

# Schutz- und Formiergase.

Zum MSG- und WIG-Schweißen nicht rostender Stähle.



# Schutz- und Formiergase zum Schweißen rostfreier Stähle



**Eberhard Brune**  
Dipl.-Ing. (TU)  
Leiter Schweiß- und  
Schneidtechnik  
PanGas AG Dagmersellen

## Rostfrei-Stähle

Die rostbeständigen Stähle nach SN EN 10 088 Teil 1 bis 3 erhalten ihre physikalischen, mechanischen und korrosionschemischen Eigenschaften massgeblich durch ihren Gefügestand im fertigen Bauteil, so dass eine Gruppeneinteilung dieser Stähle aufgrund der Stahlgefüge vorgenommen wird.

Man unterscheidet demnach:

- austenitische Stähle
- ferritisch-austenitische Duplexstähle
- martensitische Stähle
- ferritische Stähle

Von grosser wirtschaftlicher Bedeutung sind die austenitischen Stähle und in zunehmendem Mass auch die Duplexstähle. Eine weitere Einteilung der austenitischen Stahlsorten ergibt folgende Gruppen:

- Austenite mit und ohne Molybdän
- Austenite mit speziell niedrigem Kohlenstoffgehalt
- stabilisierte austenitische Stähle
- Voll-Austenite mit reinem Austenitgefüge

Die nachfolgenden Betrachtungen beziehen sich in erster Linie auf die austenitischen Rostfrei-Stähle wegen ihrer grossen Verbreitung und wirtschaftlichen Bedeutung.

Die Korrosionsbeständigkeit ist eine komplexe Eigenschaft und hängt nicht nur vom Werkstoff allein und seinem Verarbeitungszustand, sondern sehr stark vom Korrosivmedium und den sonstigen Umgebungsbedingungen ab. Daher sind die Rostfrei-Stahlsorten auf unterschiedliche Anforderungen hin konzipiert, die an dieser Stelle nur grob skizziert werden können. So können Molybdän-Zusätze die Beständigkeit gegen Loch- und Spaltkorrosion erhöhen, niedrige Kohlenstoffgehalte die interkristalline Korrosion vermeiden, mit Titan oder anderen Mikrolegierungselementen stabilisierte Sorten den Kornzerfall verhindern und ein vollaustenitisches Gefüge die Korrosionsbeständigkeit generell verbessern.

## Grundsätzliches zum Schweißen rostfreier Stähle

Die Rostfrei-Stähle weisen im Vergleich zu unlegierten und niedrig legierten Stahlsorten eine erheblich kleinere Wärmeleitfähigkeit und eine deutlich grössere Wärmeausdehnung mit ausgeprägter Verzugsneigung auf. Das Schmelzbad ist vergleichsweise zähflüssiger, vor allem bei den mit Molybdän legierten Stahlsorten.

Die Auswahl des Schweißverfahrens, der Zusatzwerkstoffe und der Schweißschutzgase hat bei den hochlegierten Rostfrei-Stahlsorten zu berücksichtigen, dass die Schweißnaht und die nähere Umgebung möglichst die gleichen technologischen Eigenschaften aufweisen sollen wie der Grundwerkstoff.



### Schutzgas-Schweißen von hochlegierten Stählen: eine bewährte Technologie

Aus diesem Grund ist es sehr nützlich, einige der grundsätzlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften der Rostfrei-Stähle zu kennen, speziell das Werkstoffverhalten bei Temperaturbeanspruchung.

Die Schweißnaht zeichnet sich normalerweise durch eine Gussstruktur aus, während der Grundwerkstoff ein mehrfach umgeformtes und lösungsgeglühtes Gefüge aufweist. Bei normalen Abkühlgeschwindigkeiten von Warmwalz- oder Glühtemperaturen auf Raumtemperatur kommt es zu Ausscheidungen im Gefüge, die im Wesentlichen aus Carbiden und intermetallischen Phasen bestehen können. Diese beeinflussen das Korrosionsverhalten ungünstig: Chrom-Eisen-Mischcarbide entstehen bevorzugt an den Korngrenzen der Werkstoffkristalle und führen somit zu einer Chromverarmung in der unmittelbaren Umgebung.

Liegt die örtliche Chrom-Konzentration unter 12 %, so kann es entlang dieser Zonen zu einem Kornzerfall – auch interkristalline Korrosion genannt – kommen, wobei einzelne Kristallite herausgelöst werden können. Lösungsglühen und Abschrecken verhindern die Bildung von Ausscheidungen wirksam. Dieses Verfahren kann jedoch nach dem Schweißen normalerweise nicht angewendet werden. Daher ist ein anderer metallurgischer Weg erfolgversprechend und wird in der Praxis verfolgt: die Einstellung möglichst tiefer Kohlenstoffgehalte. Liegt nämlich der Kohlenstoffgehalt sehr tief, kann die Bildung von Carbiden wirksam begrenzt werden. Diese Stähle werden auch als ELC-Güten (Extra-Low-Carbon) bezeichnet, sofern der C-Gehalt 0,03 % oder kleiner ist. Ein weiterer wirksamer Mechanismus ist die Abbindung von Kohlenstoff mit Mikrolegierungselementen, wodurch

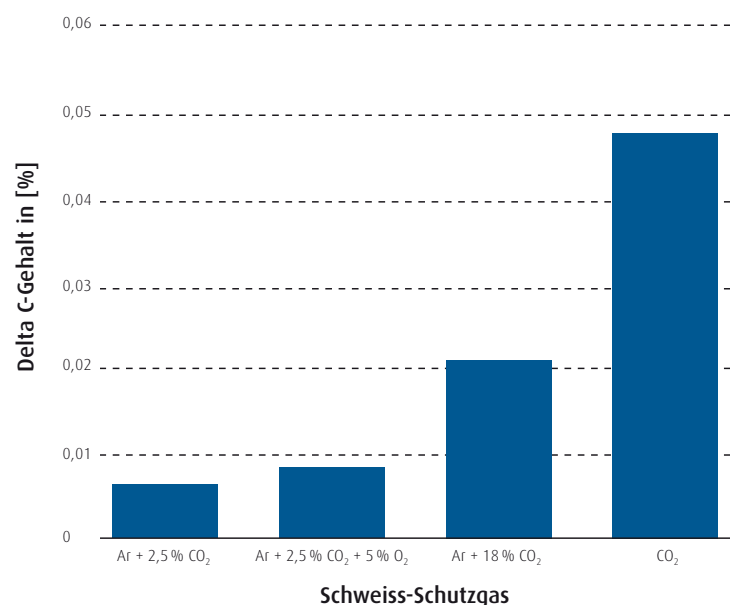
stabile Titan- oder Niobcarbide gebildet werden, so dass die Neigung zur Bildung von schädigenden Chromcarbiden unterdrückt wird.

### MSG-Schweißen von Rostfrei-Stählen

Für die Wahl des Schutzgases beim MSG-Schweißen ergibt sich daraus die Forderung, eine Aufkohlung der Schweißnaht zu verhindern. Eine mögliche Quelle für eine aufkohlende Wirkung stellt das in aktiven Schutzgasen vorhandene Kohlendioxid dar.

Die Auswirkungen unterschiedlicher Konzentrationen von  $\text{CO}_2$  gehen aus Bild 1 hervor: in einer Versuchsreihe wurde ein rostfreier Zusatzdraht mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,016 % unter verschiedenen Schutzgasen verschweisst und der sich im Schweißgut einstellende Kohlenstoffgehalt gemessen. Das Schweißen mit reinem  $\text{CO}_2$  ist demnach völlig indiskutabel, aber auch das Schutzgas mit 18 %  $\text{CO}_2$  bewirkt noch einen Kohlenstoffzubrand, der in Summe zu einem Kohlenstoffgehalt oberhalb der ELC-Grenze führt.

### Kohlenstoffzunahme im Stahl in Abhängigkeit vom Schutzgas





Kehlnaht mit Argon WIG-geschweisst



Tieferer Einbrand mit Argon-Wasserstoff-Gemischen

Die Anfälligkeit für interkristalline Korrosion spielt sich jeweils in einem bestimmten Bereich von Temperaturen und Zeiten ab und ist daher besonders zu beachten, wenn eine weitere Wärmebehandlung vorgesehen ist. Sie werden anschaulich in so genannten Kornzerfalls-Schaubildern dargestellt. Bild 2 zeigt ein solches Schaubild für ein Schweissgut, das mit dem Zusatzwerkstoff 1,4316 erzeugt wurde, und zwar nach dem MSG-Verfahren mit den oben angegebenen Schutzgasen (auf den Versuch mit reinem CO<sub>2</sub> wurde verzichtet):

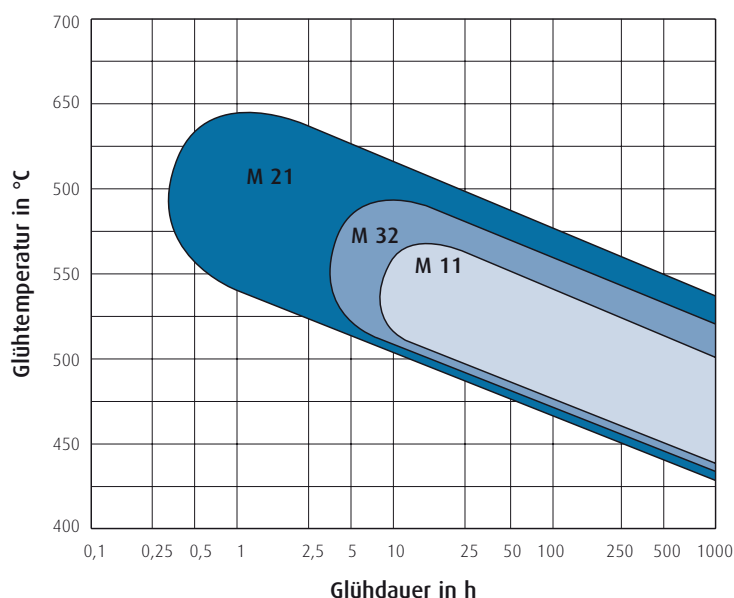
**M 21: Argon, 18% CO<sub>2</sub> (CORGON®18)**

**M 32: Argon, 5% CO<sub>2</sub>, 5% O<sub>2</sub> (COXOGEN®5/5)**

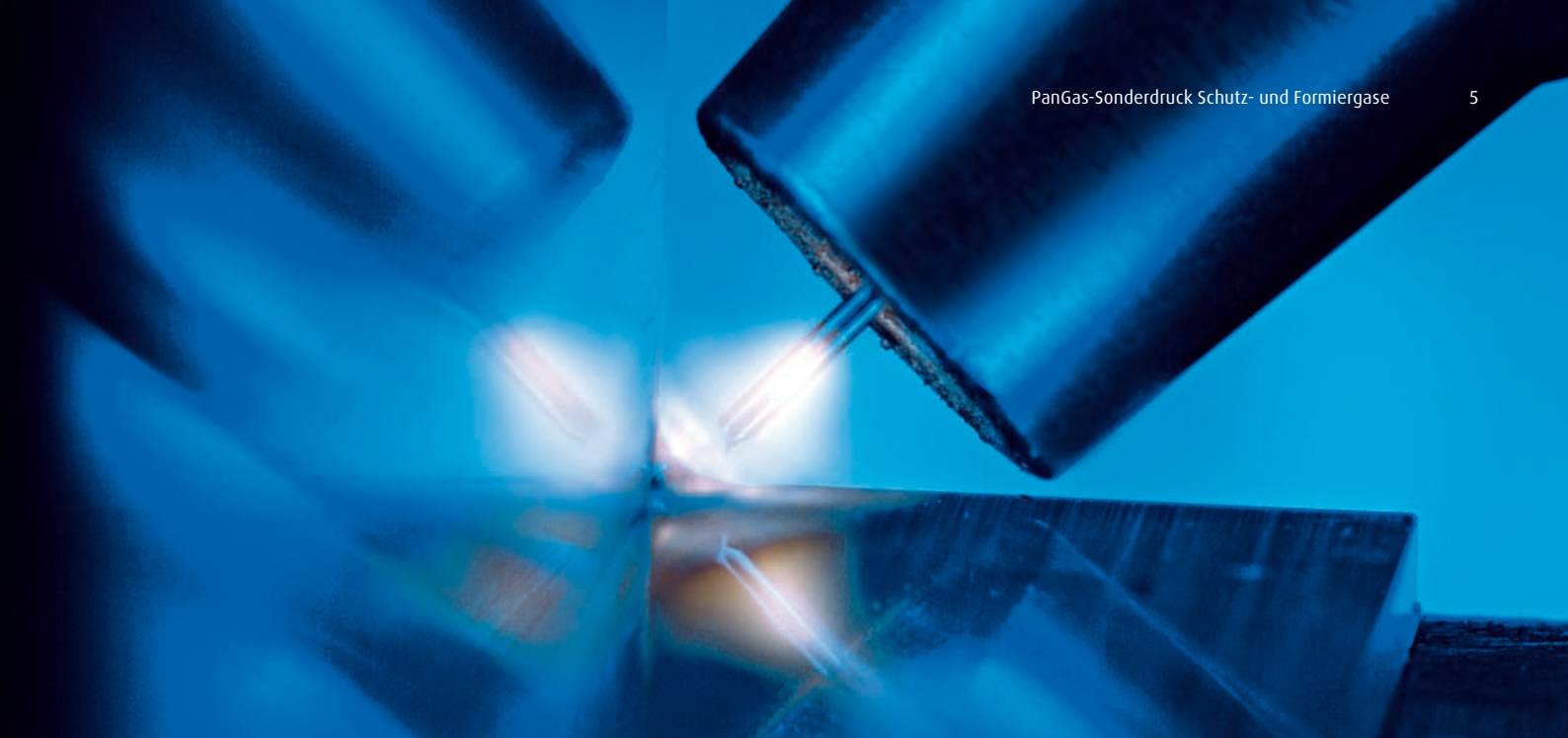
**M 11: Argon, 2,5% CO<sub>2</sub> (CRONIGON®)**

Die unterschiedlichen Kohlenstoffgehalte im Schweissgut beeinflussen die Kornzerfalls-Beständigkeit nachhaltig. Das Schweiss-Schutzgas M 21 ist zwar für Baustähle universell einsetzbar, jedoch für das Schweißen rostfreier Stähle nicht zu empfehlen. Auf der sicheren Seite ist man auf jeden Fall mit dem Schutzgas-typ M 11 mit 2,5% CO<sub>2</sub>, Rest Argon. An dieser Stelle drängt sich die Frage auf, ob nicht ein Verzicht auf Kohlendioxid im Schutzgas – also das MIG-Schweißen unter reinem Argon – dieses Problem grundsätzlich löst?

Ohne Aktivgasanteile im Schutzgas – dies können Kohlendioxid oder Sauerstoff sein – brennt der Lichtbogen sehr instabil und führt zu einem ungleichmässigen Schweisprozess. Da Argon nur eine geringe Wärmeleitfähigkeit und eine kleine Ionisationsenergie besitzt, ist das Wärmeeinbringen in das zu schweisende Werkstück begrenzt. Es resultiert eine eher zähflüssige Schmelze, die nur schlecht an den Grundwerkstoff anläuft. Dies führt zu einer unregelmässig geformten, oft auch sehr schmalen und überhöhten Naht mit nicht zufriedenstellendem Einbrand, ausserdem zu Randkerben und starkem Spritzerbefall. Sauerstoff in kleinen Gehalten bis 3% kann die Situation leicht verbessern – vor allem wird der Lichtbogen stabiler und die Spritzerzeugung verringert sich – es ist jedoch eine verstärkte Porenempfindlichkeit des Schweissgutes und eine Oxidation der Nahtoberfläche zu beachten. Höhere Sauerstoffgehalte führen zwar zu besserem Wärmeeintrag in das Schweissgut, aber auch zu noch fester haftenden Oxidschichten, die sich nur schwer entfernen lassen. Bei Duplexstählen wurde zudem ein Abfall der Zähigkeitswerte (Bruchdehnung, Kerbschlagarbeit) in der Schweissnaht beobachtet.



Schutzgase, welche anstelle von reinem Sauerstoff Kohlendioxid als Aktivgaskomponente enthalten, bieten dagegen eine bessere Entfernbarekeit der entstehenden Anlauffarben. Insgesamt haben sich zum MSG-Schweißen von Chrom-Nickel-Stählen Schutzgase mit 2,5% CO<sub>2</sub> etabliert. Die Dissoziation im Lichtbogen und die nachfolgende Rekombination führen zu einem spürbaren Wärmeeintrag bei günstigem Oxidations- und Porenverhalten. Bewährte Marken sind die Schutzgase CRONIGON® und MISON®2.



### MSG-Schweissen von nicht rostenden Stählen: vorteilhaft unter Helium-haltigen Schutzgasen

Wenn grössere Leistungen gefordert und die Chrom-Nickel-Stähle zusätzlich mit Molybdän legiert sind, kann ein zusätzlicher Heliumanteil von 20–50 % eingesetzt werden. Helium als Schutzgasbestandteil führt zu einem sehr hohen Wärmeeintrag, wodurch auch deutlich grössere Schweissgeschwindigkeiten erzielbar werden.

Bewährt hat sich ein 3-Komponenten-Schutzgasgemisch aus 77,5 % Argon, 2,5 % Kohlendioxid und 20 % Helium. Dieses Schweiss-Schutzgas ist bei der Firma PanGas AG unter dem Markennamen CRONIGON®He 20 im Programm; eine weitere Variante mit 30 % Heliumanteil ist unter der Bezeichnung MISON®2 He erhältlich.

### Sonderanwendungen

Wo es auf noch mehr Leistung, gute Lagenüberschweisbarkeit, geringe Spritzerneigung und wenig Oxidation ankommt, ist eine Variante mit noch mehr Helium und etwas Wasserstoff einsetzbar; sie besteht aus 63 % Ar, 3 % CO<sub>2</sub>, 33 % He, 1 % H<sub>2</sub>; und wird bei PanGas mit CRONIGON®He 33 bezeichnet.

Werden die Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit besonders hoch, so stossen die Rostfrei-Stähle an ihre technischen Grenzen und es müssen Nickelbasislegierungen verwendet werden. Sie kommen in extrem korrosionsbelasteten Aggregaten wie zum Beispiel Rauchgas-Entschwefelungsanlagen in thermischen Kraftwerken oder Kehrlichtverbrennungsanlagen zum Einsatz.

Beim Schweissen solcher Werkstoffe ist die Aufgabe zu lösen, einerseits den Lichtbogen stabil zu halten und andererseits die Bildung von Nickeloxid zu vermeiden, da dieses nicht überschweisbar ist. Dies löst ein Schutzgasgemisch aus Argon, Helium und geringen Aktivgasanteilen, z.B.: 0,05 % CO<sub>2</sub> oder 0,03 % O<sub>2</sub>. Eine Zumischung von 2 % Wasserstoff verbessert zusätzlich noch die Fähigkeit, in Zwangslagen (z.B. Fallnahtposition) zu schweissen. In der grossflächigen Reparaturschweissung von Brennkammern in Kehrlichtverbrennungsanlagen hat sich das Schweiss-Schutzgas mit der Bezeichnung CRONIGON®He 30 S als besonders geeignet erwiesen.

### WIG-Schweissen von austenitischen Stählen

Das WIG-Schweissen von hochlegierten Stählen erfolgt in vielen Fällen unter reinem Argon. Weitere geringe Aktivgaszusätze, wie sie beim Wechselstromschweissen von Aluminium eingesetzt werden (z.B. 300 ppm O<sub>2</sub>) wirken sich beim ruhigen Gleichstrom-WIG-Lichtbogen nicht aus und sind daher nicht notwendig.

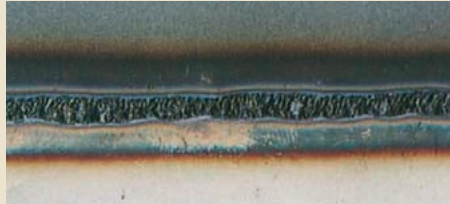
Gase mit oxidierenden Komponenten in grösseren Konzentrationen lassen sich aufgrund der nicht-abschmelzenden Wolframelektrode nicht verwenden, deshalb bieten sich zum besseren Wärmeeintrag Argon-Wasserstoff-Gemische mit Gehalten bis zu 5 % H<sub>2</sub> an. Sie sind bei austenitischen Stählen in der Regel auch im Hinblick auf Porengefahr unproblematisch, hingegen bei Duplexstählen mit hohen Ferritanteilen nicht zu empfehlen, um die Gefahr der wasserstoffinduzierten Rissbildung zu vermeiden. In Zweifelsfällen wird der

Anwender Klarheit durch Schweissversuche bekommen. Mit mechanischer Brennerführung sind bei Austeniten auch höhere Wasserstoffgehalte bis 10 % einsetzbar.

### WIG-Schweissen von Vollausteniten

Bei Vollausteniten, die besonders in der Lebensmitteltechnik und in der chemischen Industrie Verwendung finden, wird oft gefordert, dass der Ferritanteil unter 1 % oder sogar unter 0,5 % liegen soll, um höchsten Korrosionsbeanspruchungen zu widerstehen, d.h. selektive Korrosion zu verhindern. Beim MSG-Schweissen besteht die Möglichkeit, mit Austenitbildnern wie Nickel überzulegen. Beim Orbitalschweissen von dünnwandigen Rohren hingegen muss oft ohne Zusatz gearbeitet werden: in diesen Fällen haben sich Schutzgase auf der Basis Argon mit Stickstoff bewährt. Stickstoff ist als ausgezeichneter Austenitbildner bekannt, löst sich im Stahl allerdings nur begrenzt in molekularer Form. Nach dem Durchgang durch den WIG-Lichtbogen liegt Stickstoff jedoch in atomarer und dissoziierter Form vor und kann so von der Stahlschmelze weitaus besser aufgenommen werden.

Zum Schutz der Wolframelektrode sollte der Stickstoffanteil nicht wesentlich über 3 % liegen. Auch bewirken zusätzliche Anteile von Helium oder Wasserstoff, dass die Schweissgeschwindigkeit erhöht werden kann. Die Austenitstabilisierung durch Stickstoff ist jedoch bei Ti-legierten Stahlsorten wegen der Titanitrid-Bildung nicht möglich. In der Praxis gut bewährte Schutzgase sind bei PanGas unter der Schutzgas-Reihe mit dem Markennamen CRONIWIG® im Sortiment.



Nahtwurzel ungeschützt



Formierte Nahtwurzel

## WIG-Schweissen von Duplexstählen

Duplexstähle sind aufgrund ihrer chemischen Analyse und ihres Gefügeaufbaus in der Regel unempfindlich gegen Spannungsrisskorrosion und zeichnen sich auch durch eine erhöhte Lochkorrosionsbeständigkeit aus. Als weiterer Vorteil gilt ihre gegenüber den Austeniten höhere Dehngrenze und Zugfestigkeit bei praktisch vergleichbaren Zähigkeitseigenschaften. Aufgrund dieser herausragenden Eigenschaften haben die Duplexstähle stark an Bedeutung gewonnen und es wird ihnen eine grosse Zukunft vorhergesagt.

Kennzeichnend für diese Stähle ist ein erhöhter Stickstoffgehalt zusätzlich zu den in Rostfrei-Stählen vorhandenen Elementen wie Chrom, Nickel und Molybdän. Beim Schweiessen dieser Werkstoffe wird durch den Wärmeeintrag das Gefüge-Gleichgewicht Ferrit-Austenit (50:50 nach Glühung) gestört, weshalb mit Austenitbildnern überlegiert wird.

Auch in diesem Fall kann ein Schutzgas aus Argon mit einem Stickstoff-Anteil von 3 % eine Aufrechterhaltung der Korrosionsbeständigkeit und der mechanischen Eigenschaften gewährleisten. Helium-Beimischungen können auch hier Leistungssteigerungen bewirken; auf Wasserstoff im Schutzgas muss man jedoch wegen der Rissgefahr in der Ferritphase verzichten.

## Ferrite und Martensite, WIG- und MSG-Schweissen

Für die ferritischen und die martensitischen Stähle ist eine generelle Scheweisseignung nur bei Kohlenstoffgehalten unter 0,08 % gegeben. Diese lassen sich unter reinem Argon (WIG) und mit Mischungen von Argon mit geringen Mengen  $\text{CO}_2$  (2,5 %) problemlos verschweissen (MSG). Gute Erfahrungen liegen auch bei 3-Komponenten-Schutzgasgemischen vor, die aus Argon, Kohlendioxid und Helium bestehen (77,5 % Ar, 2,5 %  $\text{CO}_2$ , 20 % He).

## Formieren von Rohren aus rostfreien Stählen

Hochlegierte Stähle sollen nicht nur im Grundwerkstoff, sondern selbstverständlich auch an den Schweissstellen eine für den jeweiligen Einsatzfall vorgesehene notwendige und angestrebte Korrosionsbeständigkeit aufweisen. Dies gilt auch für Rohre und Rohrleitungen und hier speziell für die Rohrrinnenseiten. Die Beseitigung oder die Vermeidung von Anlauffarben spielt eine wichtige Rolle; kann doch oftmals eine Nachbearbeitung – z. B. durch Beizen – aus Gründen des Umweltschutzes oder aufgrund mangelnder Zugänglichkeit nicht immer durchgeführt werden. Deshalb wird immer mehr als Alternative zur Nachbehandlung diskutiert, die Schweissnaht-Oxidation auf der Wurzelseite im Rohrrinnen a priori zu verhindern. Die Abschirmung der Schweissnaht-Unterseiten mit speziellen Schutzgasen zur Unterbindung der schädlichen und oxidierenden Wirkung des Luftsauerstoffs wird mit dem Fachbegriff Formieren gekennzeichnet und die dafür verwendeten Gase werden als Formiergase angesprochen.

## Passivschicht

Die Wirkung der Rostfrei-Stähle gegen Korrosion beruht auf der Ausbildung einer Passivschicht, welche verhindert, dass durch feuchte Luft oder Säuren ein Angriff auf das im Stahl mehrheitlich vorhandene Element Eisen und somit ein Materialabtrag am Bauteil erfolgt. Die Ausbildung der Passivschicht ist eng mit dem Chromgehalt des Stahls verknüpft: ab ca. 12 bis 13 % Chromgehalt ist Stahl gegen feuchte Luft beständig, und bei höheren Chromgehalten sowie durch Legierung mit Nickel, Molybdän und Kupfer verbessert sich seine Beständigkeit gegen einige Säuren weiter.

Die Passivschicht bildet sich in Anwesenheit von oxidierenden Substanzen mit einer sehr dünnen Schichtdicke, welche auf der Oberfläche durch Adsorptionskräfte fest haftet. Diese Schicht verhindert die weitere aktive Reaktion des Eisens mit Sauerstoffträgern und ruft so den passiven Zustand hervor. Die Passivschicht ist nach heutigem Verständnis nicht als eine statische Schicht aufzufassen, sondern steht in einem dynamischen Gleichgewicht mit dem Sauerstoffangebot der näheren Umgebung. Die Erscheinung der Spaltkorrosion kann demnach auch sinngemäss als Störung dieses dynamischen Gleichgewichts interpretiert werden.

Detaillierte Untersuchungen der Passivschicht mittels Auger-Elektronen-Spektroskopie (AES) zeigen, dass die äusserste Randschicht mit einer Dicke von weniger als 5 nm mit Chrom angereichert ist, welches als schwerlösliches Chromoxid vorliegt. Diese Schicht ist massgebend für den guten Korrosionswiderstand der hochlegierten Chrom-Nickel-Stähle.



Die richtige Schutzgas-Auswahl ist massgebend beim WIG-Schweissen hochlegierter Rostfrei-Stähle

## Anlauffarben

Anlauffarben entstehen bei Wärmebehandlungen oder durch Schweißen ohne ausreichenden Oxidationsschutz vor allem auf den Rohrinneenseiten. Auch bei ausgeklügelter Gasführung können Anlauffarben durch oberflächlich haftenden Restsauerstoff hervorgerufen werden, falls das Schutzgas keine reduzierenden Komponenten enthält. Anlauffarben zerstören die Passivschicht und ersetzen diese durch eine neue Schicht mit einem grundsätzlich anderen Aufbau ohne schützende Wirkung. Dieser Vorgang ist komplex und soll an dieser Stelle nur so weit, wie es für das Verständnis notwendig ist, skizziert werden. Die Wärmeeinbringung durch das Schweißen führt zu folgenden werkstoffkundlich relevanten Veränderungen:

- Gefügeveränderungen in der Aufschmelzzone
- Verdickung der Passivschicht in der WEZ
- Entstehung neuer Schichten in der Aufschmelz- und Wärmeeinflusszone durch Diffusion von Legierungsbestandteilen
- Ausscheidungen von Legierungsbestandteilen auf den Korngrenzen und Erhöhung der Anfälligkeit gegen interkristalline Korrosion

Die Anlauffarben sind das Ergebnis einer Oxidation der Oberfläche durch Luftsauerstoff, Restsauerstoff, Kohlendioxid oder Wasser und weisen bei gleicher Farbe in der Regel die gleiche Schichtdicke auf. Sie wird in erster Linie von der eingebrachten Maximaltemperatur sowie vom Temperatur-Zeitverlauf determiniert. Daher sind die Oxidschichten nach dem WIG-Schweißen grundsätzlich anders aufgebaut als nach dem Laserschweißen, wo infolge rascher Temperatur-Absenkung für Diffusionsvorgänge

## Anlauffarben bei hochlegierten Stählen

Farbe	Temperatur	Schichtdicke
Chromgelb	< 400 °C	<= 5 nm
Strohgelb	> 400 °C	<= 25 nm
Goldgelb	~ 500 °C	50–75 nm
Braunrot	~ 650 °C	75–100 nm
Kobaltblau		100–125 nm
Lichtblau	~ 1000 °C	125–175 nm
Farblos		175–275 nm
Braungrau	~ 1200 °C	> 275 nm

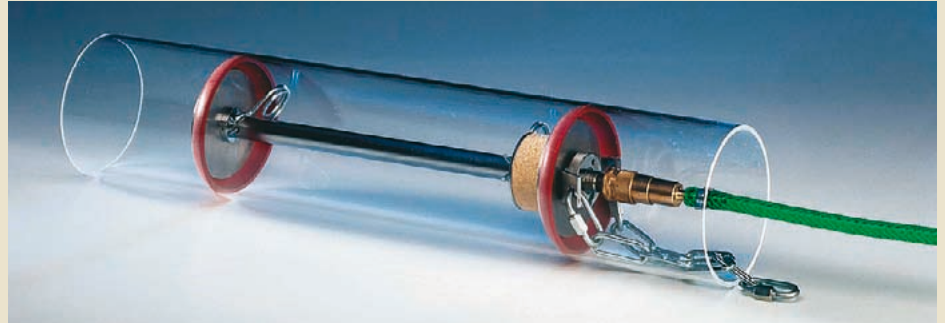
nur wenig Zeit zur Verfügung steht. Die jeweils wahrgenommene Farbe ist auf Interferenzen zurückzuführen, die durch Lichtbrechung und Lichtreflexion der jeweiligen Schichtdicken hervorgerufen werden.

Die verschiedenen Anlauffarben sind durch einen jeweils charakteristischen Schichtaufbau gekennzeichnet, wodurch auch unterschiedliche Korrosionsbeständigkeiten resultieren. Im Bereich bis ca. 400 °C reagiert der Sauerstoff bevorzugt mit Chrom und erzeugt gelblich schimmernde Schichten. Eine nennenswerte Eisenoxidation findet offenbar nicht statt, so dass die hellgelben Anlauffarben als verstärkte Passivschichten aufgefasst werden können. Bei Temperaturen von ca. 400 bis 700 °C bilden sich rote bis blaue und braungrau erscheinende Anlauffarben mit einer völlig anderen Struktur aus. Diese bestehen aus einer eisenoxidhaltigen und an Chrom verarmten Phase an der Oberfläche und einer chromoxidreichen Phase darunter. Wegen dieses Schichtaufbaus spricht man auch von einer Duplex-Struktur der Anlauffarben aus diesem Temperaturbereich. Oberhalb von 700 °C werden kobalt- bis lichtblaue Anlauffarben vorgefunden, deren Aufbau durch die nun gesteigerte Chrombeweglichkeit

wieder homogen aus Eisen-Chrom-Oxiden besteht. Bei sehr kurzen Wärmezyklen wie beim Laserschweißen sind jedoch auch diese Schichten zweiphasig aufgebaut.

## Anlauffarben und Korrosion

Aus dem oben dargestellten Sachverhalt wird sofort offensichtlich, dass die Anlauffarben je nach Bildungsbedingungen unterschiedliche Korrosionsbeständigkeiten zur Folge haben. Um dies herauszufinden und messbar zu machen, wird u. a. das so genannte Lochfrasspotenzial gemessen: hierunter wird die elektrische Spannung verstanden, bei der die Oberfläche den passiven Zustand verlässt und sich aufzulösen beginnt. Es konnte vor allem im Bereich des Farbübergangs von gelb nach rot ein starker Abfall der Korrosionsbeständigkeit gezeigt werden, der mit der eisenoxidreichen Oberflächenschicht erklärt werden kann. Die Struktur der Anlauffarben hängt in einem gewissen Rahmen auch von der chemischen Analyse des Stahls ab, so dass Schichten aus höher mit Chrom legierten Stählen beständiger sind.



Wirtschaftlich formieren mit PanGas-Formiersystemen

## Folgerungen

Anlauffarben sind keine Passivschichten und können daher die Korrosionsbeständigkeit von rostfreien Stählen deutlich herabsetzen, so dass sie entfernt werden müssen.

Sind ausschliesslich hellgelbe Anlauffarben vorhanden, so ist eine gewisse Korrosionsbeständigkeit gegeben. In allen anderen Fällen sind die Anlauffarben entweder nach dem Schweißen zu beseitigen oder ihre Bildung durch Formieren mit Wurzelschutzgasen zu vermeiden.

## Formiergase

Das Formieren ist ein wirtschaftliches, umweltfreundliches und sauberes Verfahren zur Vermeidung von Anlauffarben für die Gewährleistung der Korrosionsbeständigkeit. Es setzt sich zusammen aus den Vorgängen Vorspülen zur Luftverdrängung und Abdecken der Schweissnahtwurzel mit Schutzgasen während des Schweißens.

Es ist zu beachten, dass alle temperaturbeeinflussten Zonen von Grund- und Zusatzwerkstoff auf der Unter- und Oberseite der Naht bis zu einer Grenztemperatur durch Gasschutz abgedeckt sein müssen.

Erst unterhalb der Grenztemperatur von ca. 250 °C ist bei rostfreien Chrom-Nickel-Stählen eine kritische Sauerstoffaufnahme auszuschliessen.

Da die Sauerstoffaufnahme nicht nur aus der umgebenden Atmosphäre, sondern auch durch adsorbierte Beläge erfolgen kann, ist die Verwendung von Wasserstoff als reduzierender Formiergasbestandteil vorteilhaft und wird in verschiedenen Konzentrationen genutzt.

Weiter gefasst lassen sich folgende Gase oder Gasgemische als Formiergase ansprechen:

- Argon, inertes Gas
- Stickstoff, reaktionsträges Gas
- Stickstoff-Wasserstoff-Gemische, reduzierend
- Argon-Wasserstoff-Gemische, reduzierend
- Argon-Stickstoff-Gemische, Zulegierung von Stickstoff bei Duplexstählen.

In der Praxis findet man vor allem die in der Tabelle aufgeführten Standard-Gasgemische. Wichtig bei den Formiergasen ist ein möglichst kleiner Gehalt an Restfeuchtigkeit sowie ein Restsauerstoffgehalt von unter 25 ppm für austenitische Stähle und maximal 10 ppm für Duplexstähle. Ausserdem ist bei den Wasserstoff-Gemischen ab 10 % H<sub>2</sub> das ausströmende Gas abzufackeln, um Explosionsgefahren zu vermeiden.

Die jeweiligen Formiergase sind für bestimmte Werkstoffe ausgelegt, einen Überblick gibt die folgende Tabelle:

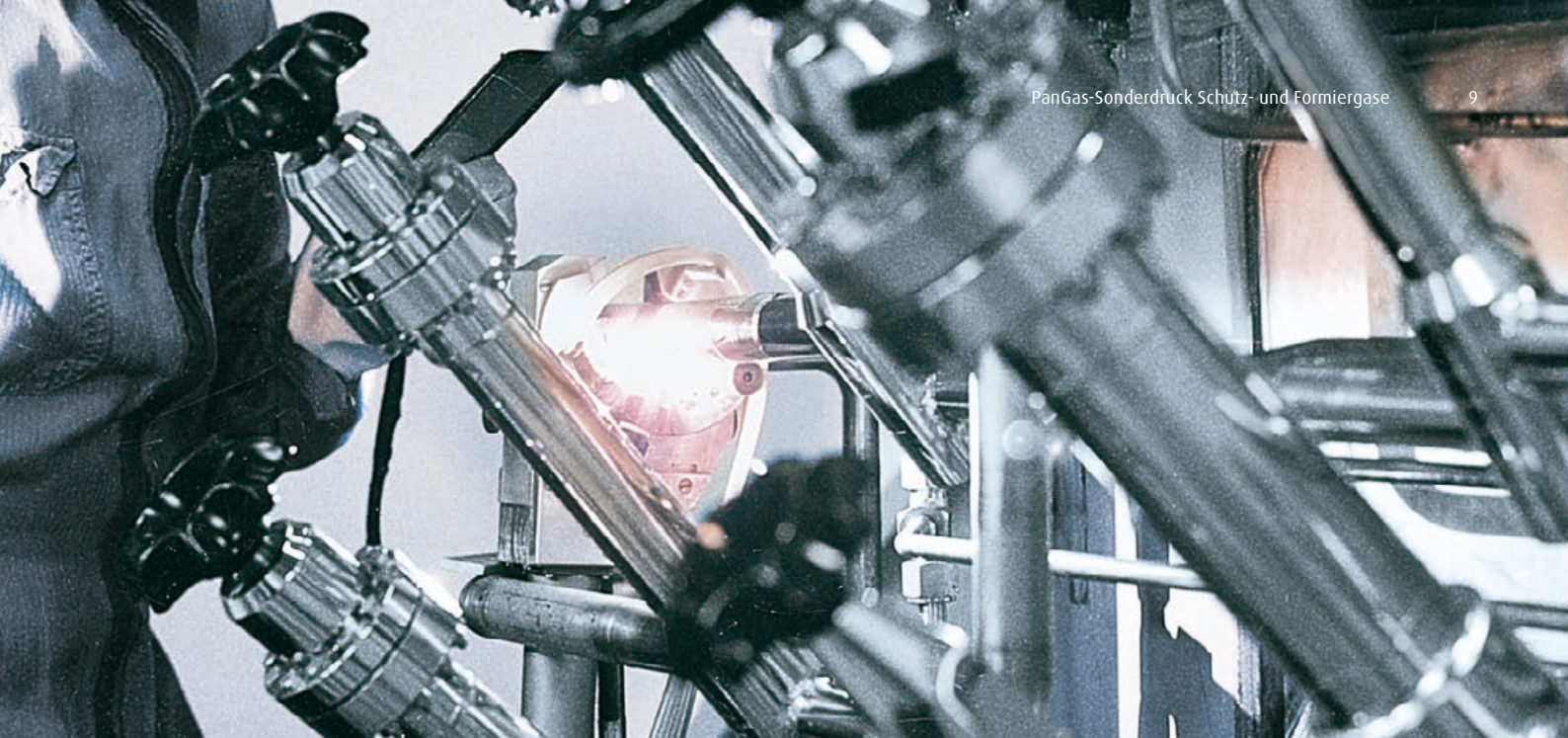
## Dichte von Formiergasen

	abs. Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	relative Dichte
Stickstoff	1,25	0,97
Formiergas 95/5	1,19	0,92
Formiergas 90/10	1,14	0,88
Formiergas 85/15	1,08	0,83
Formiergas 80/20	1,02	0,79
Argon	1,78	1,38
Argon-Wasserstoff 98/2	1,75	1,28
Argon-Wasserstoff < 95/5	1,70	1,27
Argon-Wasserstoff 93/7	1,67	1,26
Argon-Wasserstoff 90/10	1,62	1,25
Argon-Wasserstoff 80/20	1,45	1,12

Formiergase vermeiden nicht nur die Bildung von Anlauffarben, sondern wirken sich auch positiv auf die Ausbildung der Nahtwurzel aus: die wesentlich höhere Schmelztemperatur von Oxiden resp. das schlechtere Fließverhalten der voroxidierten Fugenkanten kann unter Umständen dazu führen, dass sich die Nahtwurzel ohne Wurzelschutz nicht schliesst. Unter Verwendung von Formiergas hingegen ist eine fehlerfreie Durchschweissung bei ansonsten völlig identischen Schweißparametern möglich.

## Praktische Aspekte beim Formieren

Das Hauptaugenmerk muss beim Formieren auf einen optimalen Gasschutz der Nahtwurzel gerichtet sein. Dies bedeutet, dass der Sauerstoff an dieser Stelle für die Dauer des Schweißvorgangs bis zur Abkühlung unter die kritische Temperatur verdrängt sein muss. Dies gelingt am besten mit einer laminaren Formiergasströmung ohne Lufteinwirbelung.



HYDRAGON®-Schutzgase im Einsatz beim Orbital-Schweissen

## Formiergase und ihre Anwendungsbereiche

Argon	Alle Metalle, auch gasempfindliche Werkstoffe
Argon-Wasserstoff-Gemische	Austenitische CrNi(Mo)-Stähle, Nickelbasis-Werkstoffe und Nickel
Stickstoff-Wasserstoff-Gemische	Austenitische CrNi(Mo)-Stähle ohne Titan, unlegierte Stähle, nicht: hochfeste Feinkornbaustähle
Stickstoff und Argon-Stickstoff-Gemische	Austenitische Chrom-Nickel-Stähle Duplex- und Superduplexstähle

Um eine laminare Strömung ohne Turbulenzen zu erzeugen, hat es sich in der Praxis gut bewährt, das Schutzgas durch einen Gasverteiler, bestehend aus Sintermetall, in das Rohr einströmen zu lassen. Weiterhin ist für einen wirtschaftlichen Formierprozess die Anwendung von Formierkammersystemen sinnvoll. Beim Orbitalschweissen sollte möglichst ohne Spalt geschweisst werden, um eine unkontrollierte Luftzufuhr zu vermeiden.

Ist für dickwandige Rohre oder in Zwangslagen ein Schweisspalt vorgesehen, so sollte dieser mit Hilfe eines geeigneten Klebebandes (Glasfaser-Aluminium-Band) abgedeckt und nur jeweils die unmittelbare Schweissstelle freigegeben werden.

Weitere Beispiele für die Gestaltung von Formier-Einrichtungen sind im DVS-Merkblatt 0937 zu finden. Dort finden sich auch Hinweise zu den einzuhaltenden Vorspülzeiten als Funktion des Rohr-Innendurchmessers bei verschiedenen Gasdurchflussmengen.

Sind mehrere Rohre gleicher Abmessung zu schweissen und zu formieren, kann eine Formiergaseinrichtung mit automatischer Steuerung der Vorspül-Gasmenge und -Zeit wirtschaftlich interessant sein, da der Formiergasverbrauch auf das technisch notwendige Mass begrenzt werden kann.

Es ist auch zu beachten, dass das Material der Zuführungsschläuche eine möglichst geringe Durchlässigkeit für Feuchtigkeit und Sauerstoff aufweist, da auch im Falle längerer Schutzgasströmung durch Diffusion und durch den Venturi-Effekt Wasser und Luftsauerstoff in das Formiergas gelangen können. Besonders erfolgreich und bewährt sind Schläuche auf der Basis von Teflon oder Gummischläuche mit Gewebereinlagen.

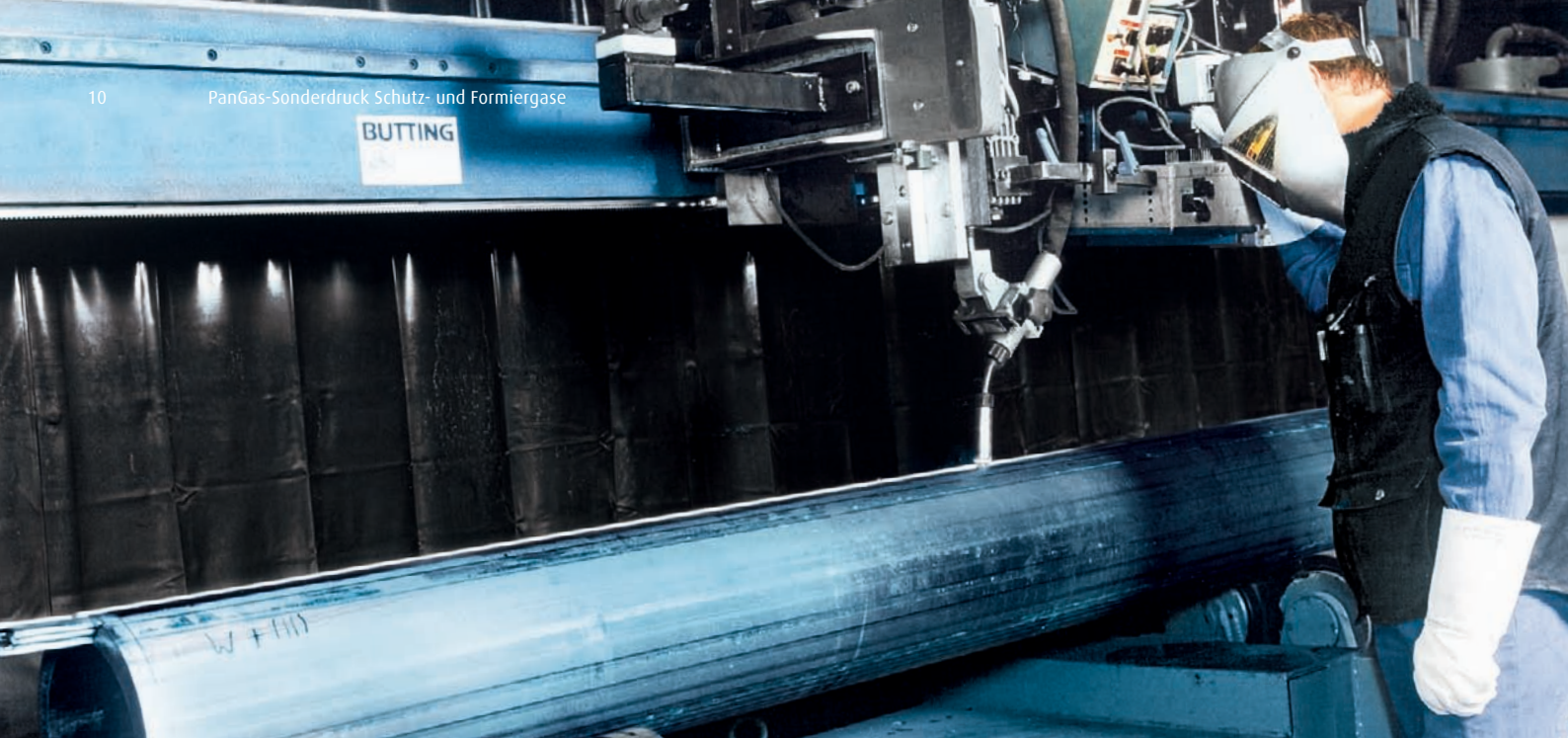
Für das Formieren werden unterschiedliche Varianten eingesetzt, da eine grosse Vielfalt von geschweissten Bauteilen, Rohren und Gasführungen jeweils spezifische Problemlösungen verlangt. Es lassen sich nach Art der Gasführung beim Rohrschweissen grundsätzlich drei verschiedene Arten des Formierens unterscheiden:

- Formieren mit axialer Gasströmung bei Orbitalschweissnähten an kleinen bis mittleren Rohrdurchmessern sowie für Rohrlängsnähte
- Formieren mit radialer Gasströmung für Orbitalschweissnähte an mittleren bis grossen Rohrdurchmessern,
- Verdrängungsspülen für das Schweissen an Grossrohren

Für den letztgenannten Fall richtet sich die Auswahl für das Formiergas nach dessen Dichte im Vergleich zur Luft.

Für das Steigspülen sind Gase mit grösserer Dichte, für das Senkspülen solche mit kleinerer Dichte im Vergleich zu Luft zu verwenden. Die Spülgaseinleitung erfolgt bei dichteren Gasen von unten; Stickstoff-Gemische, die leichter als Luft sind, werden von oben eingeleitet.





PanGas-Sonderschutzgase ermöglichen auch das MSG-Schweißen von hochlegierten hitzebeständigen Stählen

## Literatur

DVS Merkblatt 0937  
Wurzelschutz beim Schutzgasschweißen  
DVS Verlag  
Düsseldorf, 1990

DIN EN 439  
Schutzgase zum Lichtbogenschweißen  
und Schneiden  
Ausgabe Mai 1995

Brune, E.  
Schweis- und Schneidtechnik  
Handbuch für Praktiker  
PanGas AG  
Dagmersellen, 2003

Brune, E., Spichale, B.  
Schweisschutzgase  
Technica 10/99, S. 50–54  
Rapperswil, 1999

Spichale, B.  
Formiergase und Wurzelschutz ...  
Sonderdruck 48/91  
PanGas Luzern, 1991

Trube, S., Amann, T.  
Jahrbuch Schweisstechnik 2001, S. 77–84  
DVS-Verlag Düsseldorf, 2000

Brune, E.  
Schweißen verbindet  
Schweis-, Schneid- und Schutzgase  
Sonderdruck PanGas AG  
Dagmersellen, 2006

Gümpel, P. et al.  
Rostfreie Stähle  
Grundwissen, Konstruktions- und  
Verarbeitungshinweise  
Expert-Verlag  
Renningen-Malmsheim, 1996

Finke, M., Pries, H., Wohlfahrt, H.  
Schweisbedingte Anlauffarben und ihr Einfluss  
auf die Korrosion hochlegierter CrNi-Stähle  
DVS-Berichte Band 204  
Düsseldorf, 1999

Geipl, H.  
Formieren beim Schweißen,  
Schutzgase, Anwendung, Arbeitssicherheit  
Der Praktiker  
Schweißen & Schneiden  
Band 47 (1995) Heft 1

Geipl, H.  
Formieren beim Schweißen,  
Spülgase und Formiereinrichtungen  
Der Praktiker  
Schweißen & Schneiden  
Band 47 (1995) Heft 3

Trube, S.  
Auswahl von Schutzgasen zum  
Schweißen von Stahlwerkstoffen  
Sonderdruck 04/99  
Höllriegelskreuth, 1999

## Begriffserklärungen

**Abbrand, Zubrand:** Als Abbrand bezeichnet man den Verlust von Legierungselementen durch den Schweißprozess; als Zubrand eine Konzentrationserhöhung.

**Adsorption:** Bindung von Gasen, Dämpfen oder gelösten Substanzen an der Oberfläche eines festen Körpers.

**Anlauffarben:** Die sichtbaren sehr dünnen Oxidschichten an der Oberfläche von Metallen, die unterschiedlichen Farben deuten auf verschiedene Schichtdicken.

**Argon (Ar):** Farb- und geruchloses Edelgas, das völlig inert ist, d. h. mit anderen Stoffen nicht chemisch reagiert.

**Austenit, austenitisches Gefüge:** Gefügebestandteil in Eisenlegierungen, kubisch-flächenzentriert, oft auch als gamma-Eisen bezeichnet, ist bei Raumtemperatur nur in Legierungen mit Nickel, Mangan, Stickstoff stabil.

**Axiale Strömung:** Strömung in Richtung der Längsachse eines Rohres.

**Beizen:** Bearbeiten von Metalloberflächen mit geeigneten Beizmitteln, z. B. Säuren, um eine bestimmte Oberfläche zu erzielen.

**Carbid:** Chemische Verbindung eines Elements mit Kohlenstoff, wie z. B. Eisencarbid  $\text{Fe}_3\text{C}$ .

**Chemische Analyse:** Die chemische Zusammensetzung eines Stoffes, die einzelnen Bestandteile, z. B. die Legierungselemente in einer Stahlsorte.

**Chromoxid:** Die chemische Verbindung von Chrom und Sauerstoff.

**Diffusion:** Wanderung von Teilchen (Atomen, Molekülen) durch Wärmebewegung, kann auch in festen Körpern wie Metallen stattfinden.

**Duplexstruktur:** Aus zwei unterschiedlich aufgebauten Schichten bestehend.

**Dissoziation:** Auflösung, Trennung, Zerfall einer chemischen Verbindung oder eines Moleküls.

**Dissoziationsenergie:** Aufzuwendende Energie, um eine chemische Verbindung zu trennen oder ein Molekül aufzuspalten; oft in Form von Wärmeenergie.

**Dynamisches Gleichgewicht:** Ein Zustand, bei dem ständig Teilchen zugeführt und abgeführt werden, so dass scheinbar ein Stillstand besteht.

**ELC-Stahl, ELC-Güten:** So werden Stähle bezeichnet, die durch spezielle Herstellungsverfahren extrem wenig Kohlenstoff enthalten. ELC ist die englische Abkürzung für Extra Low Carbon, d. h. extrem wenig Kohlenstoff. Dies führt zu verbesserter Korrosionsbeständigkeit.

**Ferrit:** Gefügebestandteil in Eisenlegierungen, besteht aus fast reinem Eisen und ist kubisch-raumzentriert, oft auch als alpha-Eisen bezeichnet.

**Inertes Reaktionsverhalten:** Stoffe, die keine chemischen Reaktionen mit anderen Stoffen eingehen, nennt man inert, d. h. teilnahmslos. Hierzu zählen die Edelgase, z. B. Argon oder Helium.

**Eisenoxidation:** Die Bildung der chemischen Verbindung von Eisen und Sauerstoff; es gibt mehrere Eisenoxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{FeO}$ ).

**Interferenzen:** In der Physik optische Überlagerungserscheinung, wenn mehrere Lichtwellen ein Raumgebiet durchlaufen; auch sichtbar als Farbenspiel bei Ölfilmen auf Wasser.

**Interkristalline Korrosion:** Eine spezielle Form der Korrosion von hochlegierten Stählen, die bei falscher Wärmebehandlung auftreten kann und zur lokalen Chrom-Verarmung führt.

**Ionen:** Elektrisch positiv oder negativ geladene Atome oder Moleküle.

**Ionisation:** Übergang von Atomen oder Molekülen in den elektrisch geladenen Zustand.

**Ionisierbarkeit:** Mass für die Neigung eines Atoms oder Moleküls, in den elektrisch geladenen Zustand (Ion) zu gehen.

**Korngrenzen:** Metalle bestehen aus vielen winzig kleinen Kristallen, die durch Grenzflächen voneinander getrennt sind: diese Flächen werden Korngrenzen genannt, die Kristalle werden oft auch als Körner bezeichnet. An Korngrenzen lagern sich häufig Verunreinigungen und Ausscheidungen an, sie sind daher bevorzugte Korrosions-Angriffsstellen.

**Kristallit:** Die im mikroskopischen Gefüge sichtbaren, durch Korngrenzen umschlossenen, Gefügegebiete; oft auch als Körner bezeichnet.

**Laminare Strömung:** Strömung, bei der sich Gase oder Flüssigkeiten ohne Wirbelbildung fortbewegen, das Gegenteil ist eine turbulente Strömung.

**Lochfrasspotenzial:** Die elektrische Spannung, bei der die Oberflächenauflösung eines Metalls beginnt, d. h. die Oberfläche ihre Passivität verliert.

**Molekül:** Kleinste aus zwei oder mehr Atomen bestehende Einheit einer chemischen Verbindung, auch mehrere gleiche Atome.

**Molybdän (Mo):** Metallisches Element, in Stahllegierungen verbessert es die Beständigkeit gegen Loch- und Spaltkorrosion.

**Nickel (Ni):** Metallisches Element, in Stahllegierungen stabilisiert es das austenitische Gefüge.

**Nitrid:** Chemische Verbindung eines Elements mit Stickstoff.

**Orbitalschweißen:** Das kreisförmige Schweißen um ein Rohr herum, um zwei Rohrstücke miteinander zu verbinden.

**Oxidation:** Aufnahme von Sauerstoff, Verbindung mit Sauerstoff.

**Oxid:** Verbindung eines chemischen Elements mit Sauerstoff.

**Oxidhaut:** Sehr dünne Schicht, die aus einem Oxid besteht, d. h. einer Sauerstoffverbindung.

**Spaltkorrosion:** Korrosionserscheinung, die auftritt, wenn in Spalten kein Stoffaustausch stattfinden kann.

**Passivschicht:** Bei rostfreien Stählen beruht die Korrosionsbeständigkeit auf einer sehr dünnen Schicht auf der Metalloberfläche, die aus dem Chromoxid besteht und die darunter liegende Metallschicht vor einem Korrosionsangriff schützt. Diese dünne Oxidschicht wird Passivschicht genannt.

**ppm:** Parts per million: Mass für sehr kleine Teilmengen, ein Teil auf eine Million Teilchen.

**Radiale Strömung:** Strömung in Richtung des Rohrumfangs.

**Reduzierende Wirkung:** Eigenschaft, ein Oxid in einen sauerstoffärmeren oder -freien Zustand zu führen, beispielsweise die Bildung eines Metalls aus einem Metalloxid.

**Restsauerstoff:** Verbleibende kleine Mengen von Sauerstoff z. B. durch Feuchtigkeit.

**Rekombination:** Rekombination ist das Zusammenfügen zuvor getrennter Teile. In der Chemie versteht man darunter die neuerliche Verbindung von Atomen oder Molekülen zu einer Substanz, die zuvor getrennt wurde. Beispiel: Zerfall von Kohlendioxid in Kohlenstoff, Kohlenmonoxid und Sauerstoff und anschließende Rückbildung zu Kohlendioxid.

**Rekombinationswärme:** Wärme, die bei einer Rekombination frei wird, siehe Rekombination.

**Schutzgas:** Das Schutzgas schirmt bei Schweißprozessen die Schmelze vor der Atmosphäre ab und verhindert so Reaktionen mit Sauerstoff oder Stickstoff aus der Luft. Beim WIG-Schweißen schützt es ausserdem noch die Elektrode.

**Sintermetall:** Ein Metall, das schwammartig (porös) und somit gasdurchlässig ist.

**Stickstoff ( $\text{N}_2$ ):** Ein Gas, das in der Luft vorkommt und die Verbrennung erstickt, es reagiert bei normalen Temperaturen nicht.

**Sulfid:** Chemische Verbindung eines Elements mit Schwefel, z. B. Eisensulfid ( $\text{FeS}$ ).

**Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ):** Ein brennbares Gas mit reduzierenden Eigenschaften.

**Wurzelschweißung:** Schweißung der ersten untersten Lage in einer mehrlagigen Schweißnaht.

# Weltweiter Vorsprung durch Innovation.

PanGas übernimmt als Tochter der weltweit führenden Linde Group mit zukunftsweisenden Produkt- und Gasversorgungskonzepten eine Vorreiterrolle im Markt. Als Technologieführer ist es unsere Aufgabe, immer wieder neue Massstäbe zu setzen. Angetrieben durch unseren Unternehmergeist arbeiten wir konsequent an neuen hoch qualitativen Produkten und innovativen Verfahren.

PanGas bietet mehr: Mehrwert, spürbare Wettbewerbsvorteile und erhöhte Profitabilität. Jedes Konzept wird exakt auf die Kundenbedürfnisse 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 nicht nur «Wir für Sie», sondern vor allem auch «Wir mit Ihnen». Denn in der Zusammenarbeit liegt die Kraft wirtschaftlichen Erfolgs.

**PanGas – ideas become solutions.**