersucht.

Aufgrund der herstellungsbedingten Porosität des Grundwerkstoffs ist mit einer erhöhten Porenbildung in der Schweißnaht zu rechnen. Durch die Porosität wird eine Aufnahme und Speicherung von Gasen sowie Flüssigkeiten im Grundwerkstoff erleichtert. Um zu ermitteln, inwieweit sich die Werkstückvorbereitung auf das Schweißergebnis auswirkt, werden im Verlauf des Projektes Probenstücke durch unterschiedliche Fertigungsverfahren präpariert, z.B. Fräsen und Wasserstrahlschneiden. Da bisher keine Untersuchungen zum Prozessverhalten, zu mechanisch-technologischen Kennwerten und zu den metallurgischen Besonderheiten bei der schweißtechnischen Verarbeitung pulvermetallurgisch hergestellter ferritischer Chromstähle existieren, sollen die angestrebten Ergebnisse als Leitfaden für den Anwender dienen.

Es sollen Aussagen getroffen werden können, welche Schweißverfahren, mit und ohne Zusatzwerkstoff, ein ausreichend stabiles Prozessfenster bieten und welcher Zusatzwerkstoff eingesetzt werden kann. Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen ein sicheres Verarbeiten dieser Werkstoffe ermöglichen unter Kenntnis der erzielbaren mechanisch technologischen Gütewerte.

Einen Schwerpunkt bildet dabei die Verbindung pulvermetallurgischer Werkstoffe mit konventionell hergestellten Blechen. Alle technologischen Verfahrensparameter werden erfasst und unter werkstoffseitigen sowie wirtschaftlichen Gesichtspunkten bewertet.

2 Forschungsergebnisse

Im letzten Statusbericht wurde die eingesetzten Zusatzwerkstoffe vorgestellt. Um die Schweißungen vergleichbar zu machen wurden alle Elektroden mit reinem Argon als Schutzgas verschweißt. Dabei wurde festgestellt, dass keine sichtbare Beeinflussung des

Gefüges in der Wärmeeinflusszone im Grundwerkstoff zu erkennen ist. Des Weiteren wurde darüber informiert, dass sich die Porenhäufigkeit und -größe im Bereich zwischen Schweißgut und Grundwerkstoff von der eingebrachten Wärme abhängen. Zudem konnte festgestellt werden, dass mit den rutilen Fülldrähten und der Massivdrahtelektrode akzeptable Schweißnähte erzeugt werden konnten.

Da sich keine sichtbare Veränderung des Gefüges in der Hochtemperaturzone des wärmebeeinflussten Bereiches im Grundwerkstoff einstellt, wurde mit Untersuchungen zur Bestimmung des Wärmeleitkoeffizienten begonnen.

Weiterhin wurden die Ergebnisse aus den Auftragsschweißungen zum WIG- und WLP-Schweißen vorgestellt.

2.1 Bestimmung des Wärmeleitkoeffizienten

Um festzustellen, ob die bekannten Berechnungsmodelle zur Bestimmung der Abkühlzeit ($t_{8/5}$- bzw. $t_{12/8}$-Zeit) und die erlangten Erkenntnisse über die Gefügeausbildung beim Fügen von gewalzten ferritischen Chromstählen auf die pulvermetallurgisch hergestellten Stähle übertragbar sind, wurde der Wärmeleitkoeffizient bestimmt.

Anhand der Messungen an verschiedenen Vergleichsproben, bei denen der Wärmeleitkoeffizient bekannt ist konnte unter zu Hilfenahme der Gleichung (1) belegt werden, dass die Wärmeleitung der pulvermetallurgisch hergestellten Stähle gleich der von gewalzten Stählen ist.

$$\dot{Q} = \lambda \cdot \frac{A}{l} \cdot \Delta T \qquad (1)$$

Laut Werkstoffdatenblatt hat der gewalzte ferritische Stahl 1.4509 einen Wärmeleitkoeffizienten von 25 W/(m*K). Die ermittelte Wärmeleitfähigkeit des pulvermetallurgisch hergestellten ferritischen Stahls beträgt 28,5…29,5 W/(m*K). Daraus lässt sich ableiten, dass die Gaseinschlüsse (Poren) des Grundwerkstoffes sich nicht bzw. nur geringfügig auf die Wärmeleitung des Werkstoffes auswirken.

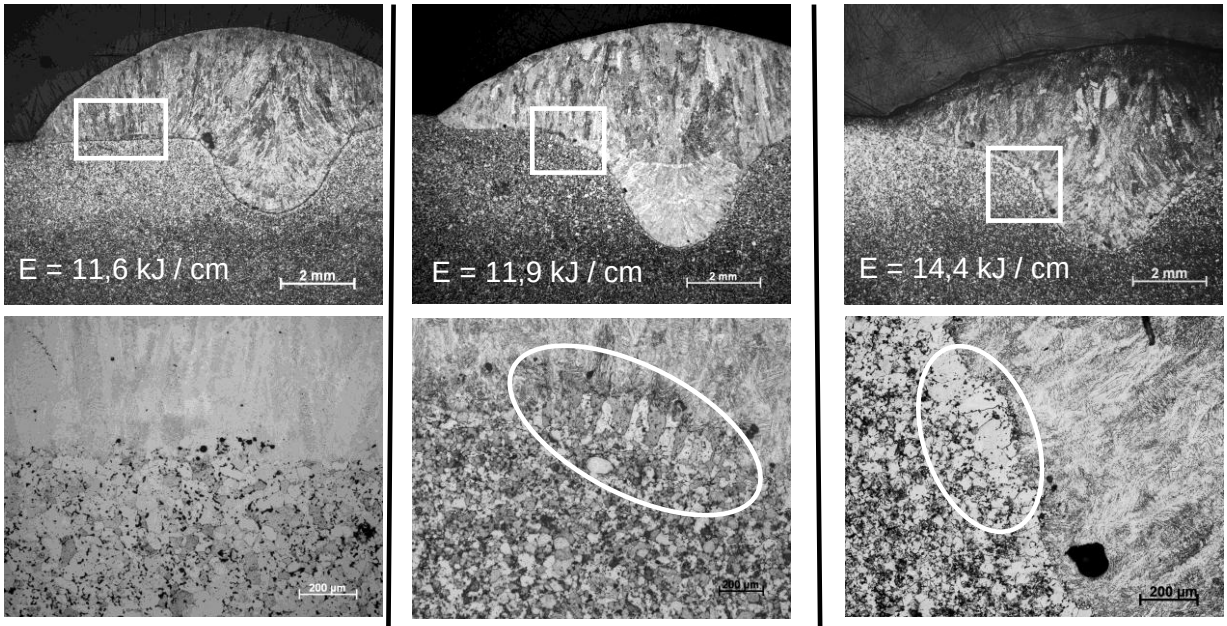
Um festzustellen, ob bei sinkender Dichte die Wärmeleitung schlechter wird, wurde der Wärmeleitkoeffizient für den austenitschen PM-Stahl (ρ = 6,85 g/cm^3) ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass auch die geringere Dichte keinen Einfluss auf die Wärmeleitung hat.

Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass die Berechnungsmodelle angewendet und die Ergebnisse aus Untersuchungen zu gewalzten ferritischen Chromstählen genutzt werden können, um Vorhersagen über das sich ausbildende Gefüge zu treffen.

2.2 Einfluss des Schutzgases

Die vom PbA zur Verfügung gestellten Drahtelektroden wurden im ersten Schritt alle zur Vergleichbarkeit mit reinem Argon als Schutzgas verschweißt. Später folgten Schweißungen mit den vom Drahtelektrodenhersteller empfohlenen Schutzgasen. Die Schweißergebnisse zeigen, dass durch das Schutzgas eine wesentliche Beeinflussung der Gefügeausbildung in der Wärmeeinflusszone stattfindet. Werden beispielsweise die Schweißungen der Massiv-

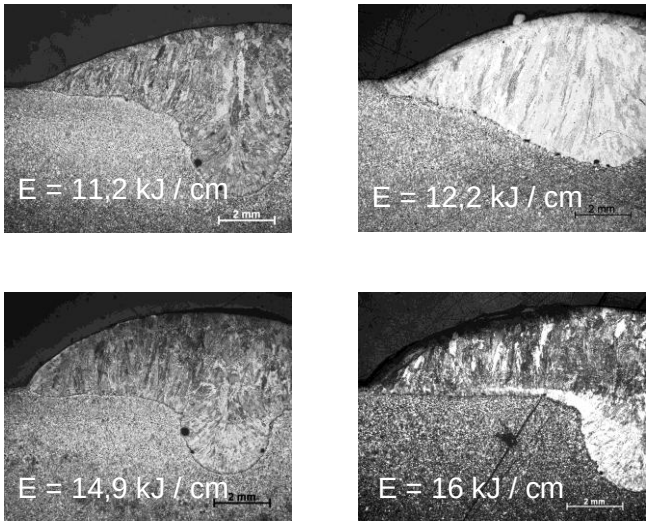
drahtelektroden mit unterschiedlichen Schutzgasen verglichen, kann eine leichte Grobkornbildung in der Wärmeeinflusszone des Grundwerkstoffes bei Verwendung von CO_2 im Schutzgas festgestellt werden. In der Abbildung 1 sind die Querschliffe der Schweißgüter, die mit Massivdrahtelektrode und unterschiedlichen Schutzgasen hergestellt wurden, gegenübergestellt.



100 % Ar | 98 % Ar + 2 % CO_2 | 82 % Ar + 18 % CO_2

Abbildung 1: mit G 19 9 Nb Si und unterschiedlichen Schutzgasen erzeugte Schweißnähte

Eine Ursache für die Bildung des Grobkorns könnte ein Wärmestau sein, da sich das Grobkorn meist im Bereich des Radius´ am „Argonfinger“ bildet. Weiterhin steigt durch die Zumischung von 18 % CO_2 die Wärmeeinbringung um etwa 4 %. Überdies sorgt die höhere Wärmeeinbringung für eine bessere Entgasung des Schweißgutes. Zudem erzeugt CO_2 ein



100 % Ar | 82 % Ar + 18 % CO_2

Abbildung 2: Vergleich der Porenbildung bei Verwendung den Massivdrahtelektrode G 19 9 Nb Si und unterschiedlicher Schutzgase

dünnflüssigeres Schmelzbad, welches sich ebenfalls förderlich auf die Entgasung auswirkt. Während des Schweißens zerfällt das CO_2 in CO und O_2. Dabei setzt der Sauerstoff die Oberflächenspannung des Schweißgutes herab und sorgt für ein besseres Fließverhalten sowie für eine gute Entgasung. Ersichtlich wird die gute Entgasung beim Vergleich der in Abbildung 2 dargestellten Schliffbilder. In den rechten Schliffbildern ist eine geringere Porengröße zu erkennen.

Die Härtemessungen ergaben, dass sich die Härtewerte der Wärmeeinflusszone und der Hochtemperaturzone des Grundwerkstoffes nur unwesentlich durch das Schutzgas ändern. In den Diagrammen der Abbildung 3 sind die Härtewerte der Schweißungen mit der Massivdrahtelektrode und unterschiedlichen Schutzgasen dargestellt.

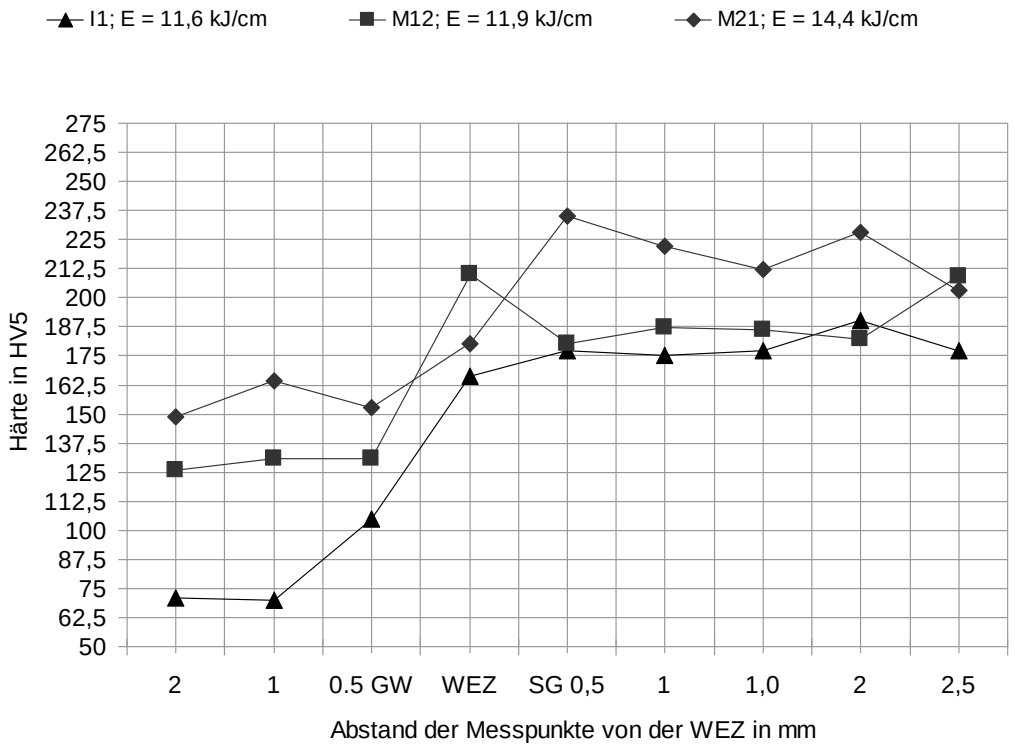
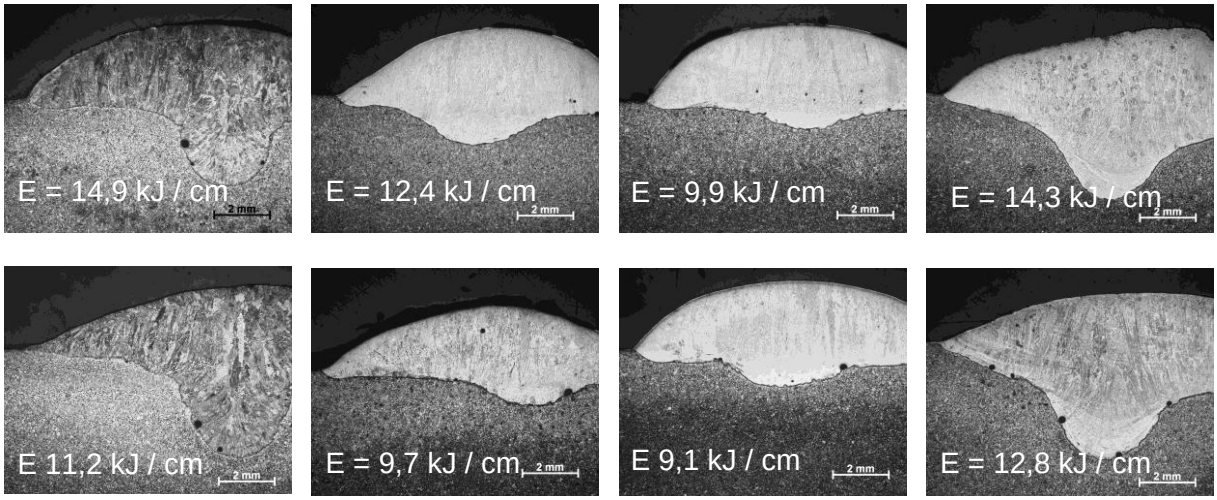


Abbildung 3: Härtewerte von Schweißungen mit Massivdrahtelektrode und unterschiedlichen Schutzgasen

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch das Schutzgas ein wesentlicher Einfluss auf das sich ausbildende Gefüge und die Porenentstehung zwischen Schweißgut und Grundwerkstoff genommen werden kann. Darüber hinaus zeigt die Abbildung 3, dass eine Aufhärtung durch die unterschiedlichen Schutzgase nicht zu verzeichnen ist.

2.3 Einfluss der Lichtbogenart

Es wurde bereits festgestellt, dass mit steigender Streckenenergie die Porenhäufigkeit zwischen Schweißgut und Grundwerkstoff zunimmt. Dies gilt aber nur solange gleiche Lichtbogenarten (Impulslichtbogen) eingesetzt werden. Bei der Verwendung eines Sprühlichtbogens



G 19 9 Nb Si	T 19 12 3 L P M1	T 19 12 3 L R M3	T 19 12 3 L M M1
Massivdraht	Rutiler Fülldraht		Metallpulverfülldraht

Abbildung 4: Einfluss der Lichtbogenarten mit v_D = 8 m/min auf das Schweißergebnis, oben: Impulslichtbogen, unten: Sprühlichtbogen

treten, trotz geringerer Streckenenergie gegenüber dem Impulslichtbogen vermehrt Poren auf. Aus den Schliffbildern der Abbildung 4 wird deutlich, dass trotz höherer Streckenenergie beim Impulslichtbogen (Abbildung 4 oben) kleinere Poren als beim Sprühlichtbogen mit geringeren Streckenenergien (Abbildung 4 unten) entstehen. Am deutlichsten wird der Einfluss des Lichtbogens auf die Porenbildung bei den Fülldrahtelektroden.

2.4 Verbindungsschweißungen

Im ersten Schritt der Untersuchungen zu den Mischverbindungen zwischen gewalzten - und pulvermetallurgisch hergestellten Stählen wurden die Proben, wie in Abbildung 5 dargestellt,

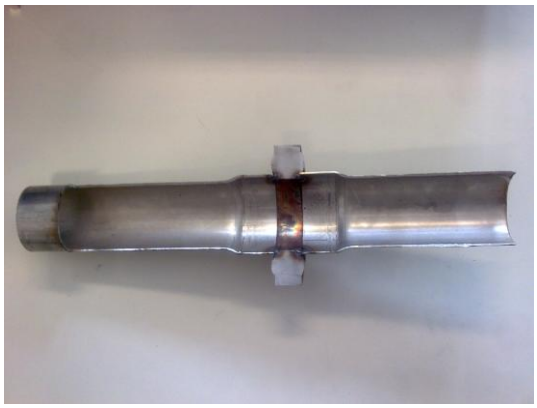


Abbildung 5: Probenvorbereitung für Mischverbindung

vorbereitet. Die Proben wurden mit der Massivdrahtelektrode (G 19 9 Nb Si) und einer Metallpulverfülldrahtelektrode (T 19 12 3 M M3) sowie einer rutilen Fülldrahtelektrode (T 19 12 3 L R M1) und den laut Datenblatt empfohlenen Schutzgasen gefügt. Aufgrund der größeren Masse des PM-Stahls wird der Lichtbogen zu dieser hin abgelenkt. Dadurch konnte das gewalzte Rohr nicht bei allen Schweißungen komplett aufgeschmolzen werden (Abbildung 6).

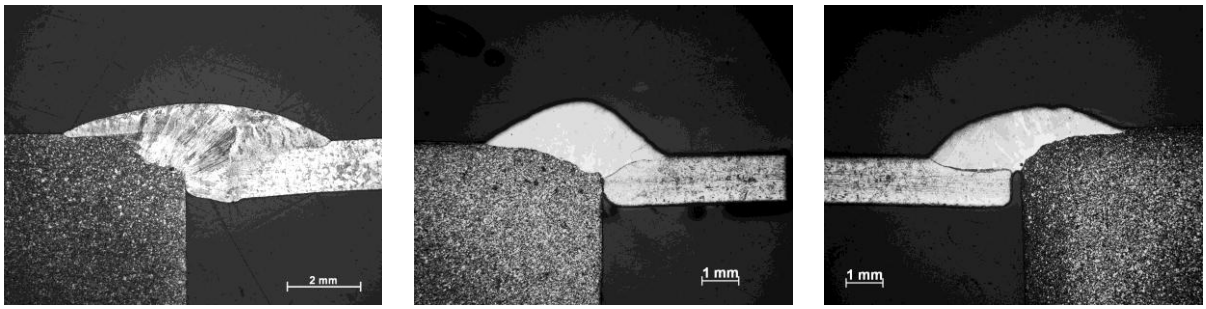


Abbildung 6: Mischverbindung durch unterschiedliche Elektroden gefügt, links: G 19 9 Nb Si, Mitte: T 19 12 3 M M3, rechts: T19 12 3 L R M1

Um der o. g. Lichtbogenablenkung zu entgehen, wurde der PM-Stahl mechanisch ohne Kühlung bearbeitet und auf die Abmessung des Rohres gedreht. In der Abbildung 7 sind zwei gedrehte PM-Stahl Proben dargestellt. Die Probe der linken Abbildung wurde mit einer Badsicherung versehen. In der rechten Abbildung ist die Variante ohne Badsicherung dargestellt.

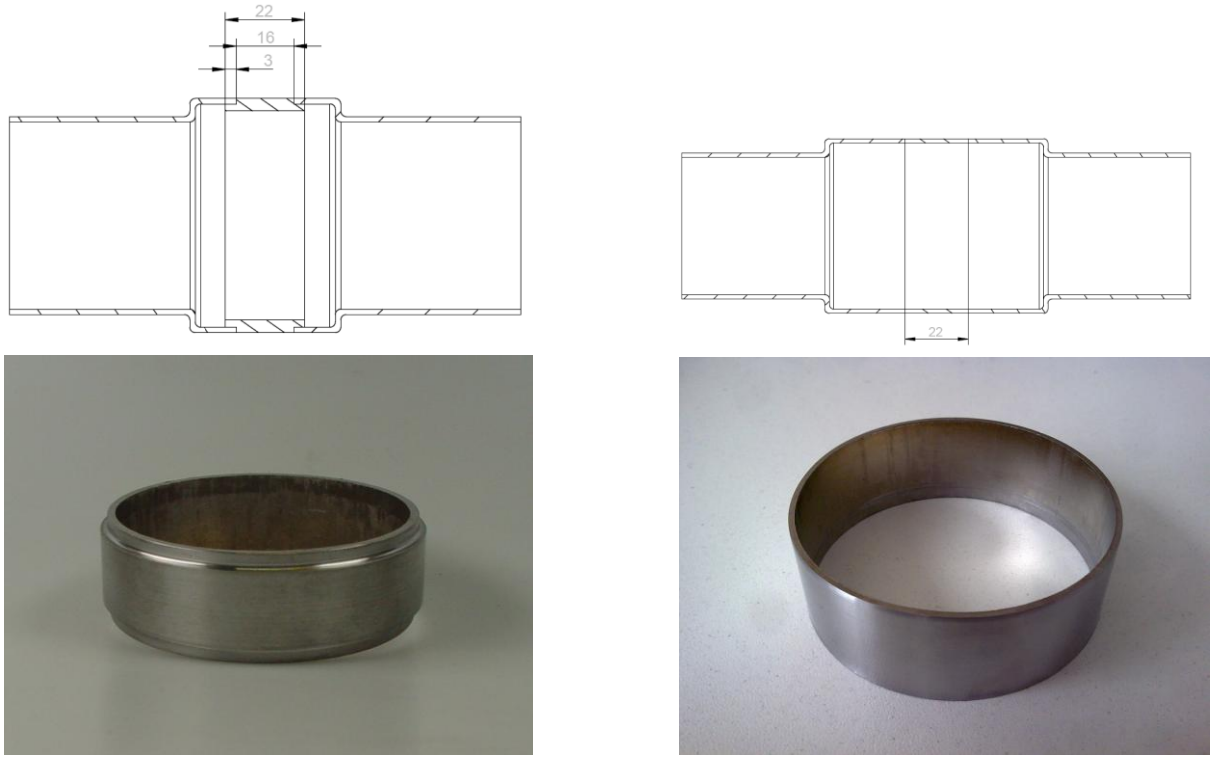


Abbildung 7: Probenvorbereitung für Mischverbindung, links: mit Badsicherung, rechts: ohne Badsicherung

Die Verbindungsschweißungen mit den oben gezeigten Proben werden derzeit metallographisch ausgewertet.

Bei der letzten Sitzung des PbA wurde beschlossen, dass die gedrehten Proben mit einer Drahtelektrode (jeweils für G 19 9 Nb Si, T 19 12 3 M M3 und T 19 12 3 L R M1) an zwei Rohre geschweißt werden. Diese Verbindungen werden dann einem Zugversuch unterzogen.

2.5 Planung der weiteren Untersuchung

Zeitnah werden die Mischverbindungen mit den in der letzten Sitzung des PbA besprochenen Elektroden gefügt. Die Schweißverbindungen werden metallographisch ausgewertet und Zugprüfungen unterzogen. Des Weiteren folgen Mehrlagenschweißungen. Um sicherzustellen, dass die gewonnenen Erkenntnisse, die aus den Auftragsschweißungen gewonnen wurden richtig sind, werden ausgewählte Parameter wiederholt und metallographisch untersucht. Durch einen Vergleich der Ergebnisse können die bereits getroffen Aussagen verifiziert bzw. korrigiert werden.

3 Projektbegleitender Ausschuss

Die zweite Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses fand am 02.11.2010 in Pforzheim statt.

Chemnitz, 14.02.2010

Ort, Datum

Unterschrift des Projektleiters
und Stempelabdruck der Forschungsstelle