

Technical Bulletin

provided by



Copyright by Henkel 2003. All rights reserved.
Data shown is typical, and should not be construed
as limiting or necessarily suitable for design. Actual
data may vary from those shown herein.

HINWEISE ZUR HERSTELLUNG UND PRÜFUNG VON ORBITALSCHWEISSNÄHTEN IM SENSIBLEN EDELSTAHLROHRLEITUNGSBAU

Aufsatz Nr. 46 / Rev. 02

Dr.-Ing. Georg Henkel
Dipl.-Ing. Benedikt Henkel

*The component's
value is assured
by its surface*



HINWEISE ZUR HERSTELLUNG UND PRÜFUNG VON ORBITALSCHWEIßNÄHTEN IM SENSIBLEN EDELSTAHLROHRLEITUNGSBAU

1. Einleitung

Speziell in den Bereichen Pharma- und Biotechnologie wie auch Reinstwasser- und Reinstgaseapparatebau werden Verrohrungsinstallationen aus den austenitischen Materialien 1.4404/1.4435, 1.4539 etc. hergestellt. Die Rohrhälftezeuge haben dabei besonderen Spezifikationen und Prüfungen zu genügen, wobei den Materialien auch entsprechende Dokumentationen beizulegen sind.

Betreffend der Installations- bzw. Verschweißtechnik liegen in der Regel ebenfalls detaillierte Verfahrens- und Prüfanweisungen vor, wobei als Schweißtechnik im allgemeinen die automatische Orbitalschweißtechnik mit entsprechender Rohrrinnenformierung vorgegeben wird und alle relevanten Verfahrensparameter nachvollziehbar dokumentiert werden.

Grundsätzlich werden dabei auch die Abnahme/Prüfspezifikationen der Schweißnaht vorgegeben bzw. durch entsprechende Vergleichsmuster definiert.

Die Erfahrung zeigt, dass im Zuge von Schweißfreigabe – wie auch von Schweißabnahmeverfahren - im Rahmen von Mustervergleichen wie von videoskopischen Schweißnahtprüfungen hier häufig erhebliche Meinungsverschiedenheiten der Parteien betreffend der Beurteilung auftreten und dabei entsprechende Terminverzögerungen bzw. damit unerwartete Kostenfolgen auftreten.

Ziel der vorliegenden Betrachtung ist, die relevanten Parameter für die Ausbildung der Schweißnähte, die Schweißnahtkriterien und die Vergleichsgrößen zu ermitteln, um den Parteien Hilfestellung zu geben, derartige Abnahmevereinbarungen möglichst rasch und sicher abzuwickeln.

2. Darstellung der Schweißparameter

Grundlage der Betrachtung ist die WIG/MIG-Orbitalschweißung von austenitischem Rohrmaterial unter Verwendung von Formiergasspülung. Dabei ergibt sich für die Schweißanweisung und die Prüfmethodik zunächst folgendes Parameterfeld:

- * Rohrmaterial (dokumentiert) 1.4404/1.4435 nach EN 10088-1 und ASTM A269
 - **) Legierungsart
 - **) Cr/Ni Äquivalent
 - **) Schwefelgehalt, Mangangehalt
 - **) geschweißt/nahtlos
 - **) geglüht/ungeglüht
 - **) Oberflächenqualität, Ra, metallblank, gebeizt, elektroliert
 - **) Durchmesser, Wanddicke, Ovalität und deren geometrische Toleranzen
 - **) Oberflächenreinheit (Öle etc.)

- * Schweißverfahren (dokumentiert)
 - **) mit/ohne Zusatz
 - **) gekammerte/offene Zange
 - **) Strom/Start- und Endverlauf
 - **) heften
 - **) Geschwindigkeit
 - **) Schweißnahtvorbereitung der Ufer
 - **) Positionierung/Spalt
 - **) Reinheit der Schweißumgebung/Position
 - **) Schweißgasqualität, Flußmenge
 - **) Formiergasqualität, Flußmenge
 - **) Zusatzmaterialqualität und Reinheit
 - **) Sauerstoffrestgehalt im Wurzelbereich (Sauerstoffgehaltmessung)

- * Schweißnahtbeurteilung (definiert) DIN 25817 (Bewertungsgruppe B) und EN 13480-5 sowie ASME BPE 2000
 - **) innen/außen
 - **) makroskopische Beurteilung (Überhöhung/Unterwölbung, Struktur)
 - **) mikroskopische Beurteilung (Poren, Risse)
 - **) Oberflächenbelegung (Schlacken)
 - **) Colorierung der HAZ
 - **) Deltaferritgehalt
 - **) Wurzelfehler/Bindung

Die Zusammenstellung der qualitätsbeeinflussenden bzw. – bestimmenden Parameter zeigt, dass es auch eine Vielzahl von typischen Schweißfehlern geben muss, sobald einzelne Parameter beim Schweißen nicht ausreichend beachtet werden.

- *) Cr/Ni-Äquivalente:
Abweichungen an der Phasengrenze lassen beim Schweißen im allgemeinen Deltaferritstrukturen im Schweißgefüge erwarten.

- *) Deutlich unterschiedliche S-Gehalte der Schweißpartner lassen Wurzelfehler / Bindefehler erwarten.

- *) Erhöhte Mangangehalte lassen die Bildung von Manganfahnen im Rohrrinnenbereich erwarten (Sublimationseffekt).
- *) Mikrorauhe, mechanisch gefertigte Oberflächen lassen verstärkte Anlauffarben in der HAZ erwarten (lokale Sauerstofflager im Mikrobereich).
- *) Ölreste auf der Oberfläche lassen die Bildung von Ölkohleringen mit entsprechend störenden Chromkarbidstrukturen in der HAZ erwarten (IK-Effekte).
- *) Erhöhte Toleranzen von Wanddicke bzw. Rohrdurchmesser lassen Abweichungen in der makroskopischen Schweißnahtgeometrie erwarten.
- *) Verunreinigte Oberflächen/Schweißufer (Fe, Al etc.) von der mechanischen Vorbearbeitung lassen ebenso erhöhte Raupenbelegungen erwarten wie Ca-Dotationen im Rohrgrundmaterial.
- *) Offene Orbitalschweißzangen zeigen auf der Außennaht verstärkte Anlauffarben in der HAZ.
- *) Heftfehler verursachen häufig lokale Schweißnahtporenbildung.
- *) Die Schweiß- und die Formiergasreinheit beeinflussen die Belegung der Schweißnahttraupe /-wurzel wie auch die Colorierung der HAZ.
- *) Zu hohe O₂-Gehalte (unzureichende Formierung) verstärkt die Colorierung der HAZ; in Grenzbereichen führt dies sogar zu Bindefehlern in der Wurzel mit Verbrennungseffekten und entsprechend rauher Kraterbildung im Wurzelbereich.
- *) Unreine Zusatzwerkstoffe (z.B. Si verunreinigt) verstärken die Belegung von Schweißnahttraupe/-wurzel.

Die Prüfbetrachtung der Schweißnaht umfaßt betreffend der Beeinflussung die äußere Schweißnahttraupe wie auch die wurzelseitige Raupe sowie die HAZ auf beiden Schweißufern innen und außen betreffend Topographie, Morphologie und Energieniveau, wobei auch die Schweißnahtgefügestruktur zu beachten ist.

Speziell die Schweißnahtgefügestruktur ist eine deutliche Gußstruktur im Vergleich zu einer kompakten und homogenen Walkstruktur des gezogenen/gewalzten Rohrmaterials.

3. Erkenntnisse betreffend die Schweißbereichsverfärbungen

Bei der Montage sogenannter sensibler Rohrleitungssysteme ist der überwiegende Großteil der oben angeführten Defektarten nicht anzutreffen, zumal detaillierte Vorgaben und Spezifikationen zum Schweißverfahren dies gezielt vermeiden lassen.

Auch die bekannte Palette von Schweißanlauffarben durch erhöhte O₂- Gehalte im Wurzelbereich sind hier im allgemeinen durch entsprechende Schweißverfahrensführung vermieden.

Bild 1: (Quelle Hansen, Force, und AWS D18.2.1999)
Schweißanlauffarben in Abhängigkeit vom O₂-Gehalt im Schweißwurzelbereich

In diesem Zusammenhang sei noch auf die Ausbildung von Schichtsystemen in der HAZ verwiesen. Ausgehend von der wärmebehandlungsfreien chromoxidreichen Passivschicht (Dicke $s = 1,5 - 2,5$ nm, Cr/Fe-Verhältnis $> 1,5:1$), die einen typischen amorphen Aufbau zeigt und insohin völlig transparent ist, ergeben Temperaturerhöhungen unter O₂ – Anwesenheit chemische Reaktionen mit zunehmendem Schichtdickenwachstum, wobei plötzlich auch entsprechende Farbwirkungen erkennbar werden.

Bis zu einem Temperaturbereich von ca. 400°C wachsen Schichten bis ca. 50 – 80 nm mit strohgelber bis goldartiger Farbe.

Bei höheren Temperaturen ergeben sich aufgrund erhöhter O-Affinitäten seitens Fe-Molekülen im Passivschichtbereich dann Schichten rötlicher bis blauschwarzer Farbe mit einer Dicke von 100 ... 400 nm und darüber (Zunderbildung).

Untersuchungen haben gezeigt, dass bis zu strohgelber Verfärbung der HAZ vorwiegend chromoxiddominierte Passivschichten vorliegen (Cr/Fe $> 1,0$), die korrosiv noch unbedenklich sind. Die Farbwirkung entsteht durch entsprechende Lichtbrechung in den amorphen Strukturschichten.

Rötlich bzw. blauschwarz verfärbte HAZ-Bereiche dagegen bestehen vorwiegend aus Fe-Oxiden (Cr/Fe < 1), die den Schutzcharakter der Chromoxidschichten nicht mehr aufweisen und korrosiv eindeutig bedenklich sind.

Der Aufbau der typischen Fe-Oxide in der HAZ zeigt sich wie folgt:

Bild 2 : a) Aufbausystem von typischen Schweißanlauffarben durch Sauerstoffeinwirkung

b) Aufbausystem der klassischen chromoxidreichen Passivschicht.

In diesem Zusammenhang ist besonders in Reinsystemen mit minimalen Anlaufeffekten (strohgelb zu bräunlich) darauf zu achten, dass schon geringe Mengen an O₂ - in der Oberfläche durch Adsorption gebunden und beim Formieren im Grenzschichtbereich kaum sicher zu entfernen – einen entsprechend unerwünschten Oxidationseffekt verursachen können. Dies ist aus Topographie/Morphologie/Energieniveau – Gründen bei mechanisch gefertigten Oberflächen natürlich viel eher zu erwarten als bei e-chemisch polierten Oberfläche, wie entsprechende Erfahrungen zeigen.

Bei weiterer Systemverfeinerung und Unterdrückung jeglicher (farblicher) Veränderung in der HAZ ist zu erkennen, dass dies nur noch mit fachgerecht e-chemisch polierten und sorgsam nachgereinigten Rohrelementen möglich ist. Mechanisch polierte Oberflächen lassen aus Gründen Topographie/Morphologie/Energieniveau eine völlig farb-freie Verschweißung in der HAZ nicht zu.

Diese Tatsache wird auch durch neuere Untersuchungen unterstützt, dass im Vergleich zwischen mechanisch gefertigten Oberflächen und e-chemisch polierten Oberflächen in der HAZ ein Strukturunterschied bis in eine Tiefe von ca. 500 nm zu erkennen ist (mb), während dies bei e-chemisch polierten Oberflächen nicht zu erkennen ist.

Speziell in hochqualitativen Feinbereichen zeigen sich in der HAZ allenfalls mattere Oberflächenstrukturen im Vergleich zum e-chemischen Polierbereich des Restrohres. Strukturuntersuchungen hierzu haben ergeben, dass neben strukturellen Veränderungen in der HAZ durch lokale Ausdampfungen (z.B. Mn) vorwiegend auch Ni- und Mo Oxide entstehen, die zur lokalen Mattierung beitragen. Eisenoxidanreicherungen wurden nicht festgestellt. In diesem Sinne sind die erkannten leichten Mattierungen in der HAZ korrosionstechnisch wie aus der Sicht der Partikelkontamination nicht bedenklich.

In diesem Zusammenhang erkannte minimale azimutale Braunstreifen in der HAZ – meist nur auf einer Seite der Schweißnaht – haben sich auf lokale Oberflächenverunreinigungen mit S, P, Cl – Verbindungen zurückführen lassen, wobei speziell S und Cl eine katalytische Wirkung haben bei der Bildung von Ni-Oxiden. Der Effekt des entstehenden Braunstreifens wird auch durch abnehmende Ra-Werte deutlich reduziert. Die bei der Analyse erkannten funktionalen S-Verunreinigungen (bei gleichzeitiger Ab-senz von P-Verunreinigungen) weisen auf entsprechende Schmelzenanteile hin.

Die die Farbeinwirkung verursachenden verstärkten Ni-Oxide sind demzufolge hinsichtlich Passivschichtwirkung, Korrosionsverhalten, Partikelverhalten etc. eindeutig nicht von Nachteil bzw. unbedenklich und können sinngemäß auch durch einfache Passivierspülungen **nicht** entfernt werden. Eine nachhaltige Entfernung ist nur durch Beizen oder aber durch e-chemisches Polieren sachgerecht möglich. Die Vermeidung der Bildung von derartigen „Superpassivschichtbereichen“ ist möglich durch Verwendung S-armer Schmelzen bzw. durch den Einsatz optimal gereinigter elektropolierter Edelstahloberflächen.

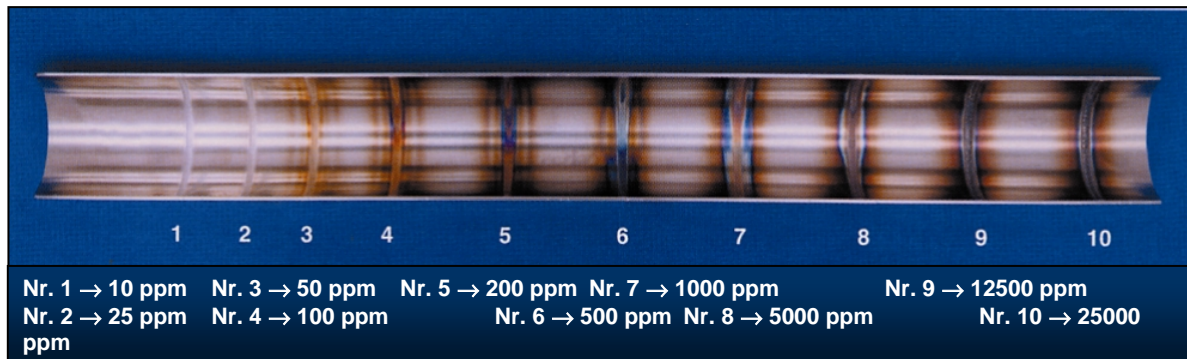
3. Zusammenfassung

Darstellung der wesentlichen Parameter für die Erstellung von hochwertigen Orbital-schweißnähten im sensiblen Edelstahlrohrleitungsbau unter Hinweis auf entsprechende Verfahrensfehler und deren Folgen. Dabei wird im Besonderen auch auf die relevanten Schweißnahtkriterien und deren Einhaltung eingegangen.

Für weitere Auskünfte stehen wir Ihnen gern zur Verfügung

Anlauffarben in der Wärmeeinflusszone

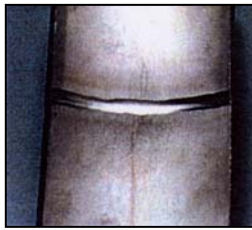
- Temperaturbereich 300 – 1000°C
- Spuren von Sauerstoff im inerten Schweiß- und Formiergas



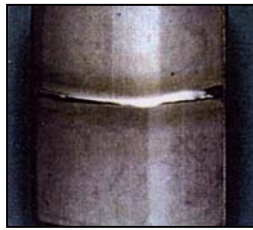
Einfluss des Restsauerstoffgehaltes im Formiergas Argon auf die Ausbildung von Anlauffarben in der Wärmeeinflusszone von Orbitalschweißnähten (Werkstoff 316L).

Quelle: AWS D18.2:1999, *Guide to Weld Discoloration Levels on Inside of Austenitic Stainless Steel Tube*, American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.

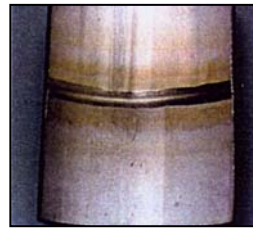
- Austenitischer Edelstahl, gebeizte Innenoberfläche — Schweiß-/Formiergas Ar:



$O_2 < 1$ ppm



$O_2 = 15$ ppm



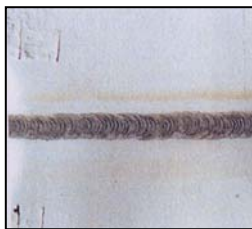
$O_2 = 32$ ppm



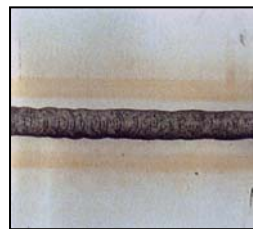
$O_2 = 57$ ppm

T =
1,6
Q =
0,2-
0,3
kJ/m
m

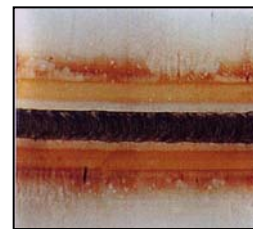
- Werkstoff 1.4435, e-polierete Innenoberfläche — Schweiß-/Formiergas Argon:



$O_2 \leq 2$ ppm



$O_2 = 21$ ppm

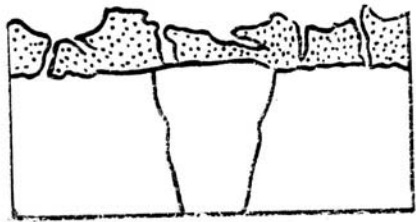


$O_2 = 57$ ppm

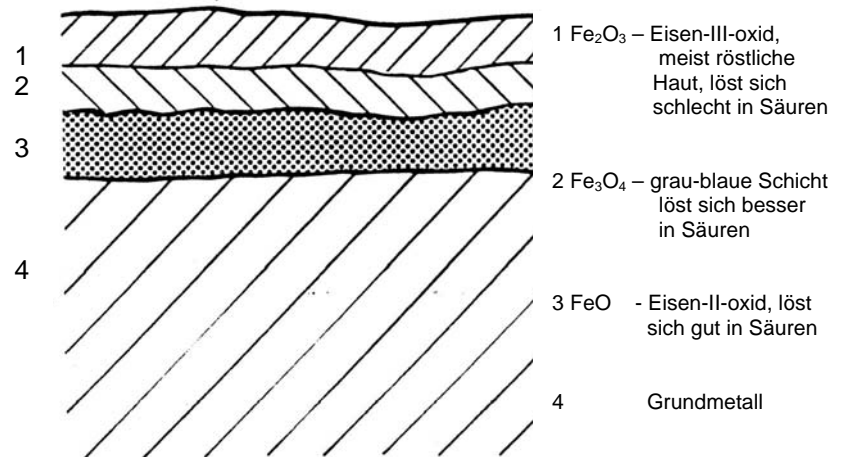
T =
2,0 /
Gep
ulst
WIG
Q =
0,2-
0,3

Quelle: J. Vagn Hansen, *Influence of residual oxygen on the welding result*, Conference Proceedings International Symposium on Orbital Welding. La Baule. France. 24th and 25th April 1997.

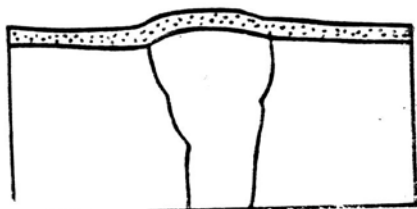
a) Aufbausystem von typischen Schweißanlauffarben durch Sauerstoffwirkung (Zunderschichten)



1.4435
Schweißzunderschicht
Schicht offen und rissig
Schichtdicke ca. 300 nm



b) Aufbausystem der klassischen chromoxidreichen Passivschicht



1.4435
Passivschicht, homogen und dicht
Schichtdicke ca. 2 nm

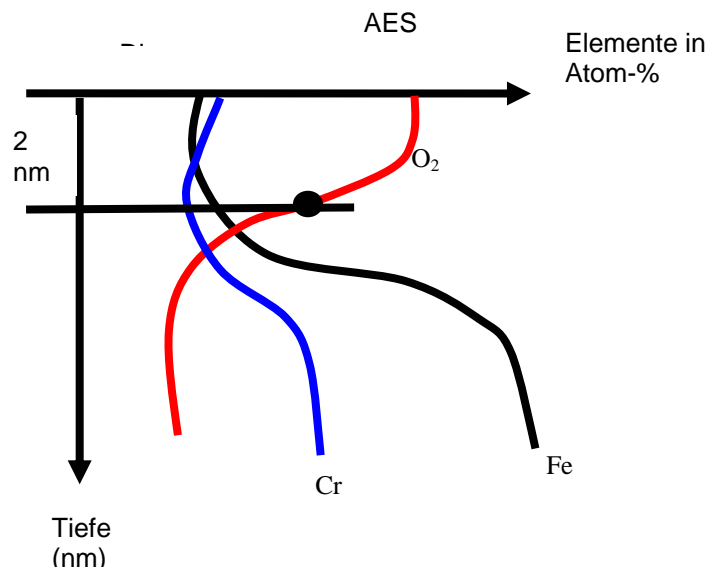


Bild 2: Oberflächenschichten auf Edelstahl 1.4435

