

Christoph Reppin, M.Sc.

Charakterisierung und Qualifizierung von Schweißverbindungen manganhaltiger austenitischer Stähle für kryogene Lagertanks in der schiffbaulichen Fertigung

1. Einleitung und Problemstellung

In den letzten Jahren hat die Bedeutung technischer Gase, vor allem aufgrund politischer Vorgaben zur Emissionsreduktion und Einhaltung der Klimaziele, weltweit stetig zugenommen. Verflüssigtes Erdgas (LNG) sowie Wasserstoff (LH₂) werden als Energieträger immer wichtiger. Der Transport und die Lagerung dieser Gase erfolgen oft im kryogenen Zustand in Tanks, was spezielle Anforderungen an die derzeit eingesetzten Werkstoffe stellt. Der kaltzähe martensitische Stahl X8Ni9 hat in den letzten Jahren aufgrund seiner hohen Festigkeit und Möglichkeit zur Masseersparnis im Vergleich zu austenitischen Cr-Ni-Stählen vermehrt Anwendung in kryogenen Bereichen gefunden. Allerdings stoßen herkömmliche Tieftemperaturwerkstoffe bei der Lagerung von flüssigem Wasserstoff an ihre Grenzen. Während Austenite sehr gute Verarbeitungseigenschaften aufweisen, treten bei der schweißtechnischen Verarbeitung von nickelhaltigen Martensiten erhebliche Probleme auf, die die Qualität, den Grad der Mechanisierung und die Produktivität negativ beeinflussen können.

Neuartige manganhaltige austenitische Stähle könnten insbesondere aufgrund ihrer hohen Kaltzähigkeit und Festigkeit eine vielversprechende Alternative für kryogene Anwendungen darstellen. Es gibt jedoch auch hier Herausforderungen in Bezug auf die Verarbeitung, Kosten und normativer Einordnung, die adressiert werden müssen.

2. Zielstellung

Ziel dieser Arbeit ist daher die umfassende Qualifizierung mittel- und hochmanganhaltiger austenitischer Stähle für den Einsatz in kryogenen Anwendungen, unter Berücksichtigung ihrer schweißtechnischen Eignung, mechanischen Eigenschaften und arbeitsschutzrelevanten Emissionen. Untersucht werden sollen dabei:

- Die Schweißeignung in Abhängigkeit von Werkstofftyp und Schweißprozess (UP und MSG)
- Tieftemperatureigenschaften bis -196°C
- Das Emissionsverhalten (Schweißrauche) in Abhängigkeit von Prozessparametern
- Die Vergleichbarkeit mit bestehenden Werkstoffen im normativen Kontext
- Anwendungsnahe Validierung

3. Lösungsweg

Das Vorgehen folgte einer aufeinander aufbauenden Struktur, beginnend bei der Erarbeitung normativen und wissenschaftlichen Grundlagen, über die werkstofftechnischen Charakterisierung bis hin zur industriellen Validierung im Rahmen der schiffbaulichen Fertigung von Tanks. Zwei austenitische Stähle mit unterschiedlichem Mangangehalt wurden ausgewählt, analysiert und mechanisch geprüft, einschließlich Zug- und Kerbschlagbiegeversuchen bei -165°C bzw. -196°C . Darauf aufbauend folgten schweißtechnische Untersuchungen, die den Kern der Arbeit bildeten. Diese gliederten sich in zwei Hauptblöcke: Schweißuntersuchungen an Stählen mit mittlerem Mangangehalt und Untersuchungen an Stählen mit hohem Mangangehalt. Beide Versuchsreihen dienten der Bewertung der Schweißeignung, der mechanischen Integrität der Verbindungen und der Prozessrobustheit im Labormaßstab. Die Ergebnisse wurden durch Demonstratorschweißungen unter industrierelevanten Bedingungen validiert. In den Schweißpositionen PC und PF wurde die Übertragbarkeit der Laborparameter auf den Wertmaßstab überprüft. Ergänzend wurde die Wirkung einer Wärmenachbehandlung untersucht, orientiert an den Prozessschritten der Klöpperbodenfertigung, um die Wiederherstellung der Zähigkeit nach einer Kaltverformung zu bewerten. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Analyse arbeitsschutzrelevanter Emissionen. Mittels standardisierter Fume-Box-Messungen wurden die Abhängigkeiten der Schweißrauchemissionen von Stromstärke, Mangangehalt, Schutzgas und Lichtbogenart beim MSG-Schweißen bestimmt. Die integrative Auswertung aller Untersuchungen führte zu praxisorientierten Handlungsempfehlungen und bildet eine belastbare Grundlage für den industriellen Einsatz manganhaltiger austenitischer Stähle in kryogenen Anwendungen.

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse belegen, dass manganhaltige austenitische Stähle mit mittlerem und hohem Mangangehalt eine technisch und wirtschaftlich tragfähige Alternative zu konventionellen 9 %-Ni-Stählen für den kryogenen Tankbau sein könnten. Mit den industriell relevanten Lichtbogenverfahren MSG (135/136) und UP (121) konnten reproduzierbare und fehlerarme Schweißverbindungen hergestellt werden, die die normativen Mindestanforderungen an Festigkeit, Tieftemperaturzähigkeit und Nahtintegrität bis -196°C teilweise erfüllen. Damit wurde die grundsätzliche Schweißeignung beider Werkstoffsysteme nachgewiesen. Insgesamt liefert die Arbeit eine belastbare Grundlage für den industriellen Einsatz manganhaltiger austenitischer Stähle im kryogenen Tankbau und zeigt klare technologische Leitplanken für eine normkonforme und prozesssichere Implementierung auf.