Federal Institute for Materials Research and Testing

WELDING AND JOINING INSTITUTE
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Zwischenbericht

Thema: Anwendung der Mehrstrahltechnik zur Reduzierung der Eigenspannungen bei EB- und LB-geschweißten Bauteilen

Forschungsprojekt: IGF-Nr. 16.139 N/DVS-Nr. 6.069

Laufzeit: 01.07.2009 - 30.06.2011

1 Forschungsziel / Ergebnisse

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, eine prozessintegrierte lokale Wärmebehandlung nach dem Schweißvorgang bei Strahlschweißverfahren (Laser- und Elektronenstrahl) einzusetzen, um die Eigenspannungen im geschweißten Bauteil zu reduzieren bzw. je nach Anwendung einen günstigen Druckspannungszustand zu erzeugen. Darüber hinaus soll diese Wärmenachbehandlung im Rahmen dieser Untersuchungen für den Praxiseinsatz qualifiziert und an einem Funktionsmuster getestet werden.

2 Ergebnisse

Im bisherigen Projektverlauf wurde am 26. August 2009 das erste Treffen des projektbegleitenden Ausschusses am ISF in Aachen vorgenommen. In diesem Treffen wurden die wissenschaftlichen Forschungsziele in praktisch umsetzbare Arbeitspakete umgeformt. Das zweite Arbeitstreffen fand am 25. März 2010 in der BAM in Berlin statt, in dem die ersten Ergebnisse und die weitere Vorgehensweise diskutiert wurden.

Entsprechend den definierten Arbeitspaketen wurden am ISF Messungen der Strahlstromdichteverteilung der Elektronenstrahlanlage vorgenommen. Die Messung wurde mit dem am ISF vorhandenen DIABEAM-Messsystem (Gerät zur Vermessung der Elektronenstrahlgeometrie und -intensität) vorgenommen. Anschließend wurden die Ergebnisse an der BAM in das FEM-Modell zur Simulation der Eigenspannungsverteilung eingearbeitet. Schweißungen mit Wärmebildkamera am Forschungszentrum Jülich sind in Vorbereitung und dienen zum Abgleich des theoretisch erstellten FEM-Modells und praktischen Ergebnissen. Hierzu wurde eine Kamera zur Wärmemessung samt Strahlenschutzkonzept installiert. Eine Abnahme der Aufbauten durch den Strahlenschutz steht aus.

Probenkörper aus S355J2 in 5 mm Dicke wurden am ISF beschafft, spannungsarmgeglüht und mit unterschiedlichen Parametern geschweißt. Dabei wurde die Energieeinbringung in die Schweißnaht und Geometrie und Abstand von Schweißpunkt zum Wärmefeld untersucht. Die Variation der Energieeinbringung des Wärmefels wurde bei konstantem Wärmefelddurchmesser (Intensität =

variabel, Radius = konstant) und konstanter Wärmefeldintensität (Intensität = konstant, Radius = variabel) untersucht. Die Abstände vom Wärmefeld zum Schweißpunkt wurden bei den Untersuchungen zur Energieeinbringung konstant gehalten. Bei den Untersuchungen hinsichtlich der Geometrie und Abstand zwischen Schweißpunkt und Wärmefeld wurde der Abstand vom Schweißpunkt zu den Wärmefeldern sowohl in Schweißrichtung als auch quer zur Schweißrichtung untersucht. Alle Schweißungen werden im nächsten Schritt an der BAM hinsichtlich der Eigenspannungen analysiert.

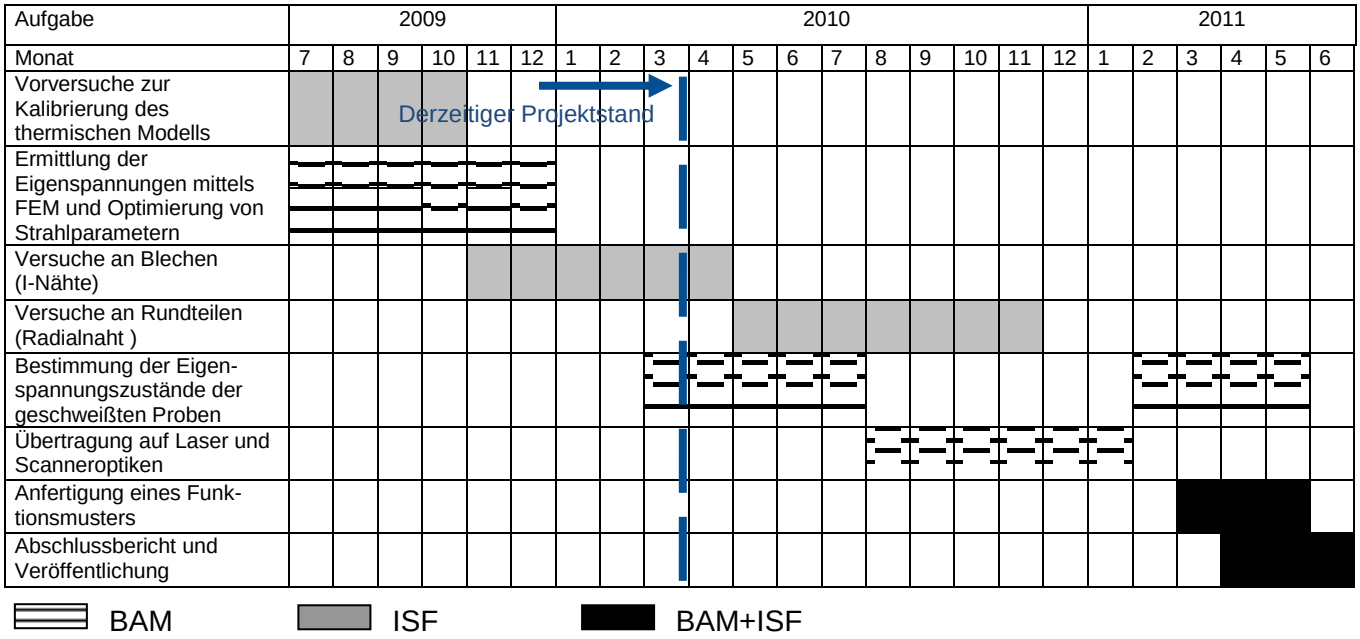

Abbildung 1: Arbeitsplan für die Forschungsaktivitäten BAM / ISF (Stand 28.02.2010)

Mit den ersten Ergebnissen der Eigenspannungsmessungen an Elektronenstrahlschweißungen wurde die Simulation der BAM abgeglichen (vgl. Abbildung 2) und eine Parameteroptimierung gestartet. Durch die Simulation mittels der Finiten Elemente Methode wurde zunächst die Tiefenwirksamkeit einer defokussierten Wärmequelle im 3D-Modell untersucht. Hierbei ist aus Abbildung 3 zu erkennen, dass neben dem Radius die Verfahrgeschwindigkeit auf die Tiefenwirkung einen enormen Einfluss zeigt.

Diesem negativen Einfluss auf die Tiefenwirkung bei einer Geschwindigkeitserhöhung kann mit einer Vergrößerung des Radius bei gleichzeitiger Leistungssteigerung des defokussierten Strahls entgegengewirkt werden. Jedoch wird es verfahrenstechnische Grenzgeschwindigkeiten abhängig vom Werkstoff, der maximal erreichbaren Laserleistung und der Möglichkeiten der Strahldefokussierung geben, an denen die Tiefenwirkung für eine Beeinflussung des Spannungszustandes auch an der Unterseite des Bleches kaum noch Wirkung zeigt. Für den S355 mit einer Blechdicke von 5 mm wird, wie Abbildung 3 im Vergleich mit Abbildung 4 zeigt, eine ausreichende Tiefenwirkung der Temperaturbehandlung für den Geschwindigkeitsbereich, der in den experimentelle Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsprojektes angewendet wird, erzeugt, sodass diese auch eine Änderung des Spannungsfeldes an der Unterseite des Bleches zur Folge haben können. Die in Abbildung 3 maximal resultierende Temperaturdifferenz beträgt rund 150 °C. Aus Abbildung 4 ist ersichtlich, dass diese Temperaturdifferenz bei idealer maximaler Temperatur an

der Oberfläche $T_{postmax}$ von ca. 510 °C die Spannungen an der Unterseite des Bleches ähnlich stark reduzieren.

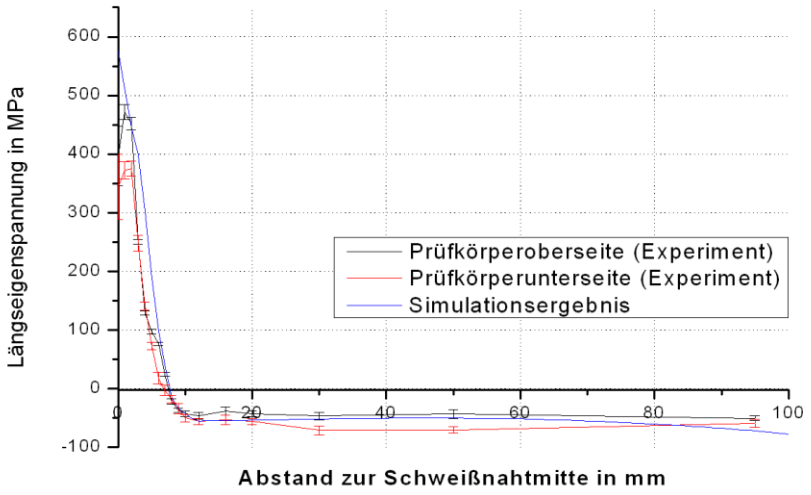

Abbildung 2: Vergleich der Längseigenspannungen aus der experimentellen Messung mittels Röntgendiffraktometrie und den Ergebnissen aus einer 2D-Simulation

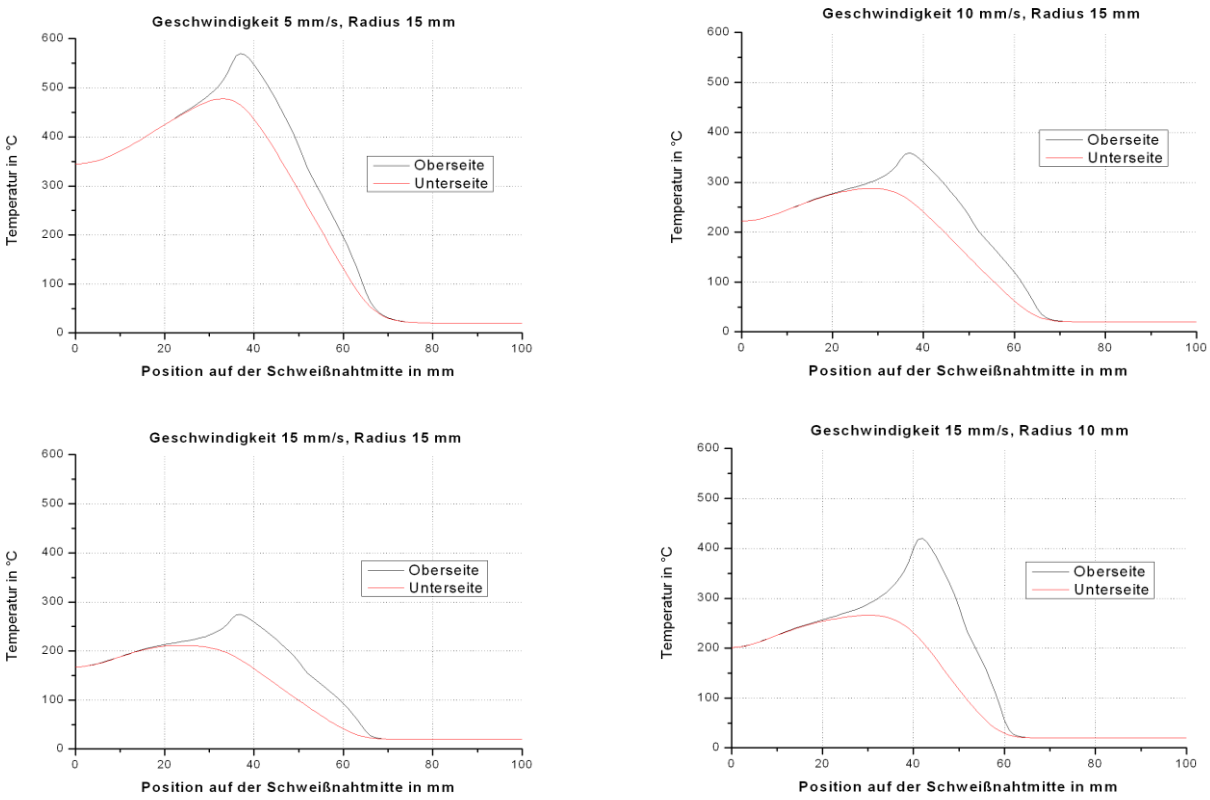

Abbildung 3: Simulationsergebnisse des Einflusses der Geschwindigkeit und des Radius der nachlaufenden Wärmefelder auf die Tiefenwirkung der Temperatur (im Vergleich der Temperaturen an der Oberseite und Unterseite) bei gleicher Strahlleistung bei S355 mit einer Blechdicke von 5 mm

Zur Optimierung der Parameter (Strahlleistung *P*, Abstände in Schweißrichtung zur Schweißstelle *dx* und orthogonal dazu *dy*, Radius des defokussierten Strahls auf der Werkstoffoberfläche *r*) wird ein 2D-Modell verwendet. Dieses spiegelt den Idealfall für die Tiefenwirkung der nachlaufenden Wärmefelder wider. Für die Schweißung an sich ist das 2D-Modell aufgrund der im Realfall auftretenden annähernd senkrechten Schweißflanken für den in diesem Projekt betreffenden Dickenbereich von 3 mm bis 5 mm ebenfalls ein effektiver und effizienter Kompromiss.

Die im Rahmen des Arbeitspakets zur FEM-Simulation erstellten Berechnungsmodelle sind funktionstüchtig. Die Simulation wird im weiteren Verlauf des Forschungsprojektes zur Parameteroptimierung bei dem aktuellen ferritischen Werkstoff sowie den zusätzlichen Werkstoffen und Bauteilgeometrien, die in diesem Projekt mit den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses ausgewählt werden, weiterhin zum Einsatz kommen und weiterentwickelt.

Durch Variation der Strahlleistungen für die nachlaufenden Wärmequellen, konnte der Einfluss unterschiedlicher Temperaturen im thermisch nachbehandelten Bereich untersucht werden. Hierbei erwies sich wie bereits erwähnt eine maximal erzeugte Temperatur *Tpostmax* von ca. 510 °C als potentiell geeignetste Temperatur, die die größte Spannungsreduktion (rund 57% Spannungsreduktion) für das gesamte simulierte Blech ermöglicht (vgl. Abbildung 4). Bei dieser Temperatur sind die Zugeigenspannungen in der Schweißnaht und im Bereich der thermischen Nachbehandlung annähernd gleich. Größere erzeugte Temperaturen im nachbehandelten Bereich führen zu höheren Zugeigenspannungen in diesem Bereich und niedrigere Temperaturen mindern die Zugeigenspannungen in der Schweißnaht nicht so stark.

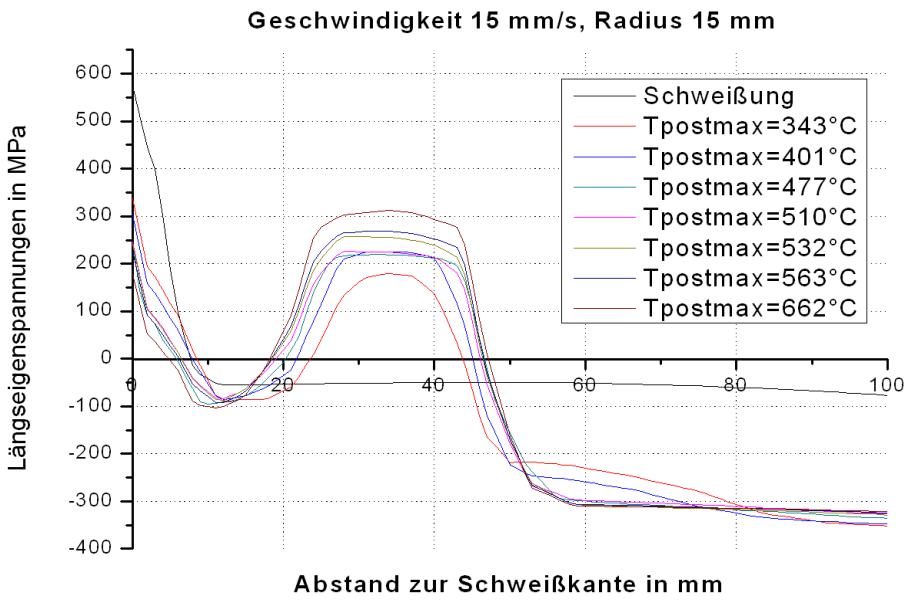

Abbildung 4: Einfluss der Temperatur in den nachbehandelten Zonen auf den Spannungsabbau in der Schweißnaht unter Verwendung von *dx*=100mm und *dy*=35mm

Nach dem Einfluss der Strahlleistung bzw. der Temperatur werden aktuell die Parameter *dy* und *r* parallel untersucht, indem beide Parameter in einer Simulationsserie variiert werden. Der Grund für

das Variieren beider Parameter in einer Untersuchung liegt darin, dass bei kleineren Radien und gleichbleibenden *dy* das unbehandelte Werkstoffvolumen zwischen Schweißnaht und Radius der Wärmefelder so groß ist (hier wirken, wie in Abbildungen 4 und 5 zu sehen ist, Druckspannungen), dass die erzeugten Spannungen im Bereich der nachlaufenden Wärmefelder einen geringeren Einfluss auf die Schweißnaht besitzen könnten, da diese durch das große Volumen mit Druckeigenspannungen leichter ausgeglichen werden und somit die Schweißnaht weniger entlasten könnten. Um dennoch bei kleineren Radien die bestmögliche Reduzierung der Zugeigenspannungen zu realisieren, könnte ein kleinerer *dy*-Wert hilfreich sein, der den kleineren Einflussbereich der nachlaufenden Wärmequellen näher an die Schweißnaht führt.

Als letzter der genannten Parameter wird *dx* untersucht. Unter Verwendung der optimierten Parameter *P*, *dy* und *r* wird eine Simulationsserie unter Variierung von *dx* ausgeführt.

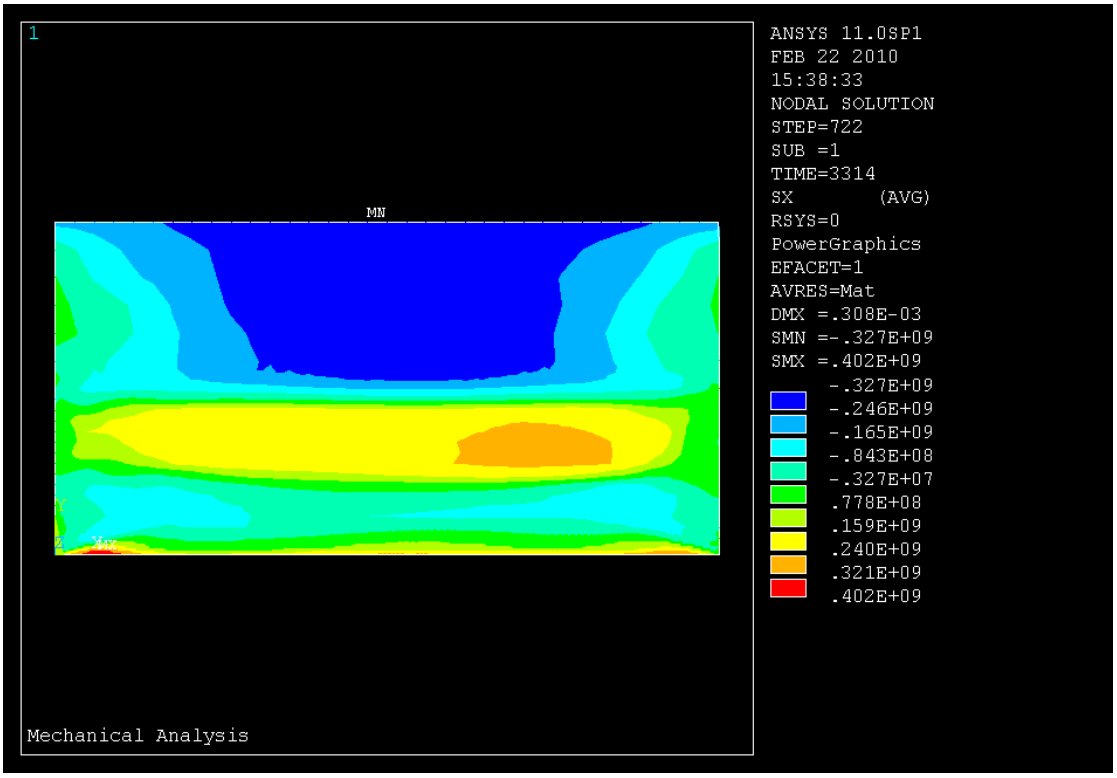

Abbildung 5: Simulationsergebnis der Längseigenspannungen bei Verwendung von *dx*=100mm, *dy*=35mm, *r*=15mm, Geschwindigkeit=15mm/s und *Tpostmax*=510°C [Pa]

3 Sitzung des PbA

Am 25.03.2010 fand die zweite Sitzung des PbA auf dem Gelände der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung in Berlin statt. Teilgenommen haben die Firmen HIGHYAG Lasertechnologie GmbH und das ILV Ingenieurbüro für Lasertechnik+Verschleißschutz.

Federal Institute for Materials Research and Testing

WELDING AND JOINING INSTITUTE
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Forschungsstellen und Forschungsstellenleiter

Bundesanstalt für Materialforschung- und Prüfung (BAM)
Fachgruppe V.5 „Sicherheit gefügter Bauteile“
Unter den Eichen 87, 12205 Berlin
Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Rethmeier
Projektleiter: Dr.-Ing. Andrey Gumenyuk

RWTH Aachen University
Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik
Pontstraße 49, 52062 Aachen
Leiter: Prof. Dr.-Ing. U. Reisgen
Projektleiter: Dr.-Ing. S. Olschok

Berlin, den 26.03.2010
Ort, Datum

Projektleiter (Dr. A. Gumenyuk)