

White Paper. Formieren beim Schweißen.

Autor Dipl.-Ing./EWE Thomas Ammann

Datum April 2012

Veröffentlicht in Deutschland

Inhalt.

1. Einführung.	3
2. Der Einfluss von Anlauffarben auf die Korrosionsbeständigkeit.	4
3. Einteilung und Wirkung der Wurzelschutzgase.	7
4. Auswahl des richtigen Wurzelschutzgases.	8
4.1. Werkstoffbezogene Eignung	
4.2. Dichte des Gases	
4.3. Wirtschaftliche Aspekte, Verfügbarkeit	
5. Formiertechniken, Spülleistung, Rohrlängeneinfluss.	10
6. Formiervorrichtungen und Messgeräte.	12
6.1. Formiervorrichtungen	
6.2. Messgeräte	
7. Kondensationsbeläge, „Manganfahnen“.	14
8. Gasführung in Schläuchen.	16
9. Arbeitssicherheit beim Formieren.	17
10. Schrifttum.	19

1. Einführung.

Der wohl wichtigste Grund dafür, dass nichtrostende Stähle („Edelstähle“) so häufig verwendet werden, ist ohne Zweifel ihre Korrosionsbeständigkeit. Um die Betriebssicherheit von geschweißten Konstruktionen aus solchen Stählen unter korrosiven Bedingungen zu gewährleisten, ist es notwendig, die besonderen Eigenschaften dieser Werkstoffe auch bei der Herstellung von Schweißverbindungen zu erhalten. Unter der Einwirkung von Wärme (aus dem Schweißprozess) und Sauerstoff (aus der umgebenden Luft) kommt es bei nichtrostenden Stählen und anderen Werkstoffen wie z. B. Titan zur Bildung sogenannter Anlauffarben. Diese Anlauffarben, bunte Verfärbungen im Schweißnahtbereich, können die Korrosionsbeständigkeit hochlegierter Werkstoffe stark beeinträchtigen und müssen normalerweise entfernt bzw. vermieden werden.

Bei den Methoden zur Entfernung von Anlauffarben wird zwischen chemischen, elektrochemischen und mechanischen Verfahren unterschieden. Das Beizen, ein rein chemischer Prozess, bei dem die Anlauffarben und sonstige Verunreinigungen mit einem Gemisch verschiedener Säuren von der Werkstückoberfläche entfernt werden, kann aus Gründen des Umweltschutzes oder der Zugänglichkeit nicht immer eingesetzt werden. Geräte zum elektrochemischen Entfernen

von Verfärbungen sind nur manuell zu bedienen und eher für den Einsatz an kleineren Werkstücken praktikabel. Beim Strahlen und den anderen mechanischen Verfahren (Schleifen, Bürsten) ist, sofern Zugänglichkeit besteht, manchmal der erforderliche Abtrag bzw. die Reinigungswirkung in Frage gestellt. Zudem besteht immer die Gefahr, dass Arbeitsmittel für nichtrostenden und unlegierten Stahl miteinander verwechselt werden. Wenn das passiert, können unlegierte Partikel die Oberfläche des nichtrostenden Stahles verunreinigen, sodass die Passivschicht gestört wird. Die Korrosionsbeständigkeit ist an diesen Stellen dann verloren.

Eine Alternative zu diesen Verfahren ist das Abschirmen der Nahtwurzel während des Schweißens mit einem Schutzgas – das Formieren. Einige Aspekte der Anwendung und Besonderheiten dieses Verfahrens sind nachfolgend dargestellt.

2. Der Einfluss von Anlauffarben auf die Korrosionsbeständigkeit.



Bild 1: Fortgeschrittene Lochkorrosion im Schweißgut einer WIG-Schweißverbindung an nichtrostendem Stahl (Quelle: SLV München, Fr. Weilhammer)



Bild 2: Geschützte (links) und ungeschützte (rechts) Nahtwurzel. WIG-manuell, nichtrostender Stahl

Die Korrosionsbeständigkeit der nichtrostenden Stähle wird durch eine sehr dünne, festhaftende, aber empfindliche Chromoxidschicht auf der Oberfläche bewirkt, die sich unter Sauerstoffeinwirkung (z. B. an der Luft) selbstständig bildet und die als Passivschicht bezeichnet wird. Die Bildung dieser Passivschicht erfolgt erst bei Chromgehalten von mehr als ca. 11 %, ihre Dicke beträgt etwa 5 bis 10 nm. Zum Vergleich: die Dicke der Passivschicht auf einem 3 mm-Edelstahlblech entspricht in etwa der Dicke einer Spielkarte auf dem Dach eines 30-stöckigen Hauses!

Wird die Schicht zerstört oder beschädigt, etwa indem man sie einritz, baut sie sich nach kurzer Zeit wieder auf, sofern die Bildung nicht durch andere Oberflächenbeläge gestört wird und ein ausreichendes Sauerstoffangebot vorhanden ist.

Mit einem häufigen Missverständnis soll gleich zu Beginn aufgeräumt werden: Dass nichtrostende Stähle nicht in üblicher Weise rosten, heißt nicht, dass sie nicht korrodieren können! „Nichtrostend“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass diese Stähle nicht wie z. B. Baustahl flächig verrosten. Dafür gibt es aber einige andere Korrosionsformen, für die der nichtrostende Stahl anfällig ist, und dies je nach Legierung mehr oder weniger stark.

Hier wäre etwa die Spaltkorrosion zu nennen, die in engen Spalten auftreten kann, z. B. unter Unterlegscheiben, an Flanschverbindungen oder an nicht durchgeschweißten Schweißnähten. Sie kann immer dann auftreten, wenn anfallende Korrosionsprodukte durch die Enge des Spaltes nicht abtransportiert werden können, sodass auch keine Luft mehr an den Werkstoff gelangt und sich die Passivschicht nicht neu bilden kann. Spaltkorrosion kann man durch geeignete konstruktive Maßnahmen in den Griff bekommen, indem z. B. Spalte ganz vermieden werden.

Noch kritischer ist die Lochkorrosion, auch „Lochfraß“ oder „Pitting“ genannt. Sie kann auftreten, wenn durch bestimmte chemisch aggressive Medien, z. B. Salzwasser, die Passivschicht punktförmig geschädigt wird. Dann setzt sich die Korrosion im Werkstoffinneren fort und kann kavernenartige Aushöhlungen verursachen (Bild 1). Anlauffarben, die beim Schweißen häufig auftreten, begünstigen die Bildung von Lochkorrosion ganz enorm. Daher sollten Anlauffarben immer entfernt, oder besser noch, von vornherein ganz vermieden werden. Nur so bleibt der schöne (und teure!) korrosionsbeständige Stahl auch wirklich korrosionsbeständig.

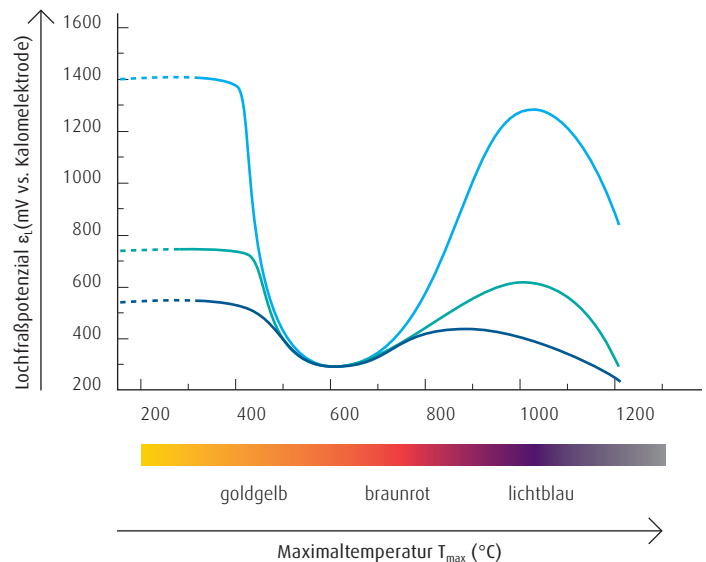
Es gibt noch weitere Korrosionsformen, die bei nichtrostenden Stählen eine Rolle spielen, die im Rahmen dieses Textes jedoch unkommentiert bleiben sollen.

Anlauffarben entstehen bei gleichzeitiger Einwirkung von Wärme und Sauerstoff. Sie zeigen sich als bunte Verfärbungen parallel zur Schweißnaht. Bei der Bildung von Anlauffarben wird die normale Passivschicht des Werkstoffs durch Oxidations- und Diffusionsvorgänge verändert, und zwar sowohl in ihrer Dicke als auch in ihrem inneren Aufbau. Die Dicke der Oxidschicht kann, je nach Bildungstemperatur und Sauerstoffangebot, auf bis zu 300 nm anwachsen. Ein zuverlässiger Korrosionsschutz ist durch eine solche, veränderte Oxidschicht nicht mehr gegeben! Bild 2 zeigt den Unterschied zwischen einer gut formierten (links) und einer völlig ungeschützten Nahtwurzel (rechts), die in dieser Form nicht mehr korrosionsbeständig ist. Es handelt sich in beiden Fällen um das gleiche Material, geschweißt wurde mit gleichen Parametern.

Anzumerken ist, dass man im Falle des schwarz oxidierten Bereiches im linken Bild sinnvollerweise nicht mehr von einer „Anlauffarbe“ spricht, sondern von „verzundertem“ oder „verbranntem“ Material, denn eine bloße Anlauffarbe ist in der Regel noch reparabel, etwa durch Bürsten

Bild 3: Lochkorrosionspotenziale in Abhängigkeit der Oxidschichtdicke [1] ($WS = \text{Wirksumme} = \%Cr + 3,3 \cdot \%Mo + 30 \cdot \%N_2$)

— 1.4462 (WS: 37) — 1.4571 (WS: 25) — 1.4301 (WS: 18)



oder Beizen etc. Verzunderte Bereiche hingegen können auch durch Beizen nicht mehr auf „beständig“ getrimmt werden, das Material ist zerstört.

Häufig wird von Verarbeitern die Frage gestellt, welche Anlauffarbe denn noch belassen werden darf, ohne die Korrosionsbeständigkeit zu gefährden. Bild 3 zeigt den Verlauf des Lochkorrosionspotenzials in Abhängigkeit von der Dicke der Oxidschicht für drei gebräuchliche CrNi-Werkstoffe, nämlich einen CrNi-Stahl in Standardqualität (1.4301), einen Titan-stabilisierten CrNiMo-Stahl (1.4571) sowie einen Duplexstahl (1.4462). Die für jeden dieser drei Werkstoffe angegebene Wirksumme („WS“, auch bekannt als PRE = „Pitting Resistance Equivalent“) dient der Abschätzung der Beständigkeit gegenüber Loch- und Spaltkorrosion. Sie wird ermittelt aus den Gehalten des Werkstoffes an Chrom, Molybdän und Stickstoff.

Für diesen Versuch wurden die Anlauffarben flächig im Glühofen unter kontrollierter Atmosphäre erzeugt und anschließend einer elektrochemischen Korrosionsuntersuchung unterzogen. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist das Lochkorrosionspotenzial, eine elektrische Kenngröße, die angibt, wie widerstandsfähig ein Werkstoff gegenüber Lochkorrosion ist; je höher das Potenzial, desto höher die Beständigkeit. Die Lochkorrosionspotenziale der unbeeinflussten Grundwerkstoffe liegen bei ca. 550 mV, 750 mV bzw. 1400 mV, also etwa in gedachter Verlängerung der Linien zu niedrigeren Temperaturen hin (gepunktete Linien). Die Grafik zeigt deutlich, dass im Bereich der gelben Anlauffarben (Bildungstemperatur zwischen 200 °C und 400 °C) die Lochkorrosionsbeständigkeit kaum beeinträchtigt wird. Im Bereich der roten bzw. rotbraunen Farbe (400 °C bis 800 °C) sinkt dagegen das Potenzial dramatisch ab, und zwar bei allen drei Werkstoffen auf den gleichen niedrigen Wert. Das bedeutet, dass fast alle CrNi-Werkstoffe im Bereich einer roten Anlauffarbe gleich unbeständig sind, und zwar unabhängig von ihrer Legierungszusammensetzung. Zu höheren Bil-

dungstemperaturen hin steigt das Lochkorrosionspotenzial wieder stark an. Die dort erreichten Werte sind beinahe so hoch wie die der jeweiligen unbeeinflussten Grundwerkstoffe.

Die blaue Anlauffarbe ist also, für sich alleine betrachtet, sogar nennenswert beständig. Allerdings entstehen beim Schweißen immer Temperaturverläufe zwischen Schmelztemperatur des Stahles einerseits und Raumtemperatur andererseits. Das hat zur Folge, dass überall dort, wo eine blaue Anlauffarbe auftritt, zwangsläufig auch eine Rote zu finden ist, mit den beschriebenen Auswirkungen hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit. Die Maßgabe kann also nur lauten, dass gelbe Anlauffarben in den meisten Fällen belassen werden können (je heller, desto besser), alle anderen Farbtönungen aber die Beständigkeit stark beeinträchtigen und unbedingt entfernt werden müssen. Solche Industriezweige, bei denen es besonders auf Reinheit und Sauberkeit ankommt, z. B. die Lebensmittel- und Pharmaindustrie, fordern allerdings in den meisten Fällen nach wie vor absolute Anlauffarbenfreiheit. Welche Anlauffarbe in einem konkreten Fall noch zulässig ist und welche nicht, sollte auf jeden Fall vorher mit dem Auftraggeber geklärt werden, damit es nicht hinterher zu Diskussionen und womöglich zu teuren Reparaturen kommt.

Schon sehr wenig Sauerstoff im Bereich der Nahtwurzel kann ausreichen, um Anlauffarben zu erzeugen. Unterhalb von ca. 50 ppm (0,005 %) ist in der Regel nur mit schwacher Anlauffarbenbildung zu rechnen, als generelle Grenze bei der Verarbeitung nichtrostender Stähle werden ca. 100 ppm angesehen. Oberhalb dieses Wertes ist starke Anlauffarbenbildung zu erwarten.

Das Ausmaß der Anlauffarbenbildung hängt jedoch nicht nur vom Restsauerstoffgehalt ab, sondern noch von weiteren Faktoren, wie z. B. dem Oberflächenzustand des Materials oder der beim Schweißen eingebrachten Energie.

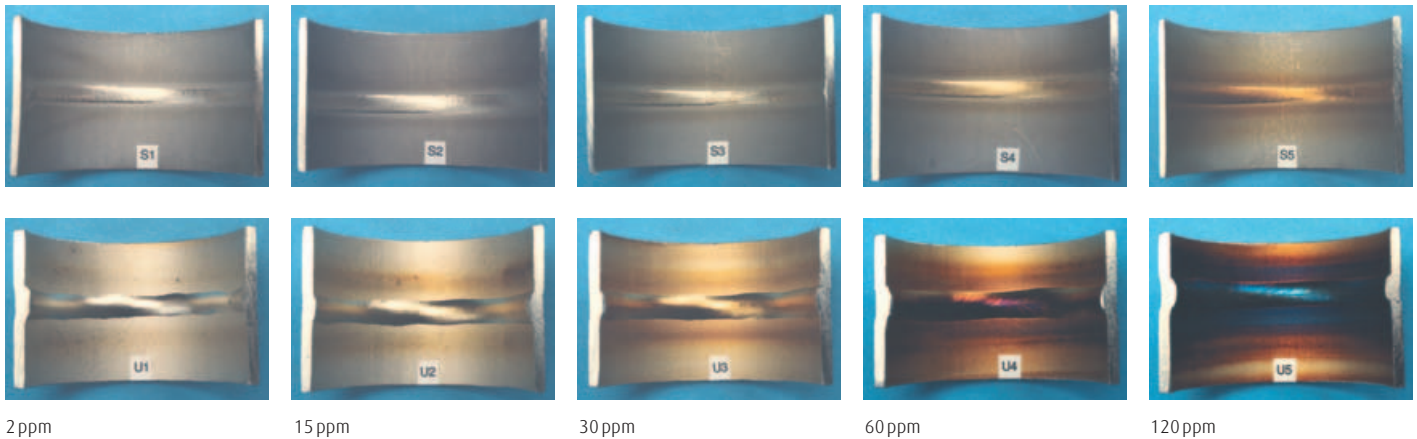


Bild 4: Einfluss steigender Restsauerstoffgehalte an der Nahtwurzel auf die Anlauffarbenbildung. Obere Reihe: 2 mm, 1.4571 – untere Reihe: 3 mm, 1.4306

Bild 4 zeigt zwei Versuchsreihen von WIG-Orbitalschweißungen an Rohren aus nichtrostendem Stahl, die sich hinsichtlich Wanddicke und Werkstoff unterscheiden. Es ist deutlich sichtbar, dass die Ausbildung der Anlauffarben trotz jeweils gleichem Restsauerstoffgehalt unterschiedlich ausfällt. Es ist somit nicht möglich, allgemeingültige Grenzwerte für den zulässigen Restsauerstoffgehalt anzugeben.

Zur Entfernung von Anlauffarben stehen verschiedene Methoden mit unterschiedlicher erreichbarer Oberflächengüte zur Verfügung. Sie sind (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Methoden zur Entfernung von Anlauffarben

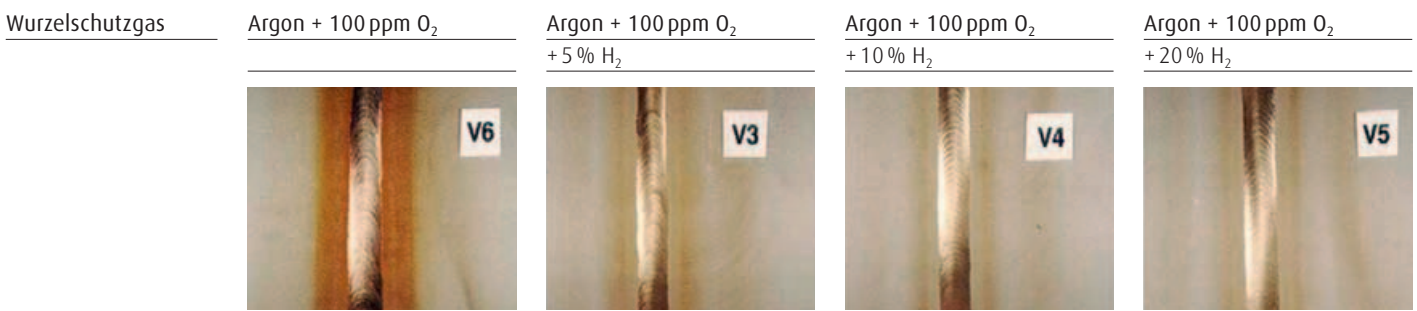
Verfahren	Bemerkungen
Bürsten	Geringer Abtrag, vergleichsweise geringe Korrosionsbeständigkeit erreichbar
Schleifen	Gleichmäßiger Abtrag schwierig, Gefahr des örtlichen Überhitzens
Strahlen	Nur geringer Abtrag, vorteilhafte Oberflächenbeschaffenheit
Beizen	Chemischer Abtrag, sehr gute erzielbare Beständigkeit, starke Oxidation und Schlacke müssen vor dem Beizen entfernt werden
Elektrochemisches Reinigen	Gute Reinigungswirkung, jedoch häufig langsam in der Anwendung
Formieren	Keine oder nur geringe Oxidbildung, kritisch sind Freiformteile oder nicht ausreichend dichte Formiervorrichtungen

Im Unterschied zu diesen genannten Verfahren steht das Formieren, d. h. das Vorspülen und Abdecken der Nahtwurzel mit Schutzgasen während und nach dem Schweißen, da hier die Bildung von Anlauffarben von vornherein vermieden, zumindest aber stark verringert wird. Das Formieren ist ein wirtschaftliches, sauberes und umweltfreundliches Verfahren.

Die besten Ergebnisse im Hinblick auf Korrosionsbeständigkeit erreicht man mit einer Kombination der Verfahren, d. h. Formieren mit anschließendem Beizen oder Strahlen.

3. Einteilung und Wirkung der Wurzelschutzgase.

Bild 5: Einfluss des Wasserstoffs auf die Anlauffarbenbildung bei konstantem Restsauerstoffgehalt



Werkstück: Rohr Ø 60,2 x 3

Werkstoff: 1.4571 X6CrNiMoTi 17-12-2

Die Wurzelschutzgase, die in der Schweißtechnik verwendet werden, sind zusammen mit den Schweißschutzgasen in der ISO 14175 zu finden [2]. Diese Norm gilt seit April 2008 und ersetzt die bis dahin gültige EN 439 [3]. Die Gase, die zum Wurzelschutz gebräuchlich sind, finden sich in den Gruppen I, R und N.

Der Begriff „Formiergas“ bezeichnet im eigentlichen Sinn ausschließlich die Stickstoff/Wasserstoff-Gemische, in der Praxis werden jedoch häufig „Wurzelschutzgas“ und „Formiergas“ gleichbedeutend verwendet. Darauf sollte geachtet werden, um Missverständnisse zu vermeiden. Argon beispielsweise ist ein Gas zum Formieren, aber kein Formiergas!

Argon und **Stickstoff** wirken beim Wurzelschutz als inerte Gase, allerdings wird dem Stickstoffanteil besonders beim Einsatz an Duplexstählen noch eine leichte Verbesserung der Lochkorrosionsbeständigkeit zugeschrieben [4].

Wasserstoff als Wurzelschutzgaskomponente hat zwei Haupteigenschaften: Erstens wirkt er stark reduzierend. Wasserstoff ist also in der Lage, noch vorhandenen Restsauerstoff abzubinden, und, ausreichend hohe Temperaturen vorausgesetzt, bereits entstandene Oxide in ihr Basiselement zurückzuführen. Beides zusammen sorgt für eine sehr gute Sicherheit gegen die Bildung von Anlauffarben, selbst unter nicht optimalen Bedingungen. Zweitens beeinflusst Wasserstoff die Oberflächenspannung des schmelzflüssigen Materials an der Nahtwurzel, was für einen sehr guten Übergang zum Grundwerkstoff sorgt.

In Bild 5 ist die reduzierende Wirkung von Wasserstoff dargestellt. Jede der gezeigten Nähte wurde mit dem gleichen wurzelseitigen Restsauerstoffgehalt geschweißt, jedoch der Wasserstoffgehalt von 0–20 % variiert. Es ist deutlich zu sehen, dass trotz gleichem Restsauerstoffgehalt diejenigen Nähte, bei denen das Wurzelschutzgas zusätzlich mit Wasserstoff versehen war, schwächere Anlauffarbenbildung zeigen.

Gerade bei schwierigen Formieraufgaben, bei denen ein ausreichend niedriger Restsauerstoffgehalt nur schwer zu erreichen ist, erzielt man also mit wasserstoffhaltigen Wurzelschutzgasen in der Regel ein besseres Ergebnis im Hinblick auf Anlauffarbensicherheit. Allerdings darf die reduzierende Wirkung des Wasserstoffs auch nicht überbewertet werden, gegen einen übermäßigen Zutritt von Luft kann auch Wasserstoff nichts ausrichten.

4. Auswahl des richtigen Wurzelschutzgases.

Allgemein gesprochen müssen zur Sicherung der Korrosionsbeständigkeit der kompletten Schweißnaht alle temperaturbeeinflussten Bereiche – Nahtwurzel und Nahtoberfläche –, in denen noch eine Oxidation möglich ist, bis zum Erreichen einer Grenztemperatur abgedeckt bleiben. Als Richtwerte für diese Grenztemperatur gelten:

ca. 250 °C für CrNi-Stähle

ca. 200 °C für reaktive Werkstoffe wie Titan, Zirkonium etc.

Folgende Punkte müssen bei der Auswahl des Wurzelschutzgases beachtet werden:

- Eignung für den zu schützenden Werkstoff
- Relative Dichte des Gases
- Wirtschaftliche Aspekte, d. h. Preis und Verfügbarkeit
- Diese Punkte werden im Folgenden einzeln erläutert.

4.1. Werkstoffbezogene Eignung

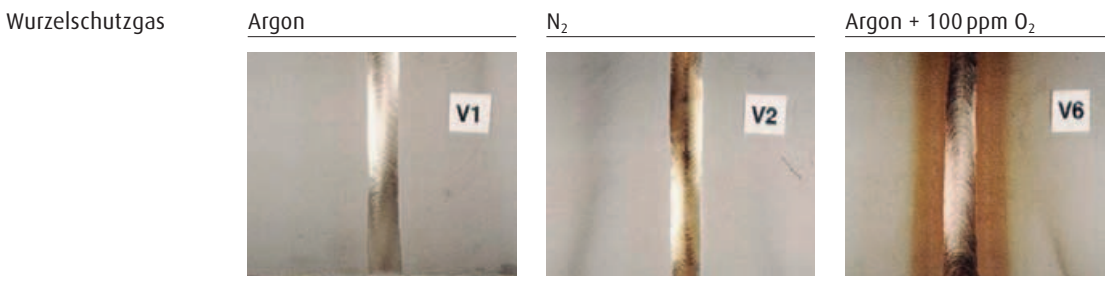
Nicht nur im Lichtbogenbereich, sondern auch an der vergleichsweise kalten Nahtwurzel kann es zu Wechselwirkungen zwischen Schutzgas und Metall kommen. Nicht jedes Wurzelschutzgas ist daher für jeden Werkstoff gleich gut geeignet. Eine erste Hilfestellung in dieser Frage bietet das DVS-Merkblatt 0937 bzw. Tabelle 2.

Tabelle 2: Einteilung der Wurzelschutzgase und Eignung für verschiedene Werkstoffe [5]

Wurzelschutzgas	ISO 14175	Werkstoffe
Argon-Wasserstoff-Gemische	R1 bzw. R2	Austenitische CrNi-Stähle, Ni und Ni-Basis-Werkstoffe
Stickstoff-Wasserstoff-Gemische („Formiergase“)	R5	Austenitische CrNi-Stähle
Argon	I1	Alle schmelzschweißgeeigneten metallischen Werkstoffe, z. B.: austenitische CrNi-Stähle, austenitisch-ferritische Stähle (Duplex), ferritische Cr-Stähle, gasempfindliche Werkstoffe (z. B. Ti, Zr), wasserstoffempfindliche Werkstoffe (hochfeste Feinkornbaustähle, Kupfer und Kupferlegierungen, Aluminium und Aluminiumlegierungen, sonstige NE-Metalle)
Stickstoff	N1	Austenitische CrNi-Stähle, austenitisch-ferritische Stähle (Duplex)

Einschränkungen gibt es demnach vor allem bei den wasserstoffhaltigen Wurzelschutzgasen. Besonders für gasaufnahmeempfindliche Werkstoffe wie z. B. Titan sind diese Gase nicht geeignet, denn hier kann es zur Versprödung und/oder Porenbildung kommen. Auch für Feinkornbaustähle ab 420 MPa Streckgrenze sollten solche Gemische nicht verwendet werden, da das sehr feinkörnige ferritische Gefüge besonders leicht Wasserstoff aufnimmt und es dadurch verspröden kann.

Bei anderen ferritischen oder teilferritischen Werkstoffen, wie z. B. Duplexstählen oder Chromstählen können unter bestimmten

Bild 6: Nahtaussehen eines Titan-stabilisierten nichtrostenden Stahles mit verschiedenen Wurzelschutzgasen

Werkstück: Rohr Ø 60, 2 x 3

Werkstoff: 1.4571 X6 CrNiMoTi 17-12-2

Bedingungen wasserstoffhaltige Wurzelschutzgase bis zu einem H₂-Gehalt von maximal 5 % eingesetzt werden. Es muss allerdings sichergestellt sein, dass kein Wasserstoff in den Lichtbogenbereich gelangen kann, daher ist in einem solchen Fall ohne Spalt zu schweißen. Ist das Schweißen ohne Spalt nicht möglich, etwa wegen zu großer Blechdicke, sollten keine wasserstoffhaltigen Gemische zum Wurzelschutz eingesetzt werden.

Im Zusammenhang mit stickstoffhaltigen Wurzelschutzgasen ist ein weiterer Effekt bekannt, nämlich die Bildung von gelblichen Belägen auf titanstabilisierten nichtrostenden Stählen, z. B. 1.4571/X2 CrNiMoTi 17-12-2. Hier verbinden sich Titan aus dem Werkstoff und Stickstoff aus dem Wurzelschutzgas zu Titanitrid, einer gelblichen, sehr harten Verbindung, die sich auf der Nahtwurzel ablagert. Von einer oxidischen Anlauffarbe, wie sie bei unzureichender Spülung auftritt, ist diese Art von Belägen dadurch zu unterscheiden, dass sie ausschließlich auf der Nahtwurzel in Erscheinung treten, und nicht auch neben der Naht, vgl. Bild 6. Einflüsse dieser TiN-Beläge auf die Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Stählen sind dem Verfasser bislang nicht bekannt. Sind jedoch verfärbungsfreie Nähte gewünscht, muss die Kombination aus Ti-stabilisiertem Werkstoff und stickstoffhaltigem Wurzelschutzgas vermieden werden.

4.2. Dichte des Gases

Besonders, wenn vergleichsweise große Volumina zu spülen sind, können sich die unterschiedlichen Dichten der Spülgase bemerkbar machen. Argon und die technisch relevanten Argon/Wasserstoff-Gemische sind **schwerer als Luft**, Stickstoff und Stickstoff/Wasserstoff-Gemische sind **leichter als Luft**. Als Konsequenz daraus sollten, soweit möglich, Gase mit geringerer Dichte als Luft von oben in das zu spülende Volumen eingeleitet werden. Somit ist sichergestellt, dass

sich das Spülgas oben unter der Behälterwandung sammelt und dann langsam die im Behälter vorhandene Luft nach unten hinaus verdrängt wird. Würde man ein solches Gas von unten einleiten, stiege das Gas ungerichtet nach oben, es käme direkt nach der Einleitung zu einer Verwirbelung mit der im Behälter vorhandenen Luft und eine effektive Spülung würde verhindert.

Für diejenigen Gase, die schwerer als Luft sind, gilt das entsprechend Umgekehrte, also Einleitung von unten, Entlüftung nach oben.

Werden spezielle Formiervorrichtungen verwendet, z. B. bei Rohrschweißungen, fällt dieser Effekt praktisch nicht ins Gewicht, da hier das zu spülende Volumen recht klein gehalten werden kann. Die Bedeutung des spezifischen Gewichtes des Spülgases steigt mit der Größe des Spülvolumens.

4.3. Wirtschaftliche Aspekte, Verfügbarkeit

Von großer Bedeutung bei der Entscheidung für ein bestimmtes Wurzelschutzgas ist natürlich auch dessen Verfügbarkeit. Ist z. B. bereits eine Argon-Tankversorgung mit Ringleitung installiert, liegt der Schluss nahe, dieses in einem solchen Fall sehr preiswert verfügbare Gas auch zum Wurzelschutz zu verwenden, anstelle von Formiergas z. B. aus Flaschen oder Bündeln. Dagegen spricht selbstverständlich nichts, solange das jeweilige Gas für den zu schweißenden Werkstoff geeignet ist, vgl. Punkt 4.1.

5. Formiertechniken, Spülleistung, Rohrlängeneinfluss.

Die eigentliche Aufgabe beim Formieren klingt zunächst simpel: Die Luft in einem geschlossenen (oder nahezu geschlossenen) Volumen ist vollständig durch ein Schutzgas zu ersetzen. Allerdings stellt sich diese Aufgabe in der Praxis häufig als deutlich schwieriger heraus, als man zu Beginn vermutet. Gase verhalten sich nicht immer wie erwartet, zudem drängt der allgemeine Zeit- und Kostendruck dazu, die Spülung so schnell wie möglich zu erledigen, was häufig zu nicht optimalen Ergebnissen und vermehrter Nacharbeit führt.

Drei Arten der Spülung sind grundsätzlich zu unterscheiden:

Bei einer **Verdrängungsspülung** schiebt das Schutzgas die zu entfernende Luft bei möglichst geringer Vermischung vor sich her. Dieses Prinzip ist z. B. für große Behälter denkbar. Besonders zu beachten ist hierbei die Dichte des Schutzgases (vgl. Kap. 4.2.) und die Vermeidung von Verwirbelungen. Im Idealfall wird bei dieser Art der Spülung nur so viel Schutzgas verwendet, wie das zu spülende Volumen beträgt, aber dieses Ideal ist in der Praxis nicht zu erreichen.

Bei der **Verdünnungsspülung** verteilt sich das Schutzgas gleichmäßig im Raum und vermischt sich mit der zu entfernenden Luft. Die Spülung wird so lange fortgesetzt, bis ein gewisser Restsauerstoffgrenzwert unterschritten wird. Das benötigte Schutzgasvolumen beträgt dabei zwangsläufig ein Vielfaches des Raumvolumens. Die Größe dieses Faktors hängt vom Durchmischungsgrad und vom gewünschten Restsauerstoffgehalt ab und ist nicht exakt vorhersagbar.

Die **Evakuierungsspülung** wird im Bereich der metallverarbeitenden Industrie nur selten eingesetzt. Bei dieser Methode wird das zu spülende Volumen zunächst so weit wie möglich evakuiert und dann mit Schutzgas geflutet. Dieser Vorgang kann bei Bedarf mehrere Male wie-

derholt werden. Zu beachten ist, dass der Behälter dazu vakuumfest sein muss, damit er bei der Evakuierung nicht kollabiert.

Bei nahezu jeder Formieraufgabe ist die Verdrängungsspülung anzustreben. Schutzgasverbrauch und Zeitaufwand sind dabei normalerweise am geringsten. Allerdings ist diese Art der Spülung in der Praxis nicht immer möglich, etwa weil die Werkstückgeometrie zu kompliziert ist. Auch kommt es vor, dass eigentlich eine Verdrängungsspülung beabsichtigt ist, diese aber durch falsche Parameterwahl zur Verdünnungsspülung wird, etwa durch zu groß eingestellte Gasdurchflussmenge (\rightarrow Verwirbelung) oder Einleitung des Gases aus der falschen Richtung (\rightarrow Dichte).

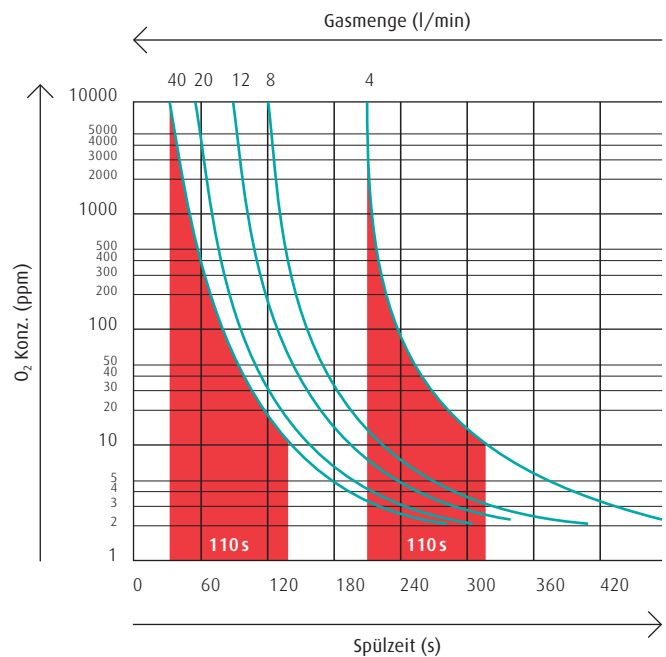
Der Begriff der **Spülleistung** wird oft benutzt, ist aber nicht genau definiert. Landläufig versteht man darunter die generelle Effizienz des Spülvorgangs unter Berücksichtigung des benötigten Schutzgasvolumens und des Zeitaufwandes.

Auf den ersten Blick betrachtet besteht zwischen Spülzeit, zu spülendem Volumen und Gasdurchflussmenge folgender Zusammenhang:

$$\text{Spülzeit} \sim \frac{\text{Spülvolumen}}{\text{Gasdurchflussmenge}}$$

Die Spülzeit scheint vordergründig proportional zum Spülvolumen und umgekehrt proportional zur Gasdurchflussmenge zu sein. Dies würde bedeuten, dass beispielsweise bei doppelter Gasdurchflussmenge die halbe Spülzeit erreicht würde. Die Wirklichkeit sieht allerdings anders aus, denn gerade bei großen Gasmengen bzw. Strömungsgeschwindigkeiten kommt es zu Verwirbelungen an der Grenzfläche Spülgas/Luft

Bild 7: Einfluss der Gasmenge auf die Spülzeit



und zur Verwirbelung an der Werkstückwandung. Diese Verwirbelungen sorgen für eine Rückvermischung und somit für eine Verringerung der Spülleistung. Die Auswirkungen der Verwirbelungen zeigt folgender Versuch:

Zur Ermittlung der Spülwirkung bzw. des momentanen Restsauerstoffgehaltes wurde bei jeweils gleicher Rohrabmessung mit verschiedenen Gasmengen bzw. Strömungsgeschwindigkeiten die Reduzierung des O₂-Gehaltes im Spülgas gemessen, siehe Bild 7. Die Spüllänge betrug bei diesem Versuch 6 m, der Rohrdurchmesser 60,3 mm. Als Spülgas diente Argon. Die erste Spülzeitmessung wurde beim Erreichen eines O₂-Gehaltes von 10.000 ppm = 1% durchgeführt. Bei einem Gasstrom von 4 l/min wurde dieser Wert nach 210 Sekunden erreicht. Nach einer Verdoppelung der Gasmenge auf 8 l/min konnte die 1%-O₂-Grenze ca. 90 Sekunden früher erreicht werden. Für eine weitere Zeiteinsparung von 90 Sekunden ist nun jedoch nicht etwa der doppelte, sondern ein 5-fach höherer Gasstrom von 40 l/min erforderlich, wie im Diagramm erkennbar. Die Spülleistung ist somit zur Größe des Gasstroms **nicht zwingend** proportional.

Betrachten wir nun die Spülwirkung verschiedener Gasmengen unterhalb von 1% Sauerstoff, nämlich im Bereich zwischen 1% und 10 ppm. Bei einer Strömung von 4 l/min war die 1%-O₂-Grenze nach 210 Sekunden erreicht, die 10-ppm-Marke nach ca. 320 Sekunden. Als Differenz errechnen sich somit ca. 110 Sekunden. Wird die Gasmenge auf das Zehnfache, nämlich 40 l/min erhöht, wird 1% O₂ nach 30 Sekunden erreicht, 10 ppm nach ca. 140 Sekunden. Auch hier beträgt die Zeit, die zur Spülung von 1% auf 10 ppm O₂ benötigt wird, 110 Sekunden! In diesem Beispiel wäre es also sinnvoll, zuerst mit hoher Gasströmung den größten Teil Sauerstoff in möglichst kurzer Zeit herauszuspülen, dann

aber den Gasstrom zu verringern. Der Schutzgasverbrauch kann so deutlich reduziert werden, ohne einen wesentlichen Zeitverlust in Kauf nehmen zu müssen.

Beim Spülen von Rohrleitungen verlängert sich die benötigte Spülzeit mit der Länge der Leitung. Das DVS-Merkblatt 0937 [5] gibt hierzu wertvolle Hinweise. Dort findet sich ein Diagramm, mit dem anhand von Innendurchmesser und Durchflussmenge eine ungefähre Spülzeit in Minuten pro Meter Rohrlänge bestimmt werden kann.

Kommerziell erhältliche Formiervorrichtungen tragen häufig erprobte Richtwerte für Gasmenge und Spülzeit aufgeträgt.

6. Formiervorrichtungen und Messgeräte.

6.1. Formiervorrichtungen

Formiervorrichtungen bieten den Vorteil, dass sie zum einen das Spülvolumen verkleinern und zum anderen das Gas genau gezielt dorthin bringen, wo es gebraucht wird. Als Folge davon sinkt der Verbrauch an Wurzelschutzgas und das Formierergebnis wird besser.

Der Markt bietet ein recht umfangreiches Sortiment von Formiervorrichtungen an. Einen Überblick über die gebräuchlichsten Bauformen bietet das DVS-Merkblatt 0937. Bild 8 zeigt eine einseitig einführbare Formiervorrichtung in gerader Bauform. Der Gasaustritt besteht aus einem zylindrischen Körper aus sogenanntem Sintermetall. Dieses schwammartige Sintermetall ist sehr porös und somit gasdurchlässig. Es dient dazu, einen möglichst diffusen Gasaustritt zu schaffen und damit eine gleichmäßige, turbulenzfreie Strömung zu erzeugen.

Ähnliche Vorrichtungen gibt es auch mit einem biegsamen Mittelteil, um das Durchführen der Vorrichtung durch Rohrbögen zu ermöglichen. Weitere Varianten sind mit doppelten statt einfachen Dichtlippen ausgestattet, die für eine bessere Abdichtung und Kippsicherheit sorgen. Die Dichtlippen sind je nach Materialqualität temperaturbeständig bis 280 °C bzw. 330 °C.

Manche Formiervorrichtungen, haben – wohl aus Gründen der Gaseinsparung – häufig eine zu kleine Bohrung für den Gasaustritt. Das Spülgas tritt daher bevorzugt über den Nahtspalt aus. Wird dann die Naht geschlossen, baut sich schlagartig ein hoher Druck im Formierraum auf und die noch nicht erstarrte Schweißnaht wird ausgeblasen. Bei einem Rohr von 60x3 mm genügt beispielsweise dazu schon ein Druck von etwa 4,9 hPa (= 4,9 mbar = 50 mmWs).

Zu erwähnen ist außerdem, dass schon beim Heften formiert werden muss, sofern die Heftstellen nach dem Heften nicht mehr zum Reinigen zugänglich sind. Bereits beim Heften entstehen schon Anlauffarben, die sich beim anschließenden Abschweißen der Naht aber nicht auflösen, sondern als Belag auf der fertigen Wurzel verbleiben. Diese Stellen sind dann bevorzugter Angriffspunkt für Korrosion.

Wichtig ist auch, die Spülung nach dem Schweißen nicht zu früh zu beenden. Nichtrostender Stahl ist bis hinunter zu ca. 250 °C reaktionsfähig, kann also noch Anlauffarben bilden. Es sollte also gewartet werden, bis das Material ausreichend abgekühlt ist. Die Temperatur der Bauteile spielt auch vor Beginn des Schweißens eine Rolle. So sollte dem Material, speziell im Winter, wenn es z.B. aus dem kälteren Lager kommt, Zeit gegeben werden, die Temperatur in der Werkhalle anzunehmen. Ansonsten kann sich nämlich leicht Feuchte durch Kondensation niederschlagen, die wiederum zu Anlauffarben führen kann.



Bild 8: Beispiel einer Formiervorrichtung für gerade Rohre

6.2. Messgeräte

Im Abschnitt 2 wurde bereits gezeigt, welchen Einfluss schon geringe Mengen von Restsauerstoff auf die Anlauffarbenbildung und damit die allgemeine Beständigkeit von nichtrostenden Stählen haben können. Um reproduzierbare Formierergebnisse zu erreichen, ist der Einsatz von Restsauerstoffmessgeräten sinnvoll.

In der Praxis wird häufig mit „Hausmitteln“ gearbeitet, um den richtigen Zeitpunkt zu ermitteln, wann der Restsauerstoffgehalt einen bestimmten Wert unterschritten hat und mit dem Schweißen begonnen werden kann. So wird z. B. am Gasaustritt oder an der Schweißstelle mit einer Feuerzeugflamme „geprüft“, ob mit dem Schweißen schon begonnen werden kann. Diese „Hausmittel“ sind in der Regel unbrauchbar und oft auch aus sicherheitstechnischer Sicht fragwürdig. Sie ergeben bestenfalls eine Information darüber, ob überhaupt Wurzelschutzgas austritt, nicht aber darüber, wie groß der Restsauerstoffgehalt an der Nahtwurzel ist. Eine belastbare Aussage über den tatsächlichen Restsauerstoffgehalt lässt sich nur mit einem Sauerstoffmessgerät treffen.

Am Markt ist eine Vielzahl verschiedener Restsauerstoffmessgeräte erhältlich. Bei der Auswahl sind zwei Dinge zu berücksichtigen:

1. Das Gerät muss einen ausreichenden Messbereich bieten. Der minimal zu erfassende Restsauerstoffgehalt sollte unter 10 ppm liegen. Geräte, die nur bis 0,1 % (= 1.000 ppm) anzeigen können, sind für diesen Zweck ungeeignet.
2. Das Gerät sollte eine Möglichkeit bieten, zwischen wasserstoffhaltigen und nicht wasserstoffhaltigen Wurzelschutzgasen umschalten zu können. Bei den üblicherweise verwendeten Sensoren kann Wasserstoff die Genauigkeit und Geschwindigkeit der Messung beeinflussen, was durch die Umschaltung elektronisch kompensiert werden kann.

Die Anzeige des Restsauerstoffgehaltes kann je nach Ausführung z. B. numerisch oder über LED-Ketten erfolgen. Bei einigen Geräten ist es auch möglich, einen Alarm zu setzen, der über das Unter- oder Überschreiten eines bestimmten Wertes informiert.

Die richtige Anwendung von Restsauerstoffmessgeräten setzt einige Übung und Erfahrung voraus. So ist es z. B. wichtig, an welcher Stelle die Entnahmesonde des Messgerätes platziert wird. Als Faustregel gilt, das Prüfgas so dicht wie möglich an der Schweißstelle zu entnehmen, denn der Restsauerstoffgehalt an genau dieser Stelle ist ja derjenige, der interessant ist. Allerdings ist das aus praktischen Gründen nicht immer möglich. In solchen Fällen könnte man beispielsweise den Restsauerstoffgehalt am Gasaustritt ermitteln, der aber nicht zwangsläufig der gleiche wie an der Schweißstelle sein muss. Werden z. B. längere Abschnitte einer Rohrleitung vorgefertigt, ist es zweckmäßig, alle Stoßstellen abzukleben und das Abgas am Leitungsaustritt zu messen. Allerdings ist es dann möglich, dass dort viel mehr Sauerstoff gemessen wird als an der Schweißstelle vorhanden ist, einfach weil auf dem Weg zum Gasaustritt unter Umständen noch einiges an Sauerstoff durch die noch nicht abgeschweißten Verbindungen eintritt. Die Schweißfolge sollte dann in Richtung der Gasströmung ablaufen, d. h. die Schweißung, die dem Gaseintritt am nächsten liegt, sollte auch zuerst abgeschweißt werden.

In der Praxis muss man sich tatsächlich erst an die geeignete Vorgehensweise herantasten, allgemeingültige Tipps gibt es nur wenige.

7. Kondensationsbeläge, „Manganfahnen“.

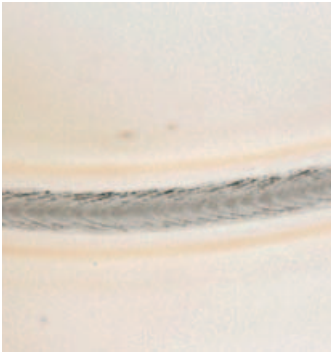


Bild 9: Typische Verfärbung neben der Naht, sog. „Manganfahne“



Bild 10: Belagfreie Naht mit „Cleanflow“

Gelegentlich kommt es beim Schweißen von Rohrleitungen zur Bildung von bräunlichen oder gelblichen Verfärbungen neben der Naht. Dies kann auch dann vorkommen, wenn die Formierung ansonsten einwandfrei ist und die Naht selbst keinerlei Anlauffarben zeigt. Charakteristisch für diese Art von Verfärbungen ist, dass sie nur in einem schmalen Bereich neben der Naht auftreten, oft auch nur auf einer Seite der Naht. In diesem Fall tritt die Verfärbung dann auf der der Gasströmungsrichtung abgewandten Seite der Wurzel auf. Bild 9 zeigt eine typische Ausprägung eines solchen Belages. Zu erkennen ist die Verfärbung neben der Naht, während die Nahtwurzel an sich blank ist. In anderen Fällen zeigt sich der Belag als örtlich begrenzte, nebelartige Verfärbung, oft auch nur an einer Stelle der Naht.

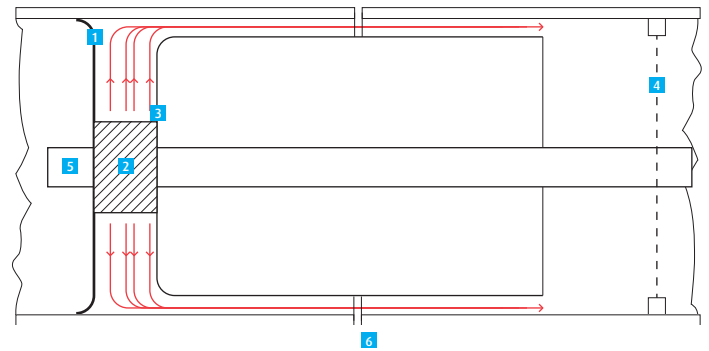
Die Ursache dieser Verfärbungen ist noch weitgehend unklar. Es wird vermutet, dass es sich um metallische Dämpfe handelt, die bereits bei relativ geringer Temperatur, also unterhalb der Schmelztemperatur des Grundwerkstoffs, aus dem Grundmaterial austreten, vom Gasstrom mitgerissen werden und dann auf den kälteren Bereichen neben der Naht wieder kondensieren.

Die Praxis zeigt, dass diese Beläge sich in unterschiedlichster Form zeigen können. Meistens sind sie festhaftend, es gibt aber auch Fälle, in denen die Beläge mit einem einfachen Lappen weggewischt werden können. Auch ist von Fällen berichtet worden, wo die Verfärbung erst zeitverzögert aufgetreten ist. In einem solchen Fall war die Naht unmittelbar nach dem Schweißen einwandfrei und ohne Verfärbung, einige Stunden später jedoch zeigten sich die charakteristischen Streifen.

Vermutlich ist der Mechanismus, der hinter diesen Verfärbungen steckt, wesentlich komplexer, als dass er mit einfacher Kondensation erklärt

Bild 11: Illustration des „Cleanflow“-Prinzips

- 1 Dichtscheibe 2 Diffusor 3 Verdrängungskörper 4 Zentrierung (gasdurchlässig)
5 Gaseintritt 6 Schweißfuge



werden kann. Auch der Einfluss solcher Beläge auf das Korrosionsverhalten des Stahls liegt noch völlig im Dunkeln. Nach dem Wissen des Verfassers ist nicht einmal eindeutig belegt, dass überhaupt ein Einfluss besteht. Allerdings bieten die Kondensationsbeläge immer wieder Anlass zu Beanstandungen, insbesondere bei Anwendungen mit extrem hohen Anforderungen an die Nahtqualität, etwa bei Leitungen für die Lebensmittel- oder Pharmaindustrie.

Durch eine Änderung des Wurzelschutzgases ist gegen solche Beläge erfahrungsgemäß nichts auszurichten. Sie treten unabhängig davon auf, ob Argon, Stickstoff oder Formiergas verwendet worden ist. Ein erfolgversprechender Ansatz zur Vermeidung solcher Beläge besteht darin, durch spezielle Formiervorrichtungen die Gasströmung in Rohrwandnähe zu beschleunigen. Hierdurch ist es möglich, die verantwortlichen Substanzen sozusagen zu „verblasen“ und die Verfärbungen nicht mehr augenscheinlich werden zu lassen. Ein Großteil der Verunreinigungen schlägt sich zudem bevorzugt auf der relativ kalten Oberfläche des Verdrängungskörpers nieder und kann folglich nicht mehr als Kondensat die Rohroberfläche verschmutzen.

Linde hat eine solche spezielle Formiervorrichtung entwickelt, die sich besonders in solchen Fällen eignet, wo das Entstehen von Kondensationsbelägen unerwünscht ist, etwa für die Lebensmittel- oder Pharmaindustrie. Diese Vorrichtung trägt den Namen „Cleanflow“ und besteht aus einer ansonsten konventionellen Vorrichtung, die durch einen speziellen Verdrängungskörper erweitert wird. Diese Konstruktion erzeugt einen wandnahen, axialen Gasstrom hoher Geschwindigkeit, der die Bildung von Kondensationsbelägen verhindert, siehe Bild 10. Der Durchmesser des Verdrängungskörpers muss so gewählt sein, dass der verbleibende Zwischenraum zwischen ihm und der Rohrwand klein



Bild 12: Das „Cleanflow“-Set



Bild 13: Montierte „Cleanflow“-Vorrichtung

genug ist, um eine ausreichende Strömungsgeschwindigkeit zu erzeugen, aber andererseits groß genug ist, um der Nahtwurzel genügend Platz zu lassen.

Der Durchmesser des Verdrängungskörpers muss sich also nach dem Rohrinne Durchmesser richten, der sich aus Außendurchmesser und Wanddicke ergibt, sowie nach dem erforderlichen Zwischenraum, siehe Bild 11. In der Standardausführung (Bilder 12 und 13) enthält das Set eine Auswahl von fünf Verdrängungskörpern, mit denen sich viele gebräuchliche Rohrdimensionen abdecken lassen. Für andere Rohr-abmessungen lässt sich ein speziell angepasster Verdrängungskörper auch leicht selbst herstellen.

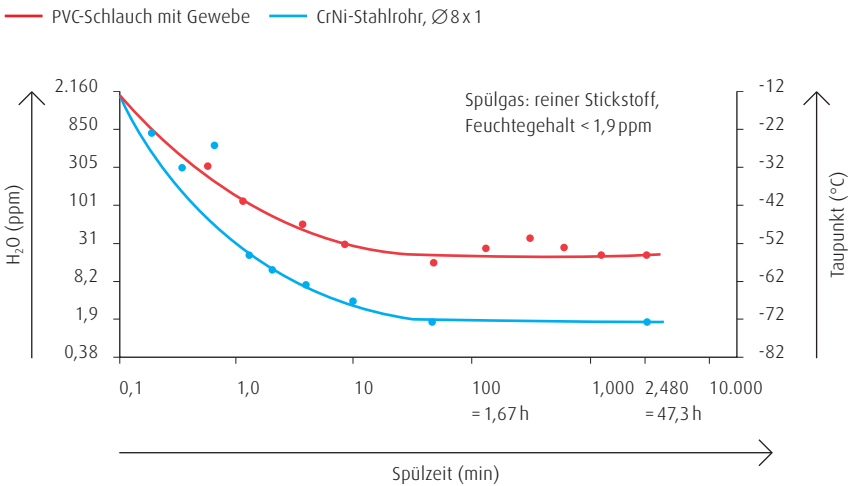
Zusätzlich zur Reinigungswirkung hat die Cleanflow-Vorrichtung den Vorteil, dass die sonst notwendige Vorspülzeit fast völlig entfällt. Mit dem Schweißen kann bereits wenige Sekunden (!) nach dem Starten des Gasstroms begonnen werden, wodurch sich entscheidende Produktivitätsvorteile ergeben.

Ohne den Verdrängungskörper kann die Vorrichtung auch in konventioneller Konfiguration verwendet werden, was die Flexibilität des Systems weiter erhöht.

Eine weitere Methode zur Vermeidung solcher Beläge besteht darin, mit sehr geringem Wärmeeintrag und kleinstmöglichen Schmelzbädern zu arbeiten. Beim WIG-Orbitalschweißen beispielsweise ist das dadurch möglich, dass mit einem sogenannten Step-Programm geschweißt wird, d. h. der Brenner bewegt sich schrittweise und setzt nur während des kurzen Stillstands einen Schweißpunkt.

8. Gasführung in Schläuchen.

Bild 14: Feuchteabgabe ins Wurzelschutzgas durch kontaminiertes Schlauchmaterial



Die Dichtheit bzw. Gasdurchlässigkeit von Gasschläuchen wird häufig falsch eingeschätzt. Je nach verwendeter Schlauchqualität erlauben die Schläuche mehr oder weniger Diffusion von Sauerstoff oder Feuchtigkeit ins Schlauchinnere. Entgegen einer weitverbreiteten Ansicht spielt es dabei keine Rolle, ob der Schlauch unter Druck steht oder nicht. Relevant ist einzig und allein der Konzentrationsunterschied an Feuchte und Sauerstoff zwischen dem Gasvolumen im Schlauch und der Schlauchaußenseite bzw. der damit einhergehende Partialdruckunterschied. Führt der Schlauch z. B. trockenes Argon mit 1 Mpa (10 bar), dann beträgt bei normal feuchter Luft der Konzentrationsunterschied zwischen dem Gas im Schlauch und der Luft außen mehr als Faktor 500, d. h. die Feuchte drängt auf jeden Fall ins Innere des Schlauchs und damit in das Gas.

PVC-Schläuche z. B. lassen vergleichsweise hohe Diffusionsraten zu. Bleibt solch ein Schlauch etwa über das Wochenende auf dem Hallenboden liegen, womöglich noch in einer Pfütze, so wird das Schutzgas, das durch diesen Schlauch geleitet wird, am nächsten Arbeitstag stark mit Feuchtigkeit beladen sein und zu Problemen beim Schweißen führen. Der Schlauch gibt die gespeicherte Feuchtigkeit dann über lange Zeit an das hindurchströmende Schutzgas ab, sodass ein kurzes Freispülen dort auch nichts hilft.

Bild 14 zeigt deutlich, dass unter Umständen selbst nach tagelangem Spülen mit einem trockenen Prüfgas (Feuchtegehalt unter 1,9 ppm) der Restfeuchtegehalt am Schlauchausgang immer noch sehr hoch sein kann.

Mittlerweile sind auf dem Markt speziell entwickelte Gasschläuche zu finden, die sich durch besonders niedrige Diffusionsraten auszeichnen.

Gerade wenn die Anforderungen an die Gasreinheit sehr hoch sind, etwa bei der Verarbeitung von Aluminium oder Titan, ist die Verwendung dieser Schläuche zu empfehlen. Im Interesse geringerer Fehleraten sollte der im Vergleich zu Standardschläuchen höhere Preis in Kauf genommen werden.

Das Institut für Schweiß- und Fügetechnik der RWTH Aachen hat zu diesem Thema eine umfangreiche Untersuchung mit zahlreichen verschiedenen Schläuchen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind am ISF erhältlich [6].

Als generelle Empfehlung gilt, dass die Gasleitung so weit wie möglich als Edelstahlrohr ausgeführt wird, um eine Kontamination des Gases vor allem mit Feuchtigkeit zu vermeiden. Auf sogenannte Schnellkupplungen in der Zuleitung sollte nach Möglichkeit ebenfalls verzichtet werden.

9. Arbeitssicherheit beim Formieren.

Das Formieren ist, wenn es fachgerecht durchgeführt wird und grundlegende Sicherheitsregeln eingehalten werden, eine sehr sichere Angelegenheit. Es gibt jedoch einige Aspekte, auf die unbedingt zu achten ist, um Unfälle zu vermeiden.

Das Arbeiten mit Gasen zum Formieren birgt im Wesentlichen zwei Gefahrenquellen:

- Bildung zündfähiger Gemische bei Verwendung wasserstoffhaltiger Wurzelschutzgase
- Ersticken durch zu große Gasmengen bzw. unzureichende Belüftung

Wird mit wasserstoffhaltigen Wurzelschutzgasen gearbeitet, ist generell darauf zu achten, dass sich keine zündfähigen Gemische mit Luft bilden. Damit überhaupt ein zündfähiges Gemisch entstehen kann, sind jedoch gewisse Mindestgehalte von Luft bzw. Wasserstoff notwendig. Der Grenzgehalt von Wasserstoff im fertigen Gemisch (Flaschengas) beträgt bei Formiergas 5,5 %, bei den Argon/Wasserstoff-Gemischen 4,2 %. Verwendet man Gasgemische, deren H_2 -Gehalt darunter liegt, können sich keine zündfähigen Gemische mit Luft mehr bilden.

Diese Grenzgehalte wurden experimentell ermittelt und können nicht mit den Brennbarkeitseinstufungen verglichen werden, die in den jeweiligen Sicherheitsdatenblättern zu den Gasgemischen angegeben sind. Diese werden nämlich errechnet und dort fließen starre Sicherheitsfaktoren mit ein. Daher stimmen die errechneten und experimentell ermittelten Zündgrenzen nicht unbedingt überein. Zur Angabe in Sicherheitsdatenblättern ist jedoch die Angabe der errechneten Werte verpflichtend.

Ist es also mit einem Formiergas 90/10 (90 % N_2 + 10 % H_2) durchaus möglich, zündfähige Gemische zu bilden, besteht diese Möglichkeit mit einem Formiergas 95/5 (95 % N_2 + 5 % H_2) praktisch nicht mehr. Das DVS-Merkblatt 0937 empfiehlt daher, ab einem Wasserstoffgehalt von 10 % das Wurzelschutzgas beim Austritt aus dem zu spülenden Volumen abzufackeln. Aber Vorsicht: Diese Grenze von 10 % Wasserstoffgehalt bedeutet nicht, dass unterhalb dieses Gehaltes keine zündfähigen Gemische mit Luft mehr möglich sind! Sie ist vielmehr davon abgeleitet, dass die meisten Gasehersteller das sogenannte Formiergas (Gemische aus Stickstoff und Wasserstoff) nur in Abstufungen anbieten und in der Regel keine Produkte zwischen 5 % und 10 % Wasserstoffgehalt verfügbar sind. Das Abfackeln kann mittels einer Zündquelle am Gasaustritt erfolgen, beispielsweise einer kleinen permanent brennenden Gasflamme.

Zur Vermeidung des Erstickens sind die gleichen Hinweise zu beachten, wie sie auch für den Einsatz von Schweißschutzgasen gelten. Es erfolgt bei dieser Gefahr keine Warnung über die Anwesenheit erstickend wirkender Gase und die lebensgefährliche Veränderung der Atmosphäre, denn Formiergas und alle anderen Wurzelschutzgase sind geruch-, farb- und geschmacklos. Für Menschen, die sich der Gefahr nicht bewusst sind, tritt das Ersticken durch inerte Gase ohne jegliches vorher spürbares Signal ein.

Insbesondere beim Arbeiten in engen Räumen oder bei schlechter Belüftung ist größte Vorsicht geboten. Beim Spülen großer Volumina kommt hinzu, dass entsprechend große Gasmengen benötigt werden. Wird z. B. ein Behälter mit einem Rauminhalt von mehreren Kubikmetern vollständig gespült, sollte nach Beendigung der Schweißarbeiten das Wurzelschutzgas nicht plötzlich und vollständig in die Werkhalle entlassen werden, sondern der Behälter langsam belüftet und das Abgas sicher nach draußen geleitet werden. Bei einer solchen oder vergleichbaren Situation sind zwei verschiedene Fälle zu unterscheiden:

1. Das Spülvolumen, etwa ein großer Behälter, ist mit einem **nicht wasserstoffhaltigen** inerten oder quasiinerten Wurzelschutzgas gefüllt (z. B. Stickstoff). In diesem Fall sollte nach Beendigung der Arbeiten der Behälter langsam mit Luft freigespült werden, um zu vermeiden, dass große Mengen Stickstoff auf einmal in die Werkhalle entlassen werden. Dies könnte örtlich zu Sauerstoffmangel und im schlimmsten Falle zu Erstickungen führen.
2. Das Spülvolumen ist mit einem **wasserstoffhaltigen** Wurzelschutzgas (z. B. Formiergas 90/10) gefüllt. In diesem Fall darf nicht mit Luft freigespült werden, weil sich sonst ein zündfähiges Gemisch im Inneren des Behälters bilden könnte. Empfehlenswert ist dagegen, zunächst mit Stickstoff zu spülen und dann wie in Fall 1 zu belüften. Auch in diesem Fall muss vermieden werden, dass größere Mengen des Formiergases auf einmal in die Arbeitsumgebung gelangen, um die Bildung zündfähiger Gemische zu verhindern, das Abgas ist also ins Freie zu leiten.

Das Vorgehen, das im zweiten Fall beschrieben wird, gilt im Übrigen auch schon vorher, nämlich für das Spülen eines mit Luft gefüllten Behälters mit einem wasserstoffhaltigen Schutzgas, denn auch dort

können sich schon zündfähige Gemische bilden. Der Behälter sollte also zunächst mit Stickstoff inertisiert und dann erst z. B. mit Formiergas gespült werden.

Weiteres Augenmerk sollte darauf gelegt werden, was mit dem Wurzelschutzgas passiert, wenn es die zu formierende Stelle bzw. die Formiervorrichtung verlassen hat. Befindet sich auf der Seite der Vorrichtung, an der sich der Gasaustritt befindet, z. B. noch ein längeres Stück Rohrleitung, so wird sich diese Leitung langsam aber sicher mit dem Wurzelschutzgas füllen. Diese Menge an Gas kann unter ungünstigen Umständen zu Unfällen durch Ersticken oder Explosion führen. Bitte beachten Sie: Das Gas verschwindet nicht einfach, wenn es die Formiervorrichtung verlassen hat!

Weitere Hinweise hierzu bieten das DVS-Merkblatt 0937 sowie die jeweiligen Sicherheitsdatenblätter zu den verschiedenen Wurzelschutzgasen.

10. Schrifttum.

1. Ruge J., Radebold L.: Einfluß von durch Schweißen erzeugten Oxidfilmen auf die Lochfraßbeständigkeit nichtrostender austenitischer Chrom-Nickel-Stähle in annähernd neutralen Chloridlösungen. BMFT-Abschlußbericht FE-KKs, Vol. 5, Proj.-Nr. B2.6/3, 101-104 (1990), DECHEMA Frankfurt.
2. DIN EN ISO 14175 (2008-06): Schweißzusätze – Gase und Mischgase für das Lichtbogenschweißen und verwandte Prozesse. Beuth Verlag, Berlin.
3. DIN EN 439 (1995-05): Schweißzusätze – Schutzgase zum Lichtbogenschweißen und Schneiden. Beuth Verlag, Berlin.
4. Lippold J. C., Kotecki D. J.: Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels, Wiley, 2005.
5. N.N.: DVS-Merkblatt 0937 – Formieren beim Schweißen, DVS-Verlag.
6. N.N.: Abschlussbericht AiF 14.426N, Einfluß von Gasschläuchen auf die Feuchte-, Wasserstoff- und Sauerstoffproblematik in Schutzgasschweißprozessen. ISF Aachen, 2007.

Bildnachweis:

Alle Bilder, soweit nicht anders angegeben, Eigentum der Linde AG.

Vorsprung durch Innovation.

Linde ist mehr. Linde übernimmt mit zukunftsweisenden Produkt- und Gasversorgungskonzepten eine Vorreiterrolle im globalen Markt. Als Technologieführer ist es unsere Aufgabe, immer wieder neue Maßstäbe zu setzen. Angetrieben durch unseren Unternehmergeist arbeiten wir konsequent an neuen hochqualitativen Produkten und innovativen Verfahren.

Linde bietet mehr – wir bieten Mehrwert, spürbare Wettbewerbsvorteile und erhöhte Profitabilität. Jedes Konzept wird exakt auf die Bedürfnisse unserer Kunden abgestimmt. Individuell und maßgeschneidert. Das gilt für alle Branchen und für jede Unternehmensgröße.

Wer heute mit der Konkurrenz von morgen mithalten will, braucht einen Partner an seiner Seite, für den höchste Qualität, Prozessoptimierungen und Produktivitätssteigerungen tägliche Werkzeuge für optimale Kundenlösungen sind. Partnerschaft bedeutet für uns jedoch nicht nur wir für Sie – sondern vor allem wir mit Ihnen. Denn in der Kooperation liegt die Kraft wirtschaftlichen Erfolgs.

Linde – ideas become solutions.

Für Sie einheitlich erreichbar – bundesweit in Ihrer Nähe.

Vertriebszentren/Kundenservice allgemein

Berlin	Hannover	München
Düsseldorf	Leuna	Nürnberg
Hamburg	Mainz	Stuttgart

Telefon 018 03.850 00-0*

Telefax 018 03.850 00-1*

Linde AG

Gas Division, Linde Gas Deutschland, Seitnerstraße 70, 82049 Pullach, www.linde-gas.de

* 0,09 € pro Minute aus dem dt. Festnetz, Mobilfunk bis 0,42 € pro Minute. Zur Sicherstellung eines hohen Niveaus der Kundenbetreuung werden Daten unserer Kunden wie z.B. Telefonnummern elektronisch gespeichert und verarbeitet.

