AiF-Nr. 15.872 BG / DVS-Nr. 03.091 – Zwischenbericht zum 24.03.2010

Forschungsthema

Entwicklung einer ereignisorientierten Regelung auf Basis der inversen Modellierung zur robusten Prozessführung komplexer MSG-Impulsschweißprozesse

1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Weiterentwicklung des zeitgesteuerten Impulsprozesses zu einem ereignisgesteuerten MSG-Prozess, bei dem jede einzelne Prozessphase optimiert und über ein zeitliches Mittel einen stabilen Arbeitspunkt des Prozesses sichergestellt wird. Dies soll durch die Detektion und Evaluierung von schweißtechnisch-physikalischen Lichtbogeneffekten, Prozessereignissen und Prozessphasenzuständen erfolgen, welche die beiden Prozesshauptsegmente „Grundphase“ und „Pulsphase“ definieren und klassifizieren. Auf der Basis dieser Detektion soll eine entsprechende Regelung entwickelt werden, welche nicht einem starren Strom/Spannungs-Zeitverhalten folgt, sondern ereignisgesteuert, dynamisch und kognitiv arbeitet und dadurch einen kurzschlussfreien, in seinen Qualitäten definierbaren Prozess ermöglicht.
Voraussetzung hierfür ist die Detektion, und hier besonders die „just before“-Identifikation, mittels interner Sensorik, was zurzeit nicht möglich ist. Zur Lösung dieser Probleme soll die inverse Modellbildung in Verbindung mit einer Reduktion und Substitution auf schweißprozessinhärente Signale zur Anwendung kommen. Ferner existiert nicht ausreichend Prozessverständnis für die Entwicklung von modellbasierten Regelungsstrategien für die robuste Prozessführung. Die Datenbasis und die daraus mit Hilfe der explorativen Datenanalyse und inversen Modellierung abgeleiteten dynamischen Prozessgleichungen bilden ebenso die Grundlage für die Generierung von Prozessverständnis und Strategien zur ereignisorientierten Regelung des Schweißprozesses. Die so entwickelten echtzeitfähigen Module Sensorik und Regelung sollen anschließend auf einer Schweißprozesstestumgebung integriert und hinsichtlich ihrer Funktion optimiert werden.

2 Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

Ziel des Forschungsvorhabens ist im Gegensatz zum existierenden Impulsschweißprozess, bei dem eine zeitbestimmte Prozessgrößenregelung erfolgt, die Entwicklung einer ereignisorientierten Regelung, die jede einzelne Prozessphase optimiert. Voraussetzung für einen derartigen Lösungsansatz ist die Verfügbarkeit von interner, echtzeitfähiger Sensorik zur Bereitstellung von Informationen über prozessphasenbestimmende Ereignisse sowie Zustände und von Modellen zur ereignisorientierten Regelung von Impulsprozessen. Ausgehend von einem Standard-Impulsschweißprozess soll mittels interner und externer Sensorik eine Datenbasis erstellt werden. Hiermit soll für den komplexen Lichtbogenschweißprozess mittels umfangreicher Diagnostik am realen Prozess das dynamische Systemverhalten analysiert und durch inverse Modellierung beschrieben werden. Im nächsten Schritt werden die gewonnenen Erkenntnisse dazu genutzt, den umfangreichen apparativen Aufwand an externer Sensorik hinsichtlich der Detektion und Klassifizierung der einzelnen Prozessphasen auf die Nutzung schweißgeräteinterner Prozesssignale zu reduzieren, nachdem die relevanten Signalmuster der entsprechenden elektrischen Signale in ihrer Bedeutung ausreichend verstanden wurden
Wesentliche Bedeutung zur Lösung dieser Probleme bekommt die Anwendung der explorativen Datenanalyse in Verbindung mit einer Reduktion und Substitution der externen Sensorik auf schweißprozessinhärente Signale, die erweiterte Möglichkeiten bietet, um in Echtzeit relevante Ereignisse bezüglich des Prozesszustandes detektieren zu können. Die erfolgreiche Erarbeitung dieser Forschungsziele ist durch die enge Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Schweißtechnik und

Fügetechnik der RWTH-Aachen, das über Kenntnisse auf dem Gebiet der Lichtbogenschweißverfahren verfügt, und des Instituts für Inverse Modellierung von Prof. Kruscha an der Hochschule Lausitz, die über Erfahrungen auf dem Gebiet der inversen Modellierung auf der Basis einer angepassten explorativen Datenanalyse verfügt, sicher gestellt. Die Datenbasis und die daraus abgeleiteten Modelle bilden ebenso die Grundlage für die Generierung von notwendigem Prozessverständnis und geeigneten Strategien zur ereignisorientierten Regelung des Schweißprozesses. Zur Erarbeitung des notwendigen Prozessverständnisses für die Entwicklung entsprechender Modelle zur Regelung in den einzelnen Prozessphasen, bietet die Vernetzung im Lichtbogencluster durch die interdisziplinäre Kooperation zwischen Ingenieuren, Physikern, Mathematikern und Metallurgen die besten Voraussetzungen. Ein weiterer Arbeitspunkt beinhaltet den Aufbau einer Schweißprozesstestumgebung am Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik der RWTH-Aachen. Diese Testumgebung sollte von der Regelungsseite freiprogrammierbar sein und stellt die Basis für die Integration und den Test der Funktionen der einzelnen Module Sensorik sowie Regelung und des Gesamtsystems dar.

2.1 Arbeitsfortschritt im Arbeitsplan

API. Generierung einer Datenbasis **(ISF)**

In diesem Arbeitspaket wurden auf der Basis der konventionellen Impulslichtbogentechnik mit Hilfe einer umfassenden internen und externen Messsensorik eine umfangreiche Datenbasis in Form von synchronisierten Zeitreihen erstellt werden. Der Schwerpunkt der Untersuchungen zielt auf die Informationsgewinnung über die Tropfenbildung und –ablösung und der Bestimmung der Lichtbogenlänge. Zur Analyse der Tropfenablösung, Tropfenschwingung und Tropfengröße wurden synchrone Aufzeichnungen der Strom- und Spannungsverläufe mit Hochgeschwindigkeitsaufnahmen bei unterschiedlichen Parametereinstellungen bei U/I-Modulation und I/I-Modulation durchgeführt. Durch Korrelation der Daten und Bilder konnte der Zeitpunkt der Tropfenablösung im Spannungssignal als kurzzeitige Spannungserhöhung eindeutig detektiert werden. Verantwortlich für die Spannungsänderung bei der Tropfenablösung ist eine Widerstandserhöhung aufgrund der Änderung des Plasmas als auch der geometrischen Veränderungen am Drahtende. Weiterhin konnte die Tropfenschwingung in der Grundphase des Spannungsverlaufs identifiziert und mit der Tropfengröße korreliert werden.

AP III. Aufbau einer Schweißprozesstestumgebung **(ISF)**

Der Aufbau der Schweißprozesstestumgebung konzentrierte sich im Wesentlichen auf die Realisierung der sensorischen Messtechnik. Hier wurde unter LabVIEW mit entsprechenden Messkarten ein Messaufbau zur Erfassung der Strom- und Spannungsverläufe bis zu einer Messrate von 1 MHz und zur Synchronisation mit Hochgeschwindigkeitsaufnahmen erstellt.

APV. Entwicklung und Integration des Moduls Sensorik **(ISF)**

Die Erstellung des Sensormoduls soll unter Realtime-LabVIEW auf einem FPGA erfolgen. Hierzu werden zur Zeit Softwaremodule für das Einlesen der Prozessdaten und für die Filteroperationen programmiert.

AP II.I. Signalvorverarbeitung **(I^2M)**

Die Teilschritte der Signalvorverarbeitung (Glättungsalgorithmen, Berechnung der Ableitungen etc.) konnten auf Basis der ISF-Messreihen erfolgreich realisiert und somit die Daten für eine differenzierte modelltechnische Analyse vorbereitet werden. Insbesondere ist es bereits gelungen, auch die Bildinformation mit geeigneten Methoden der Bildbearbeitung von Hochgeschwindigkeitskameraaufnahmen für eine Zusammenführung mit den elektrischen Zeitreihensignalen angemessen zu

verarbeiten, um somit die Voraussetzungen für eine integrierte Bild- und Zeitreiheninformations-verarbeitung zu schaffen.

AP II.III. Modellbildungsvorarbeiten **(I^2M)**

Phasenraumdarstellungen haben sich als Standard Signal-Analysemethode bewährt:
- Quasiperiodische Prozesse als Funktionen von der Zeit lassen sich in der Darstellungsweise des Phasenraums sehr anschaulich dahingehend bewerten, in welchem Maße die einzelnen Perioden sich voneinander insgesamt und differenziert in einer bestimmten Prozessphase unterscheiden
- Prozesszustandsänderungen lassen sich sehr leicht detektieren und klassifizieren (Spitzen, Veränderung des Charakters der Kurve)
- Normierungen und Eichungen von Sensorsignalen durch gegenseitigen Bezug
- Detektion von Stabilitätsbereichender Prozessführung (Zusammenlaufender Phasenraumtrajektorien) und instabilen Prozesszuständen (Divergenz der Phasenraumtrajektorien)

Über den Weg der automatisierten Generierung relativ großer Phasenraumübersichten (physikalisch relevante Größen und formal systematisierte Signalkombinationen unter Einbeziehung differentieller Größen) wurde eine Methodik entwickelt, um in systematischer Weise nach geeigneten Kandidaten für Ereignisdetektionskriterien (Tropfenablösung etc.) zu suchen.

Einer besonderen Beachtung werden die Phasenraum-Kombinationen unterworfen, in denen die in den Zeitreihen selektierten Ereignisse alle in einem sehr kleinen Raumgebiet positioniert erscheinen. Unter den in der Größenordnung von >100X100 Teilbildern finden sich relativ viele Kandidaten, die dann in einem zweiten Schritt einzeln einer differenzierten Untersuchung auf Eignung als Selektionskriterium unterworfen werden.

AP II.IV. Modellbildung **(I^2M)**

Der formale mathematische Apparat der Inversen Modellierung muss einerseits die experimentellen Daten einer geeigneten Modellform zuführen und andererseits auch die Schnittstelle für die Modellvalidierung bereitstellen.

Als Basis für die Inverse Modellierung wurde die Konzeption der vollständigen Differentiale der elektrischen Größen -unter besonderer Beachtung der partiellen Ableitungen- entwickelt. Diese Vorgehensweise erfüllt alle Anforderungen an die Modellbildung:
-charakteristische Modell-Größen auf physikalischer Basis
-Regelungstechnische Relevanz
-Entfaltungstechnischer Zugang

Der Mittelabfluss erfolgte gemäß Finanzierungsplan. Das wissenschaftlich-technische Personal wurde gemäß Finanzierungsplan eingesetzt. Geräte wurden nicht beschafft, Leistungen Dritter wurden nicht in Anspruch genommen.

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

Potenzielle industrielle Interessenten sind sowohl Unternehmen, die Schweißsysteme herstellen sowie Anwender von schweißtechnischen Fertigungssystemen. Bei diesen Firmen handelt es sich in der Vielzahl um kleinere und mittlere Unternehmen Die Entwicklungen zielen auf eine Verbesserungen bezüglich des Anwendungspotenzials des MSG-Schweißverfahrens und eine Erweiterung des Einsatzes der Lichtbogensensorik auf Anwendungen, die zur Zeit nur eingeschränkt oder gar nicht möglich sind.

4 Beabsichtigte Umsetzung der angestrebten Forschungsergebnisse

Der Kenntnistransfer soll zielgerichtet über spezielle Fach-Publikationsformen, aber natürlich besonders über das Internet, vorgenommen werden. Schon während der Projektphase sollen die Arbeiten durch die projektbegleitenden Firmen, bei denen es sich um potentielle Endnutzer handelt, durch Anregungen und Hinweise beeinflusst werden. Die Bereitschaft, das Forschungsprojekt zu begleiten und zu unterstützen sowie die Ergebnisse umzusetzen, wird durch Interessensbekundungen der Unternehmen aus verschiedensten Bereichen der Schweißtechnik dokumentiert.

5 Durchführende Forschungsstellen

6.1 Forschungsstelle 1:

RWTH Aachen University
Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik (ISF)
Pontstraße 49
52062 Aachen
Tel.: 02 41/80-93 870
Fax: 02 41/80-92 170

6.2 Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. U. Reisgen

6.3 Forschungsstelle 2:

Hochschule Lausitz
Institut für Inverse Modellierung (I^2M)
Großenhainer Straße 57
01968 Senftenberg
Tel.: 03573/85-610
Fax.: 03573/85-609

6.4 Institutsleiter: Prof. Dr. rer. nat. habil. J. Kruscha