AiF-Nr. 16.954 N / DVS-Nr. 03.101 – Zwischenbericht zum 13.10.2011

1 Forschungsthema

Entwicklung einer Online-Schmelzbaddiagnostik zur Schweißnahtqualitätsüberwachung und zur Vermeidung von Schweißnahtfehlern beim Lichtbogenschweißen

2 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

In der schweißtechnischen Fertigung werden Lichtbogenschweißverfahren aufgrund ihrer vielseitigen Einsatzmöglichkeiten, ihrer Wirtschaftlichkeit und ihres hohen Automatisierungsgrades genutzt. Einsatzfelder sind z.B. der Schiff-, der Schienenfahrzeug-, der Pipeline- oder der Automobilbau. Je nach Applikation kommen hierbei Lichtbogenschweißverfahren mit abschmelzender Elektrode (MSG) oder solche mit nicht abschmelzender Elektrode (WIG, Plasma) zum Einsatz.

Bisher wird die Prozessfähigkeit dieser Verfahren jedoch durch das Auftreten von Schweißnahtfehlern wie beispielsweise Poren, Spritzern, Bindefehlern, Einbrandkerben, Nahtüberhöhung und Nahtdurchhang eingeschränkt. Diese Fehler resultieren aus einem nicht optimal eingestellten Prozess oder aus Schwankungen der Prozessrandbedingungen, wie der Werkstoffzusammensetzung, der Nahtvorbereitung, der Positionierung sowie aus Schwankungen der elektrischen Kenngrößen; sie verursachen kostenintensive Nacharbeit.

Um die Kosten für die Nahtnachbereitung einzusparen und die geforderten Schweißnahtqualitäten zu erreichen, wird ein hoher Aufwand für die Nahtvorbereitung und Positionierung der Bauteile (Spanntechnik) betrieben. Bei Schwankungen anderer Randbedingungen kann dennoch kein stabiler und fehlerfreier Prozess gewährleistet werden.

Alternativ besteht daher zunehmend das Interesse daran, den Schweißvorgang mit Hilfe von Sensoren zu überwachen und beim Auftreten von Unregelmäßigkeiten regelungstechnisch einzugreifen. Bisherige Ansätze der Prozesskontrolle für das Schweißen lassen sich nach ihrer zeitlichen Positionierung im Prozessablauf in Pre-, Post- und In-Methoden unterteilen. Durch vorlaufende Sensoren (Pre) können zurzeit die Stoßlage, die Spaltbreite und der Höhenversatz bestimmt werden. Analog zur exakten Vorbereitung und Positionierung der Bauteile kann auch hierdurch die Prozesssicherheit in bestimmten Bereichen verbessert, die Schweißnahtqualität jedoch nicht sichergestellt werden, da diese durch weitere Größen beeinflusst wird. Nachlaufende, so genannte Post-Sensoren sind in der Lage, durch die Vermessung der Nahtgeometrie Unregelmäßigkeiten zu detektieren. Durch die Analyse der bereits erstarrten Schweißnaht sind Schweißnahtfehler zwar zu erkennen, können jedoch durch diese Technik nicht vermieden werden.

Bisherige In-Methoden der Prozesskontrolle für das Lichtbogenschweißen verwenden Kenngrößen, die sich am Anfang der Wirkkette eines Schweißprozesses befinden, wie den Schweißstrom oder die Schweißspannung. Hierbei ist das Bestimmen von Zusammenhängen der elektrischen Messsignale mit dem Auftreten von Schweißnahtfehlern nur bedingt durch aufwändige applikationsspezifische Experimente seitens der Anwender möglich. Zudem werden die Daten momentan überwiegend erst nach Fertigstellung einer Schweißung ausgewertet. Die Auswertung der Signale während des Schweißvorgangs liefert Informationen über Schweißnahtfehler, wenn diese bereits eingetreten sind. Daraufhin folgt lediglich ein Prozessabbruch, aber keine Prozesskorrektur.

Lösungsansätze, die die Ereignisse der Schmelzbadausbildung unmittelbar anhand von Sensoren visuell erfassen und Informationen über die Schmelzbadform und -lage bereitstellen, scheiterten bisher an den hohen Kosten für Hochgeschwindigkeits- und Beleuchtungstechnik (Laser) sowie an der geringen Praxistauglichkeit der Systeme. Zudem fehlen in bisherigen Diagnostik-Systemen leistungsstarke Bildbearbeitungsalgorithmen zur Extraktion prozessbestimmender Größen, durch welche eine zeitnahe Beurteilung des Schweißprozesses erst ermöglicht wird. Entsprechende, in der Praxis angewendete Systeme sind nur in Ansätzen von Laseranwendungen zur Erfassung des Keyholes oder zur Bestimmung der Einschweißtiefe bekannt.

Anlass für den Forschungsantrag ist zusammenfasend, dass Methoden der In-Prozessüberwachung am Ort der Schweißnahtausbildung beim Lichtbogenschweißen notwendig sind, deren Anwendung bisher aus Gründen der Komplexität und den damit verbundenen Kosten jedoch scheiterte.

3 Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

Ziel des Forschungsvorhabens ist, für das MSG-Impuls-, das WIG- und das Plasma-stichlochschweißverfahren ein kostengünstiges, robustes und einfach zu bedienendes System zu entwickeln, das eine Online-Qualitätsüberwachung der Schweißnahtausbildung ohne aufwändige Messreihen ermöglicht. Hierzu werden diagnostische Sensoren eingesetzt, die das Schmelzbad orts- und zeitaufgelöst analysieren und die Ergebnisse in Zeiträumen, die für die Prozesskontrolle und -regelung relevant sind (~ms), bereitstellen. Diese zeitnahe Auswertung des Schweißvorganges wird durch die Entwicklung von innovativen Bildverarbeitungsalgorithmen möglich, welche die geometrischen Abmessungen des Schmelzbades und die Oberflächenschwingungen detektieren sowie Abweichungen von einer vordefinierten „Best-Process“ Einstellung feststellen. Ferner liefert das Sensorsystem Informationen über die Schmelzbadlage relativ zur Position der zu schweißenden Fuge, sodass hiermit auch eine Nahtverfolgung realisiert werden kann.

Basis für diese Entwicklung sind einerseits berührungslose Abstandssensoren, welche in einfacher Form schon im Bauwesen eingesetzt werden, andererseits intelligente Kamerasysteme in Kombination mit der Erfassung der elektrischen Signale des Schweißprozesses, die im Zusammenspiel wesentlich über die Leistungsfähigkeit existierender Sensorsysteme hinausgehen. Im ersten Schritt (Teil-Ziel 1) wird mit diesem System die Prozessüberwachung auf Basis von umfangreichen Messreihen ermöglicht. Die Kosten für den Anwender werden durch die Bestimmung der geringsten gerätetechnischen Systemanforderungen minimiert.

Um den Aufwand der applikationsspezifischen Schweißversuche für die Anwender zu reduzieren, wird im zweiten Teilschritt das Diagnose-Tool durch ein Online-Qualitätsmodell erweitert, das online Informationen über die Schweißnahtgeometrie (Einbrand) bereitstellt, die nicht direkt mit den optischen Systemen zu erfassen sind. Das Qualitätsmodell ermöglicht die automatische Anpassung des Diagnosesystems an die spezifischen Gegebenheiten der Schweißaufgabe innerhalb einer kurzen Lernphase anhand von wenigen Schweißversuchen. Weiterhin steht mit diesem Qualitätsmodell eine grundlegende Beschreibung der Schweißnahtausbildung zur Verfügung, die somit die Klassifizierung der Schweißnahtgüte nach DIN EN ISO 5817 ermöglicht (Teil-Ziel 2).

In diagnostischen Untersuchungen werden auf Basis von aufgestellten Fehlerparameterbereichen gezielt Vergleiche zwischen einem fehlerbehafteten und einem idealen Schweißprozess durchgeführt und mit den Informationen des Diagnostiksystems korreliert. Hierdurch soll einerseits das Verständnis der Fehlerentstehung erweitert werden, welches insbesondere den KMU‘s mit begrenzter Entwicklungskapazität zum Einstellen eines optimalen Schweißprozesses dient. Andererseits werden die diagnostisch gewonnenen Daten als Eingangsgrößen und zur Validierung für das Online-Qualitätsmodell verwendet.

Durch die Online-Schmelzbaddiagnostik sollen die Prozesssicherheit durch eine lückenlose Qualitätsüberwachung verbessert, die Prozessfähigkeit der Lichtbogenschweißverfahren erhöht und somit durch die Steigerung der Schweißnahtqualität und die Minderung der Ausschussrate die Kosten

für den Anwender reduziert werden. Zudem wird angestrebt den Anwendungsbereich der Lichtbogenschweißverfahren, z. B. die beherrschbare Blechdicke oder die Schweißgeschwindigkeit, zu erweitern.

Im Bearbeitungszeitraum wurden analog zum vorgesehenen Arbeitsplan folgende Arbeitspakete bearbeitet:

1. Vorarbeiten

1.1 Auswahl der Hardwarekomponenten

Zurzeit werden durch das LPT die Hardwarekomponenten für die Sensorsysteme ausgewählt, angeschafft und modifiziert. Die projektierte Online-Schmelzbadobservation wird im Wesentlichen aus zwei optischen Messsystemen bestehen. Zum einen soll die Schmelzbadgestalt durch eine speziell modifizierte Kamera, die am Schweißbrenner montiert wird, aufgenommen werden. Zum anderen soll über den Einsatz eines scannenden Triangulationssensors ein genaues Höhenprofil des Schmelzbades ermittelt sowie die Schmelzbadschwingung detektiert werden. Die Auswahl der Systeme erfolgt mit folgenden Zielsetzungen:

- maximal notwendige Leistungsfähigkeit (Messgenauigkeit, Bildrate, Empfindlichkeit)
- hohe Praxistauglichkeit (Robustheit, Schutzmodule, Baugröße)
- autarker Gebrauch (intelligente Kamera).

Für die Auswahl der Sensoren wurden spektrale Messungen der Lichtbogenstrahlung an einem WIG-Prozess durchgeführt und das Reflektionsverhalten der Schmelzbadoberfläche beurteilt. Beide Größen sind essentiell für die Funktionsweise des Triangulationssystems.

1.2 Grundlegende Schweißversuche, “Best-Process-Parameter“

Im bisherigen Bearbeitungsraum wurde eine Versuchsstand für das Plasma- und das WIG-Schweißen aufgebaut.

1.3 Zusatzuntersuchungen Schmelzbadausbildung

Zurzeit werden Schweißuntersuchungen mit unterschiedlichen Parametereinstellungen beim MSG-Impulsschweißen durchgeführt. Während der Schweißversuche werden synchron zu der Erfassung der transienten Strom-/Spannungssignale mit der Hochgeschwindigkeitskamera Aufnahmen der Schweißprozesse durchgeführt. Ziel der Untersuchungen ist die Ermittlung der dynamischen und optischen Anforderungen an die optischen Messsysteme. Weiterhin wird untersucht ob in den transienten Strom-/Spannungsverläufe nutzbare Informationen bezüglich der Schmelzbaddiagnostik enthalten sind.

Für das Plasmaschweißen wurden Hochgeschwindigkeitsaufnahmen der Schmelzbadgestalt in Kombination mit Interferenzfiltern durchgeführt. Diese Bilddaten wird im Folgenden zur Entwicklung von Bildbearbeitungsalgorithmen verwendet.

4 Wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (kmU)

Potenzielle industrielle Anwender der im Rahmen des Projektes entwickelten Online-Schmelzbaddiagnostik sind sowohl Unternehmen, die Schweißfertigungssysteme für unterschiedliche Anwendungsgebiete herstellen sowie Anwender von schweißtechnischen Fertigungssystemen. Bei diesen Firmen handelt es sich überwiegend um kleinere und mittlere Unternehmen, die durch diese System die Möglichkeit erhalten, während der laufenden Produktion, trotz Abweichungen vom geplanten Prozessablauf sowie bei Störungen in der automatisierten Schweißfertigung durch eine automatische Überwachung des Prozesses, die Schweißnahtqualität zu sichern und zu

dokumentieren. Durch die flexible Einsetzbarkeit des Sensorsystems erfolgt die voraussichtliche Nutzung der Ergebnisse durch alle Anbieter und Anwender und Hersteller des Plasma-, des WIG- und des MSG-Schweißens. Das betrifft die automatisierte Fertigung, wie:

- den Stahl- und Behälterbau,
- den Geräte- und Anlagenbau,
- den Fahrzeugbau,
- mittelständische Hersteller von Lichtbogenschweißanlagen und –brennern und
- Diagnostik-Hersteller.

Die Nutzung der angestrebten Ergebnisse ist den Fachgebieten Verfahrenstechnik, Produktion, Mess-, Regel- und Automatisierungstechnik in den Wirtschaftszweigen Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen (27/28), Maschinenbau (29) und Fahrzeugbau (34/35) zuzuordnen.

5 Beabsichtigte Umsetzung der angestrebten Forschungsergebnisse

Für das Projekt werden kommerziell erhältliche und robuste, bereits unter Bedingungen der Praxis eingesetzte Sensorsysteme verwendet, sodass der Forschungsschwerpunkt auf die Analyse des Schmelzbades gelegt werden kann und somit sehr zeitnah Analysen am Schweißprozess möglich werden. Daher sind die technischen Erfolgsaussichten hoch, das Sensorsystem in die Praxis zu überführen. Die Anwendung des Systems beim WIG-, Plasma- und MSG- Schweißen macht eine breite wirtschaftliche Nutzung möglich.

Durch die Bestimmung der geringsten gerätetechnischen Systemanforderungen werden die Kosten der Sensorsysteme auf ein Minimum reduziert. Die Entwicklung der Algorithmen zur Bildbearbeitung wird im Abschlussbericht offengelegt und ist frei zugänglich, sodass der Programmieraufwand für die Diagnostik-Hersteller reduziert wird. Die Finanzierbarkeit für eine anschließende Umsetzung in KMU ist daher als hoch anzusehen. Angenommen wird, dass aus den Forschungsergebnissen ein Jahr nach Projetabschluss in ein fertiges Produkt generiert und eingesetzt werden kann.

6 Durchführende Forschungsstellen

6.1 Forschungsstelle 1:

Universität der Bundeswehr München
Institut für Plasmatechnik und Mathematik
Labor für Plasmatechnik (LPT)
Werner-Heisenberg-Weg 39
85577 Neubiberg
Tel.: 089 6004-3785
Fax: 089 6004-3783

6.2.1 Leiter der Forschungsstelle: Prof. Dr.-Ing. J. Schein
6.2.2 Projektleiter: Dipl.-Ing. Erwan Siewert

Forschungsstelle 2:

RWTH Aachen University
Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik
Pontstraße 49
52062 Aachen
Tel.: 0241/80-93 870
Fax: 0241/80-92 170

6.2.1 Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. U. Reisgen
6.2.2 Projektleiter: Dr.-Ing. L. Stein