

Die Einführung des Elektronenstrahlschweißens in der Nuklearindustrie – ein gangbares Verfahren?

In der Nuklearindustrie kann das Verschweißen „dickwandiger“ Bauteile mittels verschiedener kosteneffizienter Verfahren erfolgen, wobei sich das Vorhandensein von Restmagnetismus in den Materialien jedoch nachteilig auf die effektive Anwendung dieser Verfahren ausgewirkt hat. Seit vielen Jahren hat man versucht, ein geeignetes Verfahren zu finden, das auf breiterer Basis in der gesamten Nuklearindustrie angewandt werden kann. Auch wenn die Produktionsleistung in der Nuklearindustrie gering ist, so ist in Anbetracht der sicherheitskritischen Eigenschaft dieser Bauteile eine Lösung erforderlich.

Typischerweise wurden für das Schweißen „dickwandiger“ Bauteile, wie z. B. von Druckbehältern in der Nuklearindustrie, bisher konventionelle Methoden wie verschiedene Verfahren des Lichtbogenschweißens angewandt, für die mehrere Schweißdurchläufe mit zerstörungsfreien Prüfungen (engl. 'non-destructive examination', NDE) zwischen den Phasen und das Vorheizen des Bauteils zur Reduzierung des Risikos der Rissbildung durch Wasserstoff erforderlich sind.

Bei Kernkraftwerken wird das Verbinden von Bauteilen derzeit durch Anwendung des Wolfram-Inertgas-Schweißverfahrens praktiziert. Das Wolfram-Inertgas-Schweißverfahren zum Schweißen „dickwandiger“ Druckbehälter, wie dem Reaktor-Druckbehälter, ist ein kosten- und zeitaufwendiges Verfahren, das umfangreiche Vorbereitungsarbeiten, einschließlich Vorrichtungen, Werkzeugen, Vorheizen der Bauteile und mehrere Schweißdurchläufe erfordert. Ein weiterer Nachteil des Wolfram-Inertgas-Schweißverfahrens besteht darin, dass es nur bis zu einer bestimmten Tiefe durchdringen kann; daher wird das Schweißen dickwandiger Bauteile durch Auffüllen der Schweißfuge in mehreren Durchläufen ausgeführt. Dies erfordert typischerweise bis zu 100 Schweißdurchläufe für eine typische Reaktor-Druckbehälterwand mit einer Dicke von 140mm oder mehr.

Folglich bringt dieses Verfahren einige Nachteile mit sich, nämlich eine Vielzahl von Durchläufen, die das Vorheizen, die Temperaturregelung zwischen Durchläufen und die Kontrolle mittels zerstörungsfreier Prüfungen (NDE) im Verlauf des gesamten Prozesses erfordern. Daher dauert das Schweißen, die Kontrolle und die Fertigstellung eines Reaktor-Druckbehälters viele Wochen, wenn nicht Monate lang, was einen enormen Anteil der Fertigungskosten ausmacht und zu einer entsprechend längeren Lieferzeit des Bauteils führt.

In der Vergangenheit gab es viele Versuche der Einführung des Elektronenstrahlschweißens mit lokaler Vakuumpumpenrüstung, doch die meisten dieser Versuche sind durch die Notwendigkeit des Arbeitens bei hohem Vakuum gescheitert.. Der britische Berufsverband für Schweißer (The

Welding Institute, TWI) hat zuvor erwiesen, dass die Durchführung des Elektronenstrahlverfahrens im Druckbereich zwischen 0,1-10m Bar, d.h. bei sogenanntem ‚reduziertem Druck‘ im Gegensatz zu einem hohen Vakuum von $\sim 10^{-3}$ mbar, Möglichkeiten einer zuverlässigeren Einführung der lokalen Versiegelung und des lokalen Pumpens bei Elektronenstrahlschweißverfahren an einer großen Konstruktion bietet. In den späten 90er Jahren hat das TWI ein leistungsstarkes Elektronenstrahlschweißverfahren (mit 60kW) für das Rundschweißen langer Offshore-Öl- und Gas-Transportleitungen (Pipelines) entwickelt. Mit rudimentären Pumpausrüstungen und flexiblen Gummidichtungen wurde eine gleichbleibend hochwertige Schweißqualität erreicht, und das Verfahren zeigte gute Toleranzen in Bezug auf die Sauberkeit des Materials, die Passung, den Oberflächenzustand und den Arbeitsabstand, mit einem Potenzial der vollen Rundschweißung von Rohrstücken mit Wanddicken von 40mm und einem Durchmesser von 711mm in weniger als fünf Minuten.

Die jüngste Entwicklung der Elektronenstrahlschweißtechnologie bietet die Möglichkeit des Schweißens „dickwandiger“ Bauteile in einem Durchlauf, wobei die Notwendigkeit der zerstörungsfreien Prüfungen (NDE) zugleich wegfällt; dies resultiert in erheblichen Zeit- und Kosteneinsparungen in der Fertigung von Druckbehältern für die Nuklearindustrie. Des Weiteren kann auch der Schritt des Vorheizens eliminiert werden, da der Elektronenstrahlschweißprozess in einem Vakuum-Umfeld ausgeführt wird.

Die Anwendung des Elektronenstrahlschweißverfahrens in der Nuklearindustrie bietet im Vergleich zu anderen Schweißverfahren eine Reihe Vorteile. Es kann aufgrund der schnellen Geschwindigkeit des Verbindens dank des Verfahrens drastische Zeit- und Kosteneinsparungen bei der Fertigung von „Dickwand“-Konstruktionen bieten, sodass die vollen Fugendicken in einem einzigen Durchlauf geschweißt werden können.

Aufgrund der materiellen Größe und Geometrie von Nuklear-Druckbehältern wären herkömmliche Vakuumkammern jedoch in Anbetracht der niedrigen Produktionsleistung in der Nuklearindustrie außerordentlich kostenaufwendig.

Cambridge Vacuum Engineering hat jüngst eine revolutionäre lokale Vakuum-Elektronenstrahlschweißtechnologie namens EBFlow eingeführt, die derzeit erstmals in Großbritannien erprobt wird. Im Rahmen des EBMan Power-Projekts, das eine Kooperation zwischen CVE, TWI, U-Battery und Cammell Laird ist, soll das erste EBFlow-System innerhalb einer Großproduktionsanlage für die kosteneffiziente Fertigung großangelegter Infrastruktur für die Stromerzeugung umgesetzt und bestätigt werden.

Der spezifische Fokus der EBFlow-Technologie liegt auf der Kostensenkung „dickwandiger“ Stahlkonstruktionen, die sowohl für Kernkraftwerke als auch für Offshore-Windkraftanlagen nutzbar sind. Die Kooperationspartner sind zuversichtlich, dass ihr Projekt eine kritische Rolle spielen wird, um EBFlow auf den Markt zu bringen und seinen Betrieb in einer realen Einsatzumgebung zu bestätigen.

Die Anwendung der EBFlow-Technologie in der Nuklearindustrie bietet im Vergleich zu anderen Schweißverfahren eine Reihe Vorteile. Das letztliche Ziel dieses spezifischen Projekts ist die Fertigung von Bauteilen für Kernkraftwerke. Ähnliche Verfahren sind in anderen Industriezweigen erfolgreich umgesetzt worden, doch dieses Konzept wurde jetzt erstmals im Stromerzeugungssektor angewandt.



Im Bereich der Stromerzeugung herrscht bereits heute ein hoher Bedarf nach „dickwandigen“ Stahlkonstruktionen, und dieser Trend wird im Laufe der kommenden Jahre weiter zunehmen. Die Fertigung eines typischen Monopiles von 100 m Länge (100 mm Dicke) kann derzeit mehr als sechstausend Stunden unter Anwendung der Methode des Lichtbogenschweißens in Anspruch nehmen. Das EBFlow-System, das auf dem hochproduktiven Verfahren des Elektronenstrahlschweißens beruht, vermag die erforderliche Dauer des Schweißvorgangs hingegen auf weniger als 200 Stunden zu reduzieren; dies entspricht einer Kostensenkung von über 85%.

Das EBMan Power-Projekt, das bis 2021 abgeschlossen werden soll, zielt darauf ab, eine Lösung für viele Jahre der Entwicklung in Bezug auf den Versuch der Einführung des Elektronenstrahlschweißverfahrens in der globalen Industrie anzubieten. Dies wird eine Realität werden, nicht nur eine Möglichkeit, und es kann nicht nur helfen, den derzeitigen Produktionsdruck in der Welt zu mindern, sondern auch zur Lösung des sogenannten „Energie-Trilemmas“ (kohlenstoffarme, sichere und kostengünstige Energie) beitragen und eine kohlenstoffarme Wirtschaft ermöglichen.