

# Strom & Wärme



Institut für Elektroprozessetechnik

11  
102  
1004

Leibniz  
Universität  
Hannover

## Induktiv unterstütztes Hybridschweißen

### Neues Projekt: Leistungsstarkes Fügen mit induktiver Unterstützung

Die derzeitigen politisch getriebenen Klimaziele bedingen unter anderem eine Erhöhung der Erzeugung von elektrischem Strom aus regenerativen Energien - besonders Windenergie. Zur Erreichung dieser Ziele müssen zum einen die bereits in-

Produktionskapazitäten und höhere Fertigungsgeschwindigkeiten auf Seiten der Hersteller entgegnet werden kann.

Hochfeste Feinkornbaustähle im Festigkeitsklassenbereich von 460 N/mm<sup>2</sup> bis 690 N/mm<sup>2</sup> mit Blechdicken von über 12 mm sollen dazu in einem einzigen Prozessschritt gefügt werden. Im Rahmen des Projekts mit dem Titel „Prozesssicheres und leistungsstarkes Fügen von hochfesten Feinkornbaustählen

durch ein Hybridschweißverfahren mit integrierter Vorwärmung“ werden die Möglichkeiten und Verfahren untersucht, um die bislang im Mehrlagen - Lichtbogenverfahren verschweißten Bleche durch eine Kombination aus Induktionserwärmung und Laser-

MSG-Hybridverfahren zu verbinden.

Die bisherigen schweißtechnischen Prozessgrenzen wurden durch eine eng gesteckte Temperaturtoleranz der Feinkornbaustähle definiert. Der Einsatz einer zweigeteilten Strahlquelle im vorgesehenen Prozess er-

möglicht eine mechanische und damit elektrische Vorkontaktierung der zu fügenden Bleche. Ein zum Vorschub quergestellter Induktor bewirkt einen Stromfluss entlang der Spaltflanken und über die hergestellte Kontaktstelle, um den kritischen Bereich optimal vorzuwärmen. Im anschließenden Laser-MSG-Hybridprozess werden der Spalt aufgefüllt und die Bleche über die gesamte Stärke miteinander verschweißt (siehe Abbildung 1).

Das geschilderte Konzept zielt auf die robuste Einsetzbarkeit bei praxisüblichen Schweißpositionen, Spalt- und Toleranzmaßen ab. Gleichzeitig sollen die Fertigungsgeschwindigkeit erhöht und die Entstehung sogenannter Mittelrippendefekte vermieden werden. ■

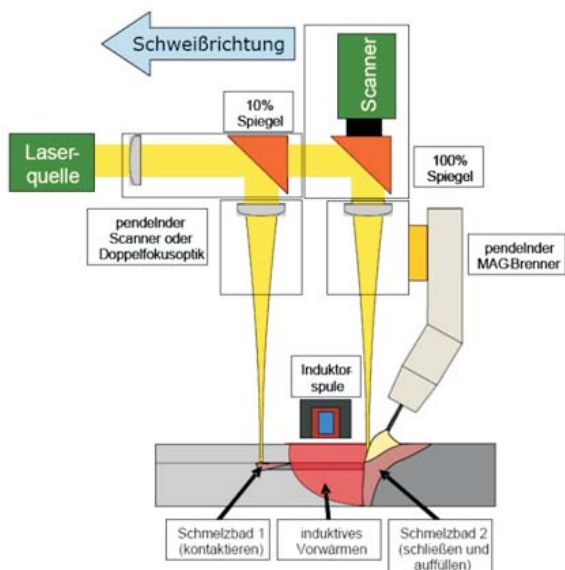


Abbildung 1: Schematisches Prozessmodell

stallierten Windenergieanlagen ausgebaut werden („Repowering“) zum anderen müssen neue Anlagen mit größeren Generatoren und höheren Türmen ausgestattet werden, um die Leistungsausbeute zu erhöhen. Vor diesem Hintergrund entsteht ein steigender Bedarf an geschweißten Stahlbauteilen im Grobblechbereich, dem nur durch größere

## Inhalt

Induktiv unterstütztes Hybridschweißen	1
Hyperselect	2
Erfolgreicher Projektabschluss: DeVaPro	3
Promotion von B. Niemann	4

## Hypersselect

### Die richtigen Ideen und Projekte auswählen

**E**in neues, verbessertes Verfahren zur Ideenbewertung, das auch vorteilhaft in Projektpriorisierung und strategischer Planung eingesetzt werden kann, bietet sich als Alternative zu traditionellen Matrix-Methoden an. Das Hypersselect-Verfahren wurde von Dr. Reinhard Fricke entwickelt - Lehrbeauftragter für Innovationsmanagement am Institut für Elektroprozessstechnik an der Leibniz Universität Hannover.

Wenn es um neue oder verbesserte Produkte und Dienstleistungen geht, sind einerseits viele Ideen erforderlich und andererseits benötigt man gute Filter - d.h. zuverlässige Bewertungsverfahren, die die besten Ideen und Optionen herauskristallisieren. Bereits der zweifache Nobelpreisträger Linus Pauling äußerte "Man muss nicht nur mehr Ideen haben als andere, sondern auch die Fähigkeit besitzen, zu entscheiden, welche dieser Ideen gut sind".

Das Hypersselect - Bewertungsverfahren unterstützt diese Fähigkeit - insbesondere in Management- und Teamprozessen im Unternehmensumfeld.

Die Grundidee ist, dass Ideen - z.B. für neue Produkte - sowohl für sich genommen möglichst gut sein sollten (Attraktivität) als auch zum betreffenden Unternehmen möglichst gut passen sollten (Kompatibilität). Die Aufteilung in die Dimensionen "Attraktivität" und "Kompatibilität" ist durchaus auch in Verfahren ge-

bräuchlich, die eine 2x2 oder 3x3 Bewertungsmatrix verwenden.

Allerdings führt die Matrixbewertung dabei zu ungenauer - wenn nicht gar fehlerhafter - Bewertung. Das Hypersselect-Verfahren beseitigt diesen konzeptionellen Mangel mit einem Rückgriff auf Prinzipien der Booleschen Algebra und führt auf eine

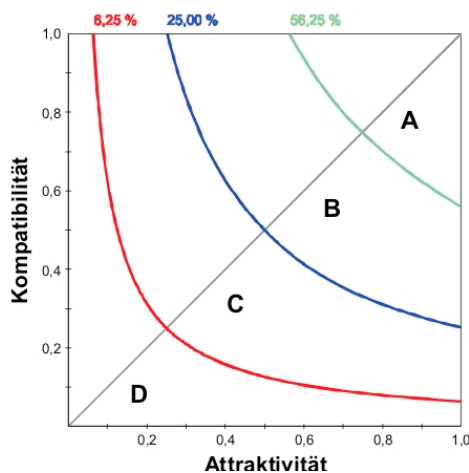


Abbildung 2: Hypersselect-Diagramm mit vier Bewertungssektoren

grafische Darstellung (siehe Abbildung 2) mit Hyperbeln, wodurch sich auch der Name des Verfahrens ableitet, als Linien gleicher Gesamtwertigkeit. Zusammen mit der Winkelhalbierenden ergeben sich 8 Bewertungsbereiche.

Das Hypersselect-Verfahren spezifiziert dafür jeweils Handlungsempfehlungen.

Die Wertepaare für Attraktivität und Kompatibilität werden aus Zusammenfassungen von Unterkriterien in einem vorausgehenden Schritt des Verfahrens ermittelt. Es handelt sich also um einen mehrstufigen Prozess mit dem obigen Diagramm als visu-

ellem Kulminationspunkt.

### Die Vorteile

Die wesentlichen Vorteile des Hypersselect-Verfahrens bei der Ideenbewertung sind:

1. Schwache und mittelmäßige Ideen werden deutlicher von guten und sehr guten Ideen getrennt.

2. Der Anspruchslevel wird damit erhöht und nur wirklich gute Ideen werden mit wertvollen Unternehmensressourcen weiterverfolgt.

3. Die Zielgröße "Ideengesamtwertigkeit" als Produkt aus Attraktivität und Kompatibilität der Idee wird durch die Hyperbelldarstellung logisch korrekt und grafisch plausibel dargestellt.

4. Ideen - oder allgemein Alternativen - mit gleicher Gesamtwertigkeit können zusätzlich nach Attraktivität und Kompatibilität gewichtet werden.

Mit dem Hypersselect-Diagramm und dem zugehörigen Bewertungsprozess bietet sich ein flexibles und leistungsfähiges Werkzeug nicht nur für die Ideenbewertung. Es überwindet Schwächen von verbreitet verwendeten Verfahren. Für viele Unternehmen dürfte die schärfere Trennung guter von schwachen Ideen von besonderem Wert sein, da die Sicherheit bei der Ressourcenzuordnung erhöht wird.

### Kontakt:

Dr. Reinhard Fricke

fricke@etp.uni-hannover.de

## Erfolgreicher Projektabschluss: DeVaPro

### Induktive Zwischenerwärmung beim Halbwarm-Umformprozess

Vor dem Hintergrund des zunehmenden Marktes für hoch qualitative halbwarm geschmiedete Bauteile wurde im Rahmen des Projekts DeVaPro ein variabler Halbwarm-Schmiedeprozess, bestehend aus einem Halbwarm-Walzenprozess mit nachfolgender induktiver Zwischenerwärmung und anschließendem Schmiedeprozess, für die Produktion von Bauteilen mit komplexen langen flachen Geometrien entwickelt. Das Institut für Elektroprozessstechnik (ETP) war hierbei für die Auslegung und das Design der induktiven Zwischenerwärmungs-Einheit sowie dem Testen und der Installation dieser Einheit unter industriellen Bedingungen in einer Schmiedelinie verantwortlich.

Die zugeschnittenen Werkstücke werden zunächst in einem konventionellen induktiven Erwärmer auf die Halbwarm-Umformtemperatur von 900°C homogen erwärmt. Es folgt der erste Umformschritt durch Querkeilwalzen oder Reckwalzen. Unmittelbar nach dem Walzen hat das Werkstück eine sehr inhomogene Temperaturverteilung. Aufgrund der Wärmeleitungsverluste durch den Kontakt mit den Walzen wird der mittlere

Bereich des Bauteils stark abgekühlt. Diese thermischen Verluste sind ebenfalls abhängig von der Walzgeschwindigkeit des Prozesses. Gleichzeitig steigt die Temperatur in diesem Bereich im inneren des Bauteils aufgrund der Deformationsenergie. Die höchste Temperatur wird links und rechts jeweils am Ende des Umformbereichs erreicht. An den beiden Stirnflächen wird ein Absinken der Temperatur aufgrund Wärmeverluste durch Strahlung und Konvek-

Mit dem Ziel, das Konzept der Zwischenerwärmungsanlage zu entwickeln und die Prozessparameter zu optimieren wurde ein numerisches Simulationsmodell mittels des kommerziellen Softwarepakets ANSYS erstellt. Das Modell umfasst die Simulation des elektromagnetischen und thermischen Feldes und bietet die Möglichkeit, den gesamten Prozess unter Berücksichtigung der ungleichmäßigen Anfangstemperaturverteilung zu analysieren und zu optimie-

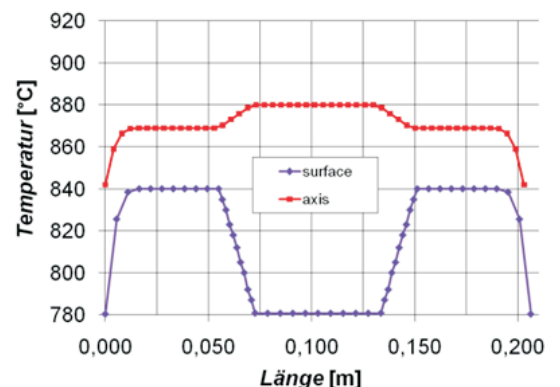
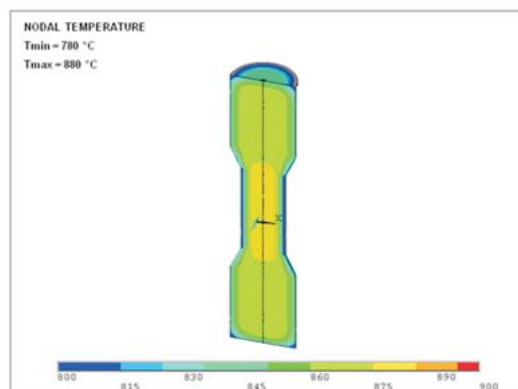


Abbildung 3: Implementierung der Messdaten in das Simulationsmodell

on festgestellt. Daher ist eine Zwischenerwärmung nach diesem ersten Umformschritt erforderlich, um die Werkstück-Temperatur erneut auf eine homogene Schmiedetemperatur von 900°C zu bringen.

Die Zwischenerwärmung und der Transport des Werkstücks müssen dabei innerhalb einer vorgegebenen Taktzeit erfolgen, da die Erwärmungseinheit in die Umformprozesskette integriert werden soll.

Neben den temperaturabhängigen Materialeigenschaften können auch die geometrischen sowie die elektrischen Parameter des Induktors bzw. der Energieversorgung berücksichtigt werden. Hierdurch wird sichergestellt, dass das numerische Modell im gesamten Temperaturbereich den realen Prozess abbildet.

Anhand von Temperaturmessungen wurde eine Prozedur zur automatischen Implementierung der Anfangstemperaturverteilung im

## Promotion von B. Niemann

Nach fünfjähriger Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am ETP wurde am 18. März 2011 Herr Dipl.-Ing. Benjamin Niemann zum Dr.-Ing. promoviert. Herr Niemann arbeitete während seiner Zeit am ETP neben der Betreuung der



Dr. -Ing. Niemann

Skull-Schmelzanlage für Gläser und Oxide an Lösungen von multiphysikalischen Problemstellungen im Bereich Glas- und Oxidschmelzen

unter Einsatz der numerischen Simulation. Darüber hinaus untersuchte Herr Niemann Möglichkeiten für die Steigerung der Energieeffizienz bei industriellen Induktionsöfen für Grau- und Sphäroguss. In seiner Dissertation mit dem Titel „Untersuchung des 3D Wärme- und Stofftransportes von flüssigem Glas im Induktortiegel“ gelingt erstmals die erfolgreiche Durchführung einer numerischen Simulation, die die für den Induktortiegel typischen Oberflächenstrukturen berücksichtigt. Die in der Institutsanlage verifizierten Ergebnisse tragen sowohl zur Verbesserung des Verständnisses der Schmelzenströmung als auch zur Erhöhung der Prozesssicherheit bei. Dr. Niemann ist heute als Leiter der Abteilung Elektrotechnik bei der Firma Auer Lighting GmbH in Bad Gandersheim tätig.

Bauteil entwickelt. Abbildung 3 zeigt beispielhaft ein implementiertes Temperaturprofil am Anfang der Zwischenerwärmung. Nach Festlegung der benötigten Prozessparameter und Bestimmung des Anfangstemperaturprofils wurde ein flexibles Spulenkonzent entwickelt, das aus drei angepassten Spulenabschnitten besteht (siehe Abbildung 4). Das Ziel dieses Konzeptes ist, die geometrischen Parameter anhand der variablen Bauteilgeometrie und des inhomogenen Temperaturprofils zum Anfang der Erwärmung anzupassen. Die globalen Parameter der Zwischenerwärmung sowie die Parameter der einzelnen Spulenabschnitte werden durch die numerische Simulation bestimmt.

Durch experimentelle Untersuchungen wurde festgestellt, dass innerhalb der Taktzeit die vorgewalzten und stark inhomogene Bauteile nach dem Walzen durch die Zwischenerwärmung gut homogenisiert und auf das gewünschte Temperaturniveau von 900°C gebracht werden können.

Der Energiebedarf für die Zwischenerwärmung im neu entwickelten Induktionserwärmer wurde in der hier untersuchten Prozesskette zu 45 kWh/t messtechnisch bestimmt. Damit ergibt sich ein resultierender Energiebedarf für die Vor- und Zwischenerwärmung innerhalb des Halbwarmumformprozesses von insgesamt 345 kWh/t. Dies bedeutet

eine Energieeinsparung von etwa 23% im Vergleich zur Erwärmung im konventionellen Schmiedeprozess.

Im Vergleich zu üblichen Schmiedeerwärmungsprozessen, wo die zu erwärmenden Werkstücke einen konstanten Querschnitt über der Länge und homogene Eingangstemperatur

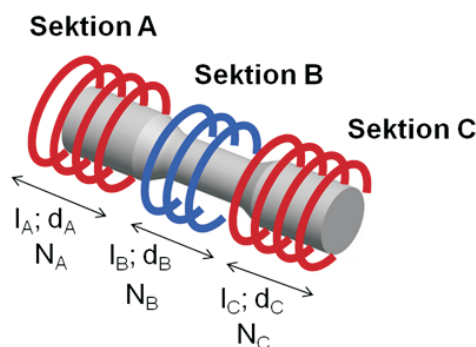


Abbildung 4: Prinzip der induktiven Zwischenerwärmung

vor der Erwärmung aufweisen, ist die neu entwickelte induktive Zwischenerwärmungsstrategie auch auf andere Schmiedeprozessketten übertragbar. Durch die schnelle und lokal gezielte Teilerwärmung bereits teilumgeformter Bauteile kann eine Homogenisierung auf eine definierte Temperatur für den nachfolgenden Umformschritt realisiert werden. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten für die Gestaltung von Umformprozessketten für Werkstoffe mit hohen Ansprüchen an die Temperaturhomogenität und insbesondere auch für Bauteile mit sehr komplexer Geometrie, wie beispielsweise Kurbelwellen.

# *Strom & Wärme*

**Redaktion:**

Dipl.-Ing. Sebastian Wipprecht  
Prof. Dr.-Ing. Egbert Baake  
Telefon: 05 11 / 7 62 - 23 66  
Telefax: 05 11 / 7 62 - 32 75  
E-Mail: [etp@etp.uni-hannover.de](mailto:etp@etp.uni-hannover.de)  
URL: [www.etp.uni-hannover.de](http://www.etp.uni-hannover.de)

**Herausgeber:**

Institut für Elektroprozess-technik  
und Vereinigung zur Förderung  
des Instituts für Elektrowärme der  
Universität Hannover e.V.