

FRAUNHOFER-ANWENDUNGSZENTRUM FÜR GROSSSTRUKTUREN IN DER PRODUKTIONSTECHNIK AGP, ROSTOCK

Entwicklungsteam »Schweißtechnik«

Der Bereich Schweißtechnik des Fraunhofer AGP beschäftigt sich seit ca. 10 Jahren insbesondere mit den Problemstellungen der Schiffbauindustrie und des Baus von Offshore-Tragstrukturen für Windenergieanlagen. Der Tätigkeitsschwerpunkt liegt in der Weiterentwicklung eigentlich bekannter Verfahren, wie z. B. dem Unterpulverschweißen (UP).

Die außergewöhnlich hohen Anforderungen an die mechanisch-technologischen Güterwerte der Schweißverbindungen im Offshorebau, insbesondere an die Tieftemperaturzähigkeit, bedingen eine neue Herangehensweise in der fertigungstechnischen Umsetzung dieser Großstrukturen, die z. B. bis zu 1000 Tonnen Gewicht als Monopile-Tragstruktur erreichen können. Hier ist für eine wirtschaftliche und vor allem prozessichere Realisierung der Schweißverbindungen eine optimale Abstimmung zwischen Grundmaterialien (Stahlgüten), Zusatzwerkstoffen (Drähten, Pulvern), UP-Verfahren (Ein-, Mehrdrahtvarianten, Bestromungs- und Pulsungsarten), Wärmebehandlung (Vor-, Nachwärmen) und Nahtvorbereitungen (Flankenwinkel, Fräsung) notwendig.

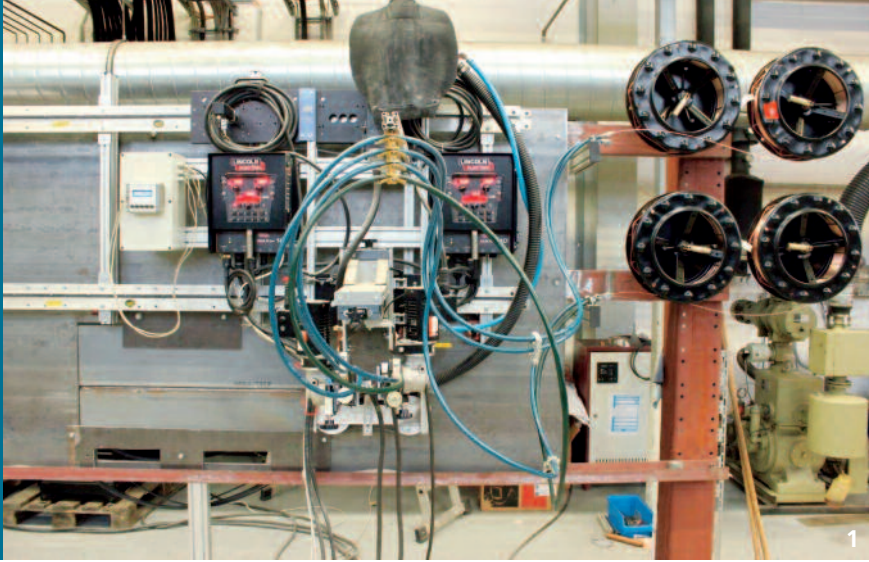
Qualitätssprung durch systematische Verknüpfung innovativer Schweißtechnik

Seit Anfang der 1990er Jahre hat es in der Schweißtechnik vielfältige Innovationen in den einzelnen Prozessen gegeben, die allerdings nicht systematisch verknüpft und untersucht wurden. So ermöglichen z. B. Inverterstromquellen Veränderungen beim Werkstoffübergang in der Schweißkaverne, so dass gemeinsam mit weiterentwickelten Legierungskonzepten der Zusatzdrähte leistungsfähige Gefügestrukturen in den Verbindungen entstehen. Erst durch diese werden die hohen

Qualitätsanforderungen an Zähigkeit und Festigkeit bei wirtschaftlichen hohen Abschmelzleistungen überhaupt erreicht. Während für komplexe Tragstrukturen in Gitterbauweise (z. B. Jackets) häufig auf das teilmechanische MSG-Schweißen mit relativ geringen Abschmelzleistungen und hohem manuellen Aufwand zurückgegriffen werden muss, könnte für rotations-symmetrische oder linienförmige Schweißnähte eine vollmechanische bzw. automatisierte Brennerführung verwendet werden. Diese Voraussetzung ermöglicht dann auch, insbesondere für größere Blechdicken, den wirtschaftlichen Einsatz von Schweißverfahren mit hoher Abschmelzleistung (z. B. UP).

Durch die gute Ausstattung des Fraunhofer AGP, die kontinuierliche Mitarbeit in der schweißtechnischen Gemeinschaftsforschung und eine enge Abstimmung der Forschungsthemen mit den Anwendern und Zulieferern der Offshore- und Schiffbauindustrie werden Fragestellungen für die wirtschaftliche Gestaltung von Schweißprozessen für normal- und höherfeste Werkstoffe und verschiedene Fertigungsbedingungen, z. B. für den Bau von Monopiles und Tripoden, ermittelt und entsprechende Lösungen gefunden (Titelbild: Verbindungsschweißung in Querposition zwischen Basistripod und Turmverbindungs-teil (gelb), Quelle: Weserwind AG). Ein typisches Beispiel ist die Entwicklung des nachfolgend beschriebenen UP-Quer-Schweißens an größeren Blechdicken in der Offshore-Struktur- und Schiffskörperendmontage.

Prof. Dr.-Ing. Martin-Christoph Wanner
Leiter Fraunhofer-Anwendungszentrum für
Großstrukturen in der Produktionstechnik AGP
Telefon +49 381 49682-10
martin-christoph.wanner@hro.ipa.fraunhofer.de



UP-QUER-SCHWEISSEN AN GRÖßEREN BLECHDICKEN IN DER OFFSHORE-STRUKTUR- UND SCHIFFSKÖRPERENDMONTAGE

Die Fertigungsverfahren beim Bau von schiffbaulichen Großsektionen und Offshore-Tragwerken, z. B. Tripoden, erfordern häufig Positionsschweißungen in Querposition. Aufgrund der hohen Baugeschwindigkeit muss die Wirtschaftlichkeit von Fügeverfahren für linienförmige und rotationssymmetrische Quernahtstöße gesteigert werden. Diese werden derzeit fast ausschließlich durch teil- und vollmechanische MSG-Prozesse mit Massiv- oder Fülldrähten ausgeführt. Typische Schweißaufgaben sind Rundnähte großen Durchmessers für Materialstärken im Offshorebau bis 120 mm, wobei, bedingt durch den Fertigungsablauf, nicht mehr in Wannenposition geschweißt werden kann und die langen Fertigungszeiten hohe Kosten erzeugen. Ähnliches gilt für lange Quernähte in der schiffbaulichen Blockfertigung mit Materialstärken von 13 bis 30 mm. Im Vergleich zum MSG-Schweißen weist das UP-Schweißen eine deutlich höhere Abschmelzleistung und damit eine höhere Wirtschaftlichkeit auf. Auch der höhere Abbrand von Legierungselementen und der schwierige Schutz des Schweißbades durch Schutzgase, insbesondere unter Montagebedingungen im Außenbereich, sind bekannte Nachteile des MSG-Schweißens im Vergleich zum UP-Verfahren. Das zu präferierende UP-Schweißen wird bisher in Querposition lediglich im Tank- und Behälterbau i. d. R. bis ca. 30 mm Blechdicke eingesetzt. Die hochproduktiven Mehrdrahtvarianten kommen dabei kaum zur Anwendung. Führungs- und Trägersysteme für die Anlagentechnik sind außerdem derzeit nur für zylindrische Bauteilkonturen verfügbar und erfordern oberseitig meist freie Kanten zum Einhängen bzw. die Notwendigkeit von Heftschweißungen für Führungsschienen.

Flexibles Führungssystem und eine sichere, reproduzierbare Schweißtechnologie für den Dickblechbereich

Die konstruktiven und qualitätsseitigen Anforderungen an eine entsprechende Anlagentechnik im Offshorestruktur- und Schiffbau lassen diese Vorgehensweise nicht zu. Gefordert wird ein flexibles und schnell einzurichtendes Führungssystem und eine sichere, reproduzierbare Schweißtechnologie, die den hohen mechanisch-technologischen Güteanforderungen und Abschmelzleistungen auch im Dickblechbereich genügt. Die einseitige Zugänglichkeit steht dabei besonders für die Schiffbauanwendung im Vordergrund. Das zu entwickelnde System muss eine Haltekraft für die UP-Anlage mit Peripherie sowie Zusatz- und Hilfsstoffe auch in Mehrdrahtvariante sicher aufbringen können und außerdem handhabbar bleiben. Eine zentrale Forderung beim UP-Quernahtschweißen von großen Querschnitten ist die sichere Pulverzuführung in den Wurzelbereich. Die gebräuchlichen Pulverpflüge sind hier unzureichend. Schweißtechnologisch muss ein effizienter Lagenaufbau mit den entsprechenden Parametern gefunden werden, der das Verlaufen der großvolumigen Schmelzbäder verhindern kann. Besonderes Augenmerk ist bei Wurzelschweißungen auf die Verhinderung eingeklemmter Schlackereste, auf die Badsicherung, variierende Spaltbreiten und eine glatte Raupenstruktur an der Werkstückoberfläche zu legen.



2

Testergebnisse mit dem Prototyp einer Schweißanlage für das Unterpulverschweißen in Querposition

In einem zweijährigen Verbundforschungsvorhaben von Fraunhofer AGP und der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt Mecklenburg-Vorpommern wurde der Prototyp einer Schweißanlage entwickelt, der die Anforderungen an das Unterpulverschweißen in Querposition für verschiedene UP-Verfahrensvarianten ermöglicht (Eindraht, Twin, Tandem, Tandem-Twin). Die Erprobung wurde an Schiffsbaublechen mit 13 und 20 mm Blechdicke des Typs GL A36 sowie an Offshore-Blechen der Güte S355G10+M mit 30 und 60 mm Blechdicke, Nahtvorbereitungen von 43 Grad sowie Vorwärmtemperaturen von 120 °C und Zwischenlagentemperaturen von 220 °C durchgeführt. Für Wurzel-, Zwischen- und Decklagen wurden geeignete Schweißparameter gefunden, die an der Anlage schnell variiert werden können und z. B. für die Decklage eine gleichmäßige Oberflächenstruktur bei hoher Qualität gewährleisten. Die Anforderungen an die mechanisch-technologischen Gütewerte, insbesondere sichere Kerbschlagwerte bei -40 °C, konnten mit mehreren Draht-Pulverkombinationen erfüllt werden. Diese hohen Kerbschlagwerte wurden sowohl durch spezielle inverterseitige Bestromungseinstellungen mit Standardschweißdrähten (Typ S3Si) bei -40 °C Prüftemperatur erreicht als auch mit den höherlegierten Schweißdrähten auf NiCrMo-Basis. Sehr hohe Abschmelzleistungen sind im Tandem- und Tandem-Twin-Verfahren von bis zu 21 kg/h erzielt worden. Besonders effektiv erwies sich dabei das entwickelte Schneckenfördersystem für die Pulverzuführung. Die Halte- und Führungseinrichtungen wurden mit Magnetschienen an der Oberfläche befestigt, die Gesamtmasse der Anlage von ca. 100 kg ist dabei mit 6-facher Sicherheit der Haltekraft ausgelegt worden.

Fazit: Qualitätssteigerung und Wirtschaftlichkeits-erhöhung im schweren Stahlbau mit Schweißverfahren

Das Projekt, an dem die Anwender Fa. Weserwind (Offshore), Meyerwerft/Flensburger Schiffbaugesellschaft (Schiffbau) und die Zulieferer Fa. Lincoln (UP-Systeme) sowie verschiedene Draht-/Pulverhersteller beteiligt waren, wurde planmäßig mit Vorführungen der Funktionsfähigkeit des Systems im Januar 2014 abgeschlossen. Es reiht sich ein in eine Vielzahl von Vorhaben am Fraunhofer AGP zur Qualitätssteigerung und Wirtschaftlichkeits-erhöhung im schweren Stahlbau mit Schweißverfahren hoher Abschmelzleistung (Unterpulver- und Elektrogasschweißen). Nach Anpassungen an die unmittelbaren Baugesgebenheiten in der Praxis ist eine Anwendung im Offshore- und Schiffbau-bereich geplant. Aufgrund der engen Abstimmung mit den betreffenden Unternehmen konnten weitere Projekte entwickelt werden, die z. B. effizientere metallurgische Beeinflussungen sowie Verbesserungen in der Prozessregelung beinhalten und damit einen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit dieser schweiß-intensiven Industriebereiche liefern.

1 Prototypische UP-Quer-Versuchsanlage in 4-Drahtausführung mit Magnethaltern, Schienen und Pulverförderschnecke bei Versuchsschweißungen an einem Blech mit $s=20$ mm. (Quelle: SLV MV/ Fraunhofer AGP, Rostock)

2 Einseiten-UP-Mehrdrahtschweißen in Querposition an S355-Proben ($s=30$ mm) mit Variation der Pulverzuführung. (Quelle: Fraunhofer AGP, Rostock)

