

WERKSTOFFPRAXIS



BUTTING

Langjährige Erfahrung in Werkstofffragen

Seit der Entwicklung nicht rostender Stähle verarbeitet BUTTING diese Werkstoffe und hat in dieser Zeit branchenübergreifend umfangreiche Erfahrungen beim Formen, Fügen und Wärmebehandeln gesammelt. Bereits 1979 wurden von unserem Familienunternehmen weltweit erstmalig längsnahtgeschweißte Rohre aus Duplex für ein Onshore-Projekt gefertigt. Rohre aus hoch legierten Nickelbasislegierungen liefern wir seit mehr als 20

Jahren an den chemischen Anlagenbau, für Offshore-Anlagen und in die Schiffstechnik. Heute verarbeitet BUTTING jährlich mehr als 40000t nicht rostende Stähle der verschiedensten Werkstoffgüten.

Vielfalt der Werkstoffe

Das Verarbeitungsprogramm von BUTTING bietet ein breit gefächertes Spektrum an Hochleistungswerkstoffen

für spezifische, korrosive Anwendungen in verschiedensten Branchen. Hierbei erfordern die individuellen Ansprüche unserer Kunden immer wieder innovative Lösungskonzepte und stellen unsere Metallurgen, Schweißfachingenieure und Fertigungsmitarbeiter täglich aufs Neue vor neue Herausforderungen.

Hitzebeständige Stähle



Plattierte Werkstoffe



Aluminium & Aluminium-Knetlegierungen



Nicht magnetisierbare Stähle



Optimierte Werkstoffeigenschaften

Liegen Spezialanforderungen vor, z. B. in Bezug auf die Korrosionsbeständigkeit, die Umformbarkeit, die Festigkeit oder die Gefügestruktur, werden die Eigenschaften von Rohrgrundwerkstoff und Rohrlängsschweißnaht durch eine Wärmebehandlung und/oder eine Oberflächenbehandlung bei BUTTING optimiert und an die Anforderungen angepasst.

Vermeidung von Schadensfällen

Das Ziel bei der Verarbeitung und der Anwendung von Rohrleitungen, Behältern und Bauteilen aus korrosionsbeständigen Edelstählen und Sonderlegierungen ist die Vermeidung von Korrosionsschäden. Bei der Verfolgung dieses Zieles setzt BUTTING seine umfangreichen Erfahrungen und Fachkenntnisse auf den Gebieten der Werkstoffwissenschaften, der Ver-

fahrerntechnik sowie der Schweiß- und Umformtechnik ein. Voraussetzung für die Vermeidung von Korrosionsschäden ist neben der Auswahl des geeigneten Werkstoffes eine werkstoffgerechte Konstruktion sowie eine fachgerechte Verarbeitung und werkstoffgerechte Betriebsbedingungen.



Nicht rostende Stähle



Hochkorrosionsbeständige Legierungen



Titan & Titanlegierungen



Nicht rostende Stähle

Schon geraume Zeit vor der Jahrhundertwende 1900/2000 wurde entdeckt, dass sich durch Zugabe von Nickel und Chrom das Korrosionsverhalten von Stahl verbessern lässt. Die einzelnen mit diesen Elementen angereicherten Stähle waren jedoch noch nicht ausgereift bzw. für den praktischen Einsatz ungeeignet. Der entscheidende Durchbruch gelang 1912 in Deutschland: Mit der Kombination von Nickel und Chrom in Verbindung mit einer genau dosierten Wärmebehandlung erzielte man erstmals ein Optimum an Korrosionsbeständigkeit und zugleich gute mechanische Eigenschaften. Im gleichen Jahr wurde schließlich der erste „nicht rostende Stahl“ von der Firma Krupp in Essen patentiert. Mit diesem Patent begann die industrielle Anwendung von Edelstahl, der sich insbesondere seit 1950 schnell in vielen Branchen etabliert hat.

Die Marke Edelstahl Rostfrei

Die damals von Krupp aus V für Versuch und A für Austenit gebildeten Bezeichnungen V2A (CrNi-Stahl) und V4A (CrNiMo-Stahl) werden nach wie vor als Synonyme für Edelstahl gebraucht. Ganz neutral dagegen spricht man in der Branche von „Edelstahl Rostfrei“ oder im Fachjargon kurz von „Rostfrei“ bzw. „Inox“. International gebräuchlich ist die Bezeichnung 18/10 oder 18/8, womit das Legierungsverhältnis von Chrom und Nickel im rostfreien Stahl gekennzeichnet wird. Seit 1958 ist die Bezeichnung „Edelstahl



Bild 2: Einförmung einer Blechtafel zu einem Rohr

„Rostfrei“ eingetragenes Warenzeichen. Die heutige Bedeutung des Werkstoffes Edelstahl spiegelt sich in seinem stetig steigenden Produktionsvolumen wider: Zwischen 1990 und 2000 ist die Jahres-Rohstahlerzeugung an nicht rostenden Stählen weltweit über 40 %, von ca. 12,8 Mio. t auf ca. 18,4 Mio. t, angestiegen. In den Jahren von 2000 bis 2004 konnte nochmals ein Wachstum von über 6,6 Mio. t (ca. + 37 %) verzeichnet werden. Prognosen gehen davon aus, dass sich dieses Wachstum signifikant fortsetzen wird.

Der optimale Zustand nicht rostender Stähle

Die Korrosionsbeständigkeit nicht rostender Stähle beruht auf ihrer Fähigkeit, in den meisten uns bekannten Medien eine Passivschicht auszubilden, die den Stahl vor

weiterem Angriff schützt. Diese Schutzschicht ist nur einige Atomlagen stark und besteht im Wesentlichen aus Chromoxid.

Bei bestimmten Angriffsbedingungen – und dazu gehören nicht nur einige besonders aggressive Medien, sondern auch eine Reihe unerwünschter Werkstoff- und Oberflächenzustände – kann es zu einem Aufreißen oder zum Abbau dieser Passivschicht kommen. In diesem Fall „rostet“ auch der nicht rostende Stahl, wenngleich das Erscheinungsbild oft etwas von dem abweicht, welches wir von herkömmlichen Stählen gewohnt sind: Nicht rostende Stähle korrodieren auch ohne sichtbaren Rost und häufig nicht über die gesamte Fläche, sondern nur örtlich begrenzt an wenigen Stellen. Dabei kann die Lokalkorrosion sehr viel schneller fortschreiten als bei unlegierten Stählen.

Die nachfolgenden Verarbeitungshinweise haben das Ziel, dem Praktiker zu zeigen, wie man den optimalen Zustand eines nicht rostenden Stahles auch bei der Verarbeitung aufrecht erhalten kann oder was man bei nicht rostenden Stählen vermeiden sollte.

Der optimale Zustand nicht rostender Stähle ist gebunden an

- den Oberflächenzustand,
- den Umformungsgrad und
- den Wärmebehandlungszustand.

Die nachfolgenden Hinweise sollten zur Erzielung bzw. Erhaltung dieser Voraussetzungen beachtet werden.

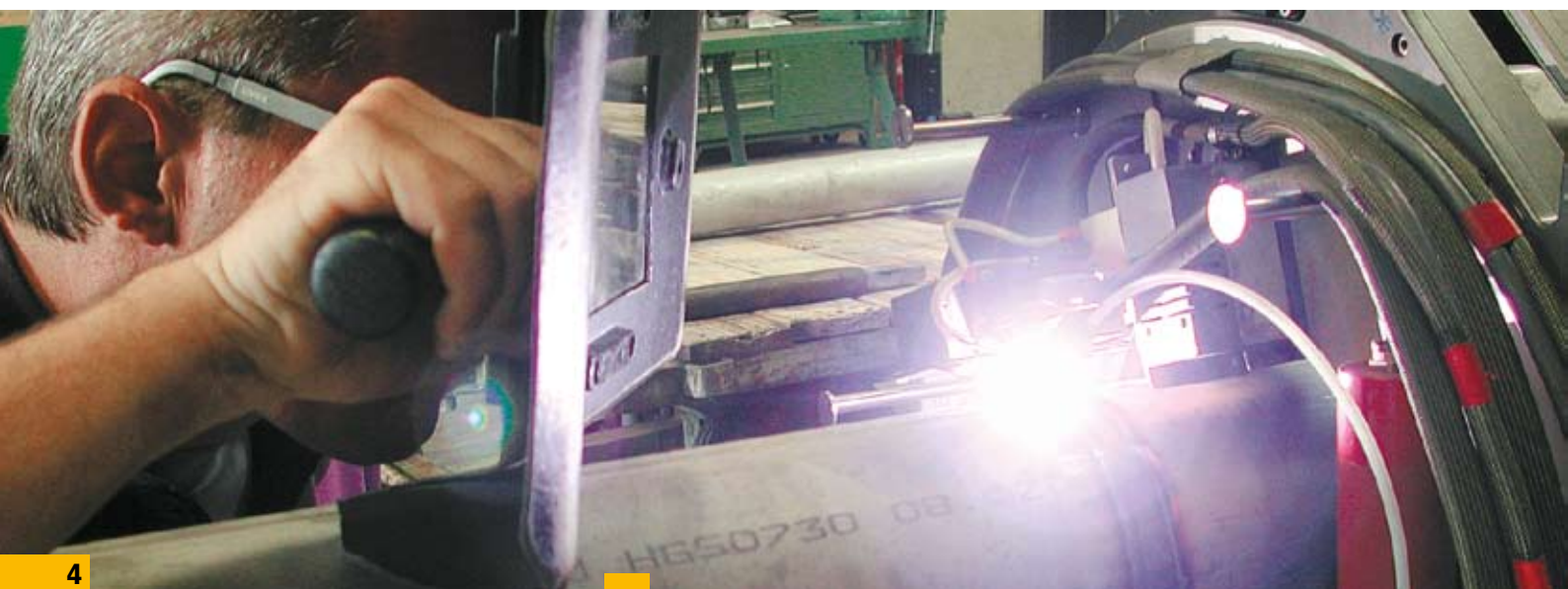


Bild 1: Orbitalschweißen von nicht rostenden Stählen

Beanspruchungs- gerechte Werkstoff- auswahl

Die richtige Auswahl des geeigneten Werkstoffes ist entscheidend für dessen zielgerichtete Einsatzfähigkeit. Um den möglichen Korrosionsformen in den verschiedenen Industriezweigen entgegenzuwirken, sind eine Vielzahl von Stählen und Legierungen entwickelt worden. Unter Beachtung der Verfügbarkeit von Vormaterial sollten die individuellen Anforderungen geprüft und unter Einbeziehung von Experten projektspezifische Werkstoffe festgelegt werden. Grundvoraussetzung bleibt jedoch die sachgerechte Verarbeitung und werkstoffgerechte Betriebsbedingungen. Die Grundzüge einiger ausgewählter Werkstoffe sollen hier nachfolgend kurz umrissen werden.

Beanspruchung durch chloridhaltige Angriffsmittel

Bei Beanspruchungen in Verbindung mit Halogen-Ionen (Chloride, Fluoride, Jodide, Bromide) empfiehlt sich der Einsatz von Stählen zunehmender Chrom- und Molybdängehalte. Neben der Abschätzung des Halogen-Ionen-Gehaltes kommen erschwerend hohe Temperaturen und niedrige pH-Werte hinzu.

Bild 3: Schweißgefüge eines Duplex-Stahles ohne Wärmebehandlung, rund 60% Ferrit

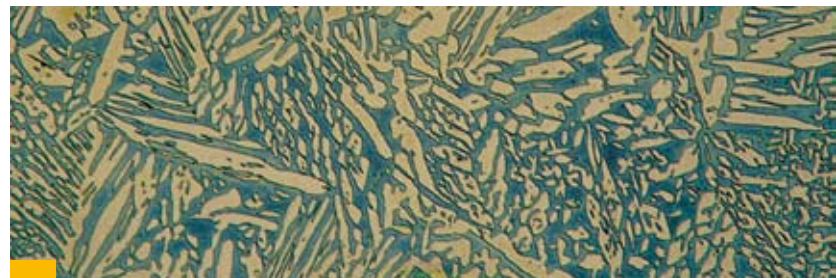
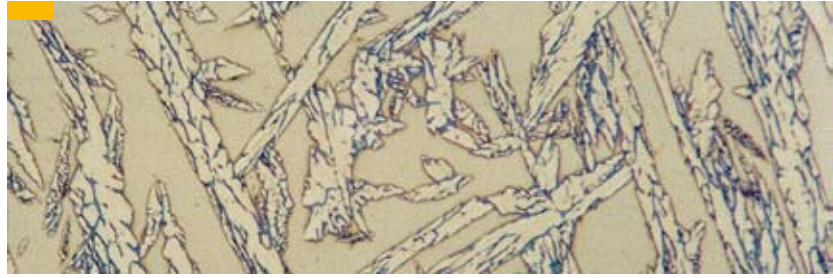


Bild 4: Schweißgefüge eines Duplex-Stahles nach der Wärmebehandlung, rund 40% Ferrit

Technisch verfügbare Stähle sind (in der Reihenfolge steigenden Legierungsgrades):

- 1.4571 (1.4404)
- 1.4435
- 1.4439/1.4462
- 1.4539
- 1.4529
- 1.4501

Bei besonders hohen Beanspruchungen kommen Kupfer-Nickellegierungen, hochmolybdänhaltige Nickellegierungen, wie z. B. 2.4610, sowie Titan in Frage.

Beanspruchung durch schwefelsaure Angriffsmittel

Neben erhöhten Molybdängehalten bieten hier vor allem kupferlegierte Stähle erhöhte Beständigkeit.

Technisch verfügbare Stähle sind (in der Reihenfolge steigender Beständigkeit in schwefelsauren Lösungen):

- 1.4571
- 1.4439
- 1.4505
- 1.4539
- Sandvik SX
- 1.4591 (Alloy 33)

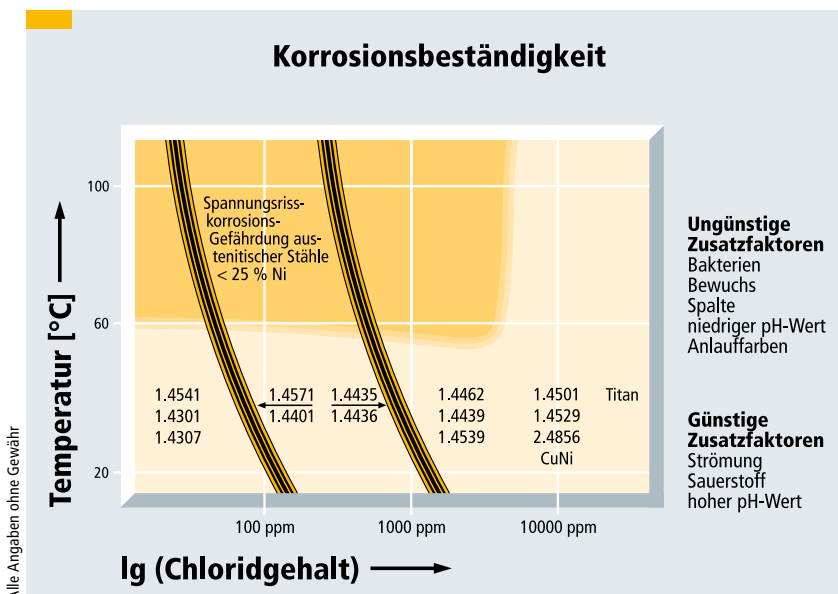
Bei besonders starker Beanspruchung (vor allem bei hohen Temperaturen) eignen sich Bleiauskleidungen und Nickellegierungen.

Beanspruchung durch phosphorsaure Angriffsmittel

Insbesondere in reinen Phosphorsäuren haben sich bis zu hohen Temperaturen austenitische molybdänlegierte Stähle bewährt. In verunreinigten Phosphorsäuren sind hochlegierte Sonderstähle einzusetzen. Technisch verfügbare Stähle sind (in der Reihenfolge steigender Beständigkeit):

- 1.4571
- 1.4435
- 1.4439
- 1.4462
- 1.4539
- 1.4562

Grafik 1: Lochkorrosions- und Spannungsrisskorrosionsbeständigkeit von nicht rostenden Stählen in Wässern



Beanspruchung durch salpetersaure Angriffsmittel

Nicht rostende Stähle sind im Allgemeinen gegen Salpetersäure bis zu Temperaturen um 50 °C gut beständig. Bei erhöhten Temperaturen muss auf Sonderstähle ausgewichen und auf möglichst hohe Ferritfreiheit und geringste Korngrenzenverunreinigungen geachtet werden. Technisch verfügbare Stähle sind:

- 1.4306
- 1.4306 – ESU – erschmolzen
- 1.4335
- 1.4465
- 1.4361 (HOKO-Säure)



Bild 6: Verrohrung einer Chemieanlage mit Bogen, Flanschen und zusätzlich Geländern aus Edelstahl

Beanspruchung durch organische Angriffsmittel

In der überwiegenden Zahl organischer Lösungsmittel und Chemikalien, wie z. B. Fetten, Ölen, Benzol, Phenolen und anderen Kohlenstoff-Wasserstoffverbindungen, sind nicht rostende Stähle beständig und bieten gegenüber unlegierten Stählen den Vorteil, dass diese Stoffe nicht durch Rostspuren verunreinigt werden.

Eine gewisse Gefahr können chlorierte Kohlenwasserstoffe darstellen, wenn sie Feuchtigkeitsreste enthalten und sich durch Sauerstoff- und Lichteinwirkung (ultraviolette Strahlenanteile) Chlor-Ionen abspalten und in der wässrigen Phase

anreichern. Hier gelten ähnliche Gesichtspunkte wie unter „Beanspruchung durch chloridhaltige Angriffsmittel“ beschrieben.

Vor der Werkstoffauswahl bei einem Projekt ist grundsätzlich die Rücksprache mit einem Experten zu empfehlen. Hier bieten sich vor allem die Werkstoffhersteller von nicht rostenden Stählen oder Sonderlegierungen an, wie ThyssenKrupp Nirosta, ThyssenKrupp VDM oder Outokumpu. Gleichfalls gibt es unabhängige Verbände, deren Ziel die Unterstützung des Endverbrauchers ist und der Dialog mit ihm, wie z. B. die DECHEMA oder die Informationsstelle Edelstahl Rostfrei.

Auch wir von BUTTING stehen Ihnen gern mit unserer Erfahrung zu den Themen Werkstoffauswahl, Korrosion und Wärmebehandlung beratend zur Verfügung.

Für werkstoffkundliche, verarbeitungstechnische oder sonstige Fragen bei der Auswahl und Verarbeitung eines nicht rostenden Stahles stehen Ihnen unsere Ansprechpartner zur Verfügung.

Dr. Iris Rommerskirchen
Geschäftsführerin BUTTING Knesebeck
Telefon: +49 5834 50-7100
E-Mail:
iris.rommerskirchen@butting.de



Bild 5: Vorgefertigte Rohrleitungsteile für die Schiffsindustrie aus Duplex-Stahl



Dipl.-Ing. Reinhold Hoffmann
Abteilungsleiter Qualitätssicherung
Telefon: +49 5834 50-216
E-Mail:
reinhold.hoffmann@butting.de





Bild 7: Einförmung vom Coil

Nicht rostende Stähle sind sehr gut kalt umformbar

Festigkeitskennwerte

Austenitische nicht rostende Stähle sind aufgrund ihrer hohen Dehnungsreserven sehr gut kaltumformbar. Mit zunehmender Umformung unterhalb der sog. Rekristallisationstemperatur, d. h. unterhalb von rund 600 °C, steigen die Festigkeitskennwerte wie Zugfestigkeit, Streckgrenze (0,2 %- und 1 %-Dehngrenze) und Härte bei austenitischen Stählen stärker an als bei un- und niedriglegierten „schwarzen“ Stählen: Sie verfestigen. Diese Verfestigung führt zu einer Verringerung des weiteren Dehnvermögens und der Zähigkeit. Der Kraftaufwand für eine weitere Umformung steigt – ebenso die Gefahr des Bruches und stärkerer Rückfederung. Als Faustregel geht man deshalb im deut-

Bild 8: Rohrbogen, im Walzverfahren gefertigt



schen Normwesen (AD-Regelwerk) davon aus, dass zur Erhaltung einer Restbruchdehnung von 15 % Kaltumformungsgrade über 15 % nicht angewendet werden sollten, solange man nicht nach der Umformung die Teile wärmebehandelt (vgl. Seite 11). Dieses Zahlenverhältnis von 15 zu 15 ergibt sich aus der überschlägigen Annahme einer Mindestbruchdehnung von 30 %, von der bei diesen Stählen im Allgemeinen ausgegangen werden kann.

Korrosionsbeständigkeit

Neben den Zähigkeitseigenschaften kann auch die Korrosionsbeständigkeit negativ durch eine Kaltverfestigung beeinträchtigt werden. Hier ist es vor allem die Spannungsrissskorrosion, welche nur dann eintritt, wenn Temperaturen oberhalb von 50 °C, Chlorid-Ionen und Zugspannungen vorliegen. Auch die Lochkorrosionsbeständigkeit kann bei sehr hohen Kaltumformungsgraden beeinträchtigt werden.

Bild 9: Rohrbogen, im Dornbiegeverfahren nach Isometrievorgabe gefertigt



Es sollte jedoch erwähnt werden, dass man die starke Verfestigungsneigung austenitischer nicht rostender Stähle auch nutzen kann: Bei Verschleißbeanspruchungen ist eine erhöhte Härte erwünscht. Ebenso kann bei kaltgeformten Teilen mit einer erhöhten Dehngrenze gerechnet werden. Dieses gilt



Bild 10: Produktion eines Rohres durch Einförmung einer Blechtafel

allerdings nur so lange, wie an diesen Teilen nach der Kaltumformung nicht bzw. kontrolliert geschweißt wird oder die Kaltverfestigung erst nach dem Schweißen erzeugt wird. BUTTING nutzt diese Effekte auch bei der Herstellung von Druckbehältern.

Soll ein Kaltverfestigungszustand beseitigt werden, so ist dazu eine Glühbehandlung, in der Regel ein Lösungsglän, erforderlich. Die Glühdauer beträgt in diesem Falle nur wenige Minuten (vgl. Seite 11).

Besonderheiten beim Schweißen austenitischer Stähle

An dieser Stelle sollen im Vergleich zu üblichen „schwarzen“ Stählen einige Besonderheiten des Schweißens nicht rostender Stähle erörtert werden, wobei die austenitischen – oft als „V2A“- und „V4A“-Stähle bezeichneten – Stähle der Werkstoff-Nummern 1.43.., 1.44.. und 1.45.. im Vordergrund stehen.

Es würde den Rahmen dieser Broschüre sprengen, die gesamte Problematik des Schweißens nicht rostender Stähle abzuhandeln. Hier sei z. B. auf die Veröffentlichungen der „Informationsstelle Edelstahl Rostfrei“, Düsseldorf, verwiesen.

Einige Besonderheiten der austenitischen CrNi-Stähle im Vergleich zu den unlegierten Stählen beeinflussen das Schweißverhalten sehr stark.

Kennzeichnend für das andersartige Schweißverhalten sind folgende Gesichtspunkte:

1. die hohe Oxidationsneigung aufgrund des hohen Chromgehaltes
2. die ca. doppelt so hohe Wärmeausdehnung und nur etwa halb so große Wärmeleitfähigkeit austenitischer Stähle gegenüber unlegierten ferritischen Stählen
3. die Heißrissempfindlichkeit der voll-austenitischen Stähle

Oxidationsneigung

Aus der Oxidationsneigung folgt, dass beim Schweißen nicht rostender Stähle das Schweißbad und die mit erwärmten Nebennahtbereiche vor Luftzutritt geschützt werden müssen.

Für die Verarbeitung der austenitischen Stähle sind u. a. folgende Lichtbogen- und Strahlschweißprozesse anwendbar:



Bild 11: Kompetenz in der Schweißtechnik zeichnet sich durch jahrzehntelange Erfahrung aus

- **Lichtbogenhandschweißen** mit umhüllten Stabelektroden – hier übernimmt die sich bildende Schlacke die Abschirmung gegen Luft

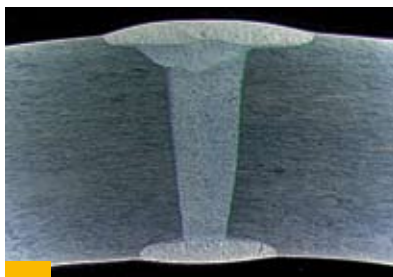


Bild 12: EB-Schweißnaht

- **Metall-Schutzgasschweißen**, bei dem der Lichtbogen und das Schmelzbad durch einen Mantel aus Gas geschützt werden. Für die austenitischen Stähle wird der MAG-Prozess überwiegend mit den Gasen Argon + O₂ (1–3 %) bzw. Argon + CO₂ (bis max. 3 %) verwendet. Um bestimmte metallurgische Effekte zu erzielen, werden auch Gase mit Beimengungen von Helium, Stickstoff und Wasserstoff verwendet

- **Metall-Aktivgasschweißen** mit Fülldraht – höher CO₂-haltige Schutzgase (ca. 18 % CO₂)
- **Wolfram-Inertgasschweißen und Plasma-Lichtbogenschweißen** – Argon und Argon/Wasserstoff-Gemische. Für Sonderwerkstoffe werden auch Argon/Stickstoff-Gemische eingesetzt
- **Unterpulver-Schweißen (UP)** – die aus dem Pulver gebildete Schlacke schützt das Schweißbad vor Oxidation
- **Laserstrahl-Schweißen** – Schutz durch inerte und reduzierende Gase
- **Elektronenstrahl-Schweißen** im Vakuum oder an Atmosphäre (Schutzgasabdeckung notwendig)

Beim Schweißen von austenitischen CrNi-Stählen ist besonderer Wert auf den Schutz der Schweißnahtunterseite (Wurzellage) vor Oxidation zu legen, insbesondere wenn dieser Bereich mit Korrosionsmedien in Berührung kommen kann. Bei nicht formierten („verbrannten“) oder unzureichend geschützten Wurzellagen mit Anlauffarben sind dann Schäden programmiert. Übliche Wurzelschutz-/Formiergase sind neben Argon handelsübliche Gemische

Bild 13: WIG-Schweißnaht



Bild 14: Laser-Schweißnaht

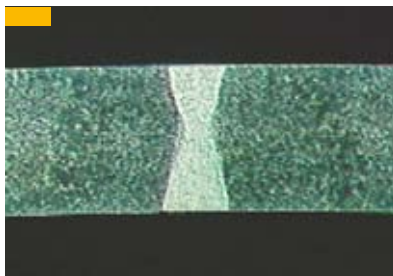
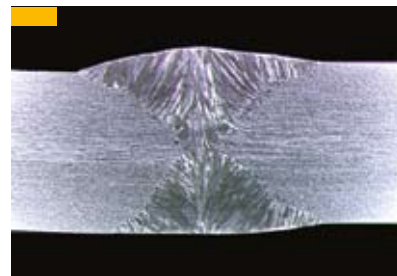


Bild 15: UP-Schweißnaht



aus Argon /Wasserstoff oder Stickstoff/ Wasserstoff. Der Wasserstoff wirkt reduzierend, d. h. er bindet den noch vorhandenen geringen Restsauerstoff ab, der dann nicht mehr mit der Oberfläche reagieren kann. Reinargon bzw. Stickstoff und Gemische dieser Gase können werkstoffbezogen ebenso eingesetzt werden.

Um das Formiergas gezielt im Bereich der Schweißnahtwurzel zu halten, sind entsprechende Kammern und Unterlegschiene für die unterschiedlichsten Schweißverbindungen erhältlich. Bei schwer zugänglichen Schweißnähten im Rohrleitungsbau kann es erforderlich sein, das gesamte Rohrsystem mit Schutz-/ Formiergas zu füllen.

Die Schweißzusatzwerkstoffe sind auf den zu verschweißenden Werkstoff und



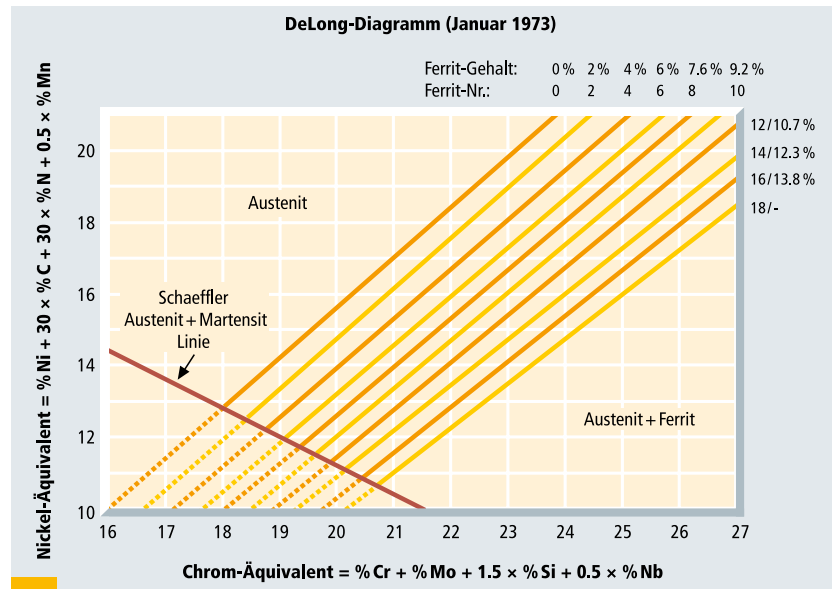
Bild 16: Handschweißung eines Formteils

die Einsatzbedingungen des Schweißbauteils abzustimmen. In der Regel sind die Schweißzusätze artgleich bzw. leicht überlegt. Bei den umhüllten Stabelektroden und Schweißpulvern ist auf eine trockene Lagerung zu achten. Vor dem Verarbeiten sind diese Zusätze ggf. nachzutrocknen. Hierzu sind die entsprechenden Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller zu beachten.

Die Auswahl des anzuwendenden Schweißverfahrens wird im Wesentlichen von Blechdicke, Mechanisierungsgrad und Werkstoff bestimmt.

Wärmeausdehnung und Wärmeleitfähigkeit

Der gegenüber unlegierten Stählen höhere Wärmeausdehnungskoeffizient bedingt höheren Verzug und höhere Restspannungen im Bauteil. Die geringere



Grafik 2: DeLong-Diagramm (Januar 1973)

Wärmeleitfähigkeit hält die Wärme in der Schweißzone. Hier muss ggf. mit zusätzlichen Kühlmaßnahmen für eine schnellere Wärmeabfuhr gesorgt werden.

Heißrissempfindlichkeit

Die chemische Zusammensetzung der austenitischen Stähle ist so gesteuert, dass – mit wenigen Ausnahmen einiger Sonderlegierungen – das Schweißgut einen geringen Anteil Delta-Ferrit (ca. 4–10 %) aufweist. Der Vorteil dieser teil-ferritischen Erstarrung liegt in dem Lösungsvermögen des Ferrits

für Verunreinigungen wie Phosphor und Schwefel. Dies wiederum reduziert die Heißrissempfindlichkeit. Die Legierungszusammensetzung von Blechen und Schweißzusätzen gewährleistet im Allgemeinen die Einhaltung dieser Werte. Das sog. Schaeffler-Diagramm hilft bei Verbindungsschweißungen unterschiedlicher Werkstoffe den ungefähren Delta-ferrit und die Legierungszusammensetzung des Schweißgutes zu bestimmen. Im Vergleich zum Schaeffler-Diagramm bezieht das DeLong-Diagramm (siehe Grafik 2) den Stickstoffgehalt mit ein.

Bild 17: Orbitalschweißnaht mit ausgezeichneter Schweißnahtgüte





Bild 18: MAG-Schweißen mit flexiblem Schweißautomaten

Der vom Schweißen her zu begrüßende Ferrit kann aber auch nachteilige Auswirkungen haben, z. B. auf die Beständigkeit in Salpetersäure, auf die Tieftemperaturzähigkeit oder bei der Warmumformung von Schweißnähten. Hier kann z. B. durch eine nachträgliche Lösungsglühung Abhilfe geschaffen werden.

Sind für bestimmte Anforderungen hochlegierte Stähle erforderlich, die vollaustenitisch erstarren (z. B. stickstofflegierte nicht rostende Stähle, hochwarmfeste oder nicht-magnetisierbare Stähle), ist die höhere Heißrissempfindlichkeit zu beachten.

Um sie „rissfrei“ verschweißen zu können, sind bestimmte Maßnahmen erforderlich:

- reduzierte Wärmeeinbringung, geringes Schweißbadvolumen
- Schrumpfspannungen klein halten, Aufbau hoher Eigenspannungen konstruktiv vermeiden
- keine Hochleistungsprozesse
- geeignete Schweißzusatzwerkstoffe und Schutzgase verwenden
- Schweißer besonders schulen

Ferritische Stähle, z. B. 1.4510/1.4511 / 1.4512, besitzen eine grundsätzlich schlechtere Schweißneigung, besonders bei großen Wanddicken. Diese schlechtere Schweißneigung wird u. a. bestimmt durch

- die grundsätzlich schlechtere Zähigkeit des Ferrits, und die damit verbundene Sprödbuchanfälligkeit
- die Neigung zu Grobkornbildung

- den Martensitanteil in der Wärmeeinflusszone (WEZ)
- die starke Neigung zu Ausscheidungen (z. B. Chromkarbiden in der WEZ), die die Zähigkeit reduziert

Allgemeine Hinweise

Als Schweißnahtvorbereitung kommen geschnittene (z. B. mittels Plasma, Laser) oder gefräste Kanten zum Einsatz. Die Fasenform ist abhängig vom Schweißprozess. Vor dem Schweißen ist es wichtig, einen Bereich von ca. 20–30 mm neben der Naht zu reinigen, auch auf der Blechunterseite. Die Reinigung kann je nach Verschmutzungsart mechanisch oder chemisch vorgenommen werden. Bei den mechanischen Verfahren ist darauf zu achten, dass Edelstahlbürsten sowie ferrit- und schwefelfreie Schleifmittel verwendet werden.

Dipl.-Ing., EWE Robert Sölch
Abteilungsleiter Schweißtechnik
Telefon: +49 5834 50-424
E-Mail: robert.soelch@butting.de



Für die Heftschweißungen gelten dieselben Anforderungen wie für die eigentliche Schweißnaht; sie müssen mit Formiergasschutz geschweißt werden. Dieses gilt insbesondere bei wurzelseitig nicht mehr zugänglichen Schweißnähten. Vor dem Überschweißen der Heftstellen sind vorhandene Anlauffarben und Beläge mit Bürsten zu entfernen.

Als Schweißzusatzwerkstoffe kommen handelsübliche Drähte bzw. Elektroden zum Einsatz. In der Regel wird artgleich bzw. leicht überlegiert geschweißt. Für die

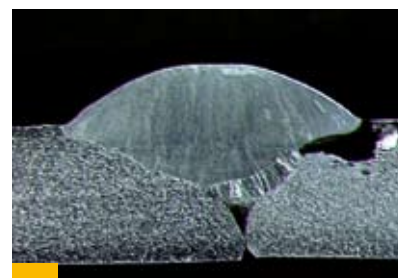


Bild 19: Ungenügende Durchschweißung einer Schweißnaht bietet dem Korrosionsmedium optimale Angriffsfläche

richtige Auswahl der Schweißzusätze sind u. a. die Betriebsbedingungen, wie z. B. Festigkeit, Korrosionsanforderung, Temperaturbelastung, und ggf. erforderliche Zulassungen zu beachten.

In Kürze noch einmal zusammengefasst:

Das Schweißen nicht rostender Stähle erfordert:

- die Auswahl geeigneter, auf den Anwendungsfall angepasster Schweißprozesse
- gezielte, nicht zu hohe Wärmeeinbringung
- Vermeidung von Anlauffarben; speziell im Rohrleitungsbau auf optimalen Wurzelschutz achten
- Berücksichtigung der erhöhten Schrumpf- und Wärmespannungen
- höchste Sorgfalt bei der Kantenvorbereitung in Bezug auf Fett- und Schmutzfreiheit
- Versetzung von verzünderten Bereichen nach dem Schweißen wieder in den metallisch blanken Zustand (vgl. Abschnitt Oberflächenzustand)

Wärmebehandlung nicht rostender Stähle

Grundsätzlich werden Halbzeuge (Bleche, Bänder, Stabstahl) aus nicht rostenden austenitischen Stählen im lösungsgeglühten Zustand angeliefert. Sie sollten dieses in Ihrer Bestellung dennoch angeben. Ob nach einer Verarbeitung dieser Halbzeuge durch Kalt- oder Warmverfestigung, durch Schweißen usw. die so erzeugten Bauteile – wie z. B. Rohre, Behälter, Profile – noch einmal vor ihrem Einsatz wärmebehandelt werden müssen, ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, z. B.

- Umformungsgrad
- Umformungstemperatur
- Werkstoff
- Verwendungszweck

Eine Richtlinie bezüglich der Vorgehensweise nach Kaltumformung ist das AD2000-Regelwerk (Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter). Das AD2000-Merkblatt HP 7/3 besagt, dass bei austenitischen Stählen auf eine Wärmebehandlung nach Kaltumformung verzichtet werden kann, wenn der Ausgangswerkstoff eine einzuhaltende Mindestbruchdehnung $A5 \geq 30\%$ aufweist und der Kaltumformgrad von 15 % nicht überschritten wird. Grundsätzlich sollte dann eine Wärmebehandlung erfolgen, wenn während der Verarbeitung unkontrolliert Wärme eingebracht wurde (z. B. Biegen mit Flamme). Das gilt auch bei Kaltumformung mit entstandenen Härten von über 250 HV. Allerdings darf dabei nicht übersehen werden, dass es Einsatzgebiete gibt, wo bewusst durch hohe Kaltumformung hohe Festigkeiten oder Härten auf Kosten der Zähigkeit erzwungen werden, um Verschleißfestigkeit, Abriebwiderstand o. ä. zu erhöhen.



Bild 20: 6 Meter lange Rohre werden nach dem Glühen im Wasserbad abgeschreckt



Bild 21: Wärmebehandlung in der Linie



Bild 22: Wärmebehandlung im Ofen

Vorsicht ist geboten

Eine der wesentlichsten Voraussetzungen für einen einwandfreien Glüherfolg ist die Sauberkeit der Oberfläche des Glühgutes. Schmiermittel und Oberflächenverunreinigungen aller Art sind daher vollständig zu entfernen. Anderenfalls können organische Bestandteile der Verunreinigungen an der Oberfläche während des Glühprozesses einbrennen und hätten eine schädliche Aufkohlung des Stahls zur Folge. Außerdem würde es zu einer ungleichmäßigen Zunderausbildung kommen, die beim Entzundern und bei der Oberflächenbearbeitung einen erhöhten Aufwand durch Schleifen oder Beizen erfordert.

Vielfältige Wärmebehandlungsverfahren

Zur Herstellung des „wärmebehandelten Zustandes“ stehen für nicht rostende Stähle verschiedene Wärmebehandlungsverfahren zur Verfügung, z. B. Lösungsglühen, Stabilglühen, Spannungsarmglühen, Rekristallisationsglühen und Weichglühen. Diese können im Rahmen der Fertigung als Induktionsglühung oder als Glühung in einem Ofen durchgeführt werden.

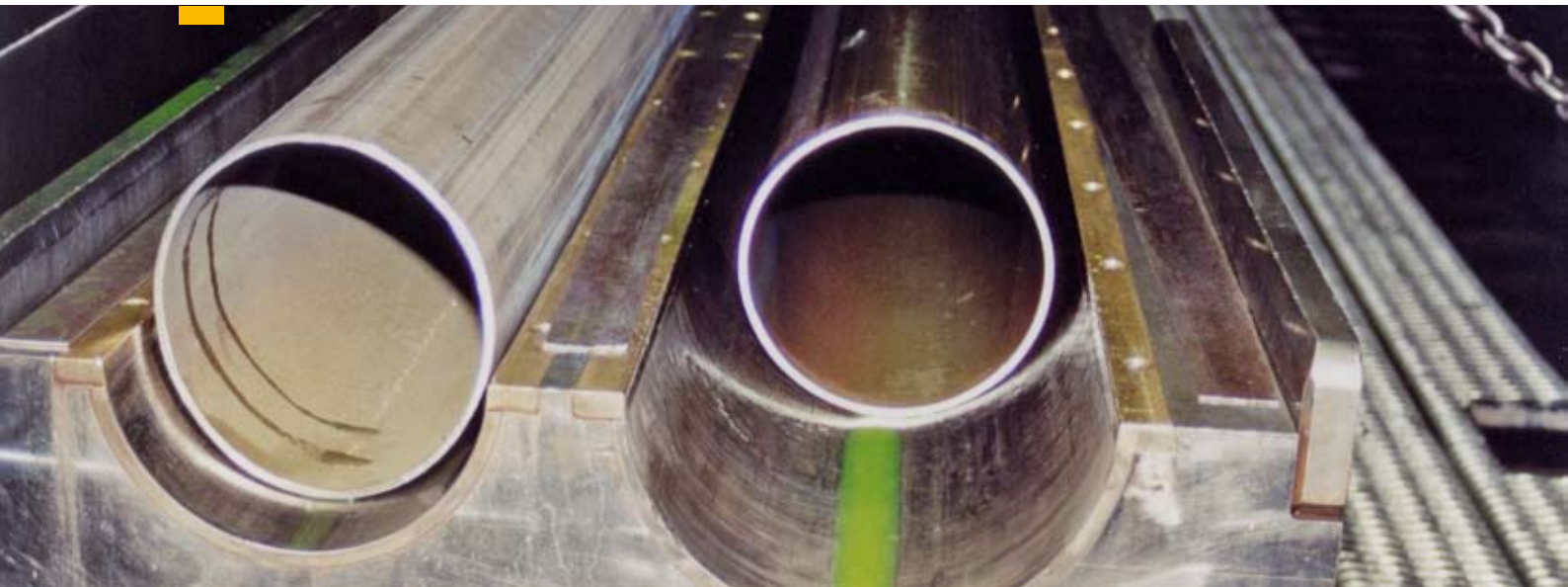
Lösungsglühen

Der günstigste Zustand austenitischer nicht rostender Stähle für die weitere Verarbeitung und Anwendung ist allgemein der lösungsgeglühte. Diesen erhält man durch ein Glühen (generell in leicht oxidierender Atmosphäre) bei ca. 1 050 °C für die nicht molybdänlegierten und bei Temperaturen oberhalb von 1 070 °C für die molybdänlegierten Stähle mit nachfolgender möglichst schneller Abkühlung. Für höherlegierte chromreiche Nickelbasislegierungen reichen Lösungsglühtemperaturen bis an 1 180 °C heran. Für die Glühdauer wird im Allgemeinen mit 2 min/mm Wanddicke, mindestens jedoch mit 20 Minuten gerechnet. Die Abkühlung kann bei Blechdicken bis etwa 6 mm in ruhender oder – besser – bewegter kalter Luft erfolgen. Bei höheren Wanddicken ist die Abkühlung im Wasser vorzuziehen. Der Grund dafür liegt in der Notwendigkeit zur Unterdrückung der Chromkarbidbildung, die vorzugsweise im Temperaturbereich zwischen 600 und 800 °C abläuft, und die zu einer Beeinträchtigung der Beständigkeit gegenüber interkristalliner Korrosion führen kann. Als Faustregel sollte deshalb der Bereich zwischen 600 und 800 °C beim Abkühlen in weniger als 5 Minuten durchlaufen werden. Die Glühung beseitigt einerseits die durch die Weiterverarbeitung eingetretene Verfestigung, andererseits stellt sie den für eine Korrosionsbeanspruchung günstigsten Gefügestand ein. Sofern in oxidierender Atmosphäre gegläht wird, muss anschließend z. B. durch Beizen eine Beseitigung des Glühzunders vorgenommen werden.

Stabilglühen

Das Stabilglühen soll nur bei stabilisierten, d. h. mit Titan oder Niob legierten Stählen (z. B. 1.4541) angewendet werden. Hier wird eine Glühbehandlung bei rund 870

Bild 23: Die durch Wärmebehandlung deformierten Rohre werden anschließend kalibriert



bis 950 °C von mindestens 30 Minuten Dauer durchgeführt, die durch die Bildung stabiler Karbidausscheidungen die Gefahr einer interkristallinen Korrosion verhindert. Wie das Lösungsglühen hebt es vorhandene Kaltverfestigungszustände durch Rekristallisation auf. Das Stabilglühen sollte jedoch nur dann Anwendung finden, wenn der Werkstoff bereits vorher einmal lösungsgeglüht vorlag, was beim Verarbeiten handelsüblicher Bleche und auch geschweißter Rohre der Fall sein dürfte.

festigungen vorliegen, ein Lösungsglühen jedoch wegen zu großer Verzugsgefahr nicht möglich ist. Weiter ist zu berücksichtigen, dass hierbei Spannungen maximal bis zur Warmstreckgrenze abgebaut werden, d. h. nicht restlos entfernt werden. So muss mit Wärmebehandlungszeiten von 6 bis 16 Stunden gerechnet werden und mit einer Beeinträchtigung der Korrosionsbeständigkeit in Gegenwart von Ferritanteilen, die z. B. im geschweißten, nicht gebeizten Zustand immer vorhanden sind.

Bei den austenitischen nicht rostenden Stählen erzielt man ein vollständiges „Weichwerden“ durch Erwärmen auf relativ hohe Temperaturen (gewöhnlich 950 bis 1 100 °C) mit rascher Abkühlung (Wärmebehandlungszustand „abgeschreckt“).

Die Erfahrung hat gezeigt, dass eine Haltezeit von 1 Minute je 2,5 mm Wanddicke ausreicht. Dünnwandige Werkstücke können an Luft abkühlen. Dickwandige Werkstücke müssen mit Gebläse abgekühlt oder in Wasser abgeschreckt werden.

Spannungsarmglühen

Das Spannungsarmglühen wird im Temperaturbereich zwischen 500 und 650 °C durchgeführt. Es findet Verwendung, wenn hohe Eigenspannungen oder Ver-

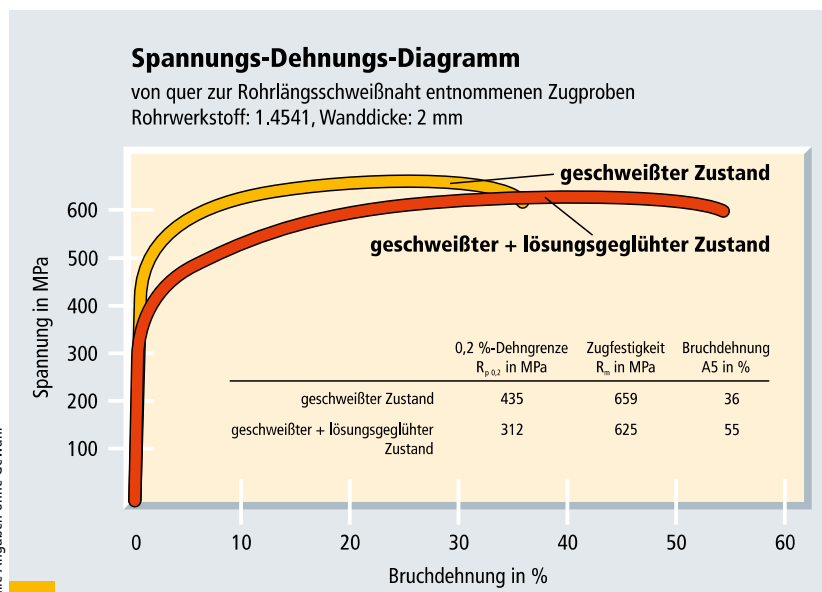
Weichglühen

Das Weichglühen dient der Aufhebung der Kaltverfestigung. Die ferritischen nicht rostenden Stähle werden auf 750 bis 800 °C erwärmt und langsam abgekühlt.

Rekristallisationsglühen

Beim Rekristallisationsglühen findet eine Neubildung des Gefüges nach Kaltumformung statt. Durch die Glühung werden mechanische Eigenschaften eingestellt, wie sie etwa vor der Verformung vorliegen. Das rekristallisierende Glühen von nicht rostenden Stählen findet bei Temperaturen zwischen 800 °C und 1 000 °C statt. Die Rekristallisationstemperatur ist von der chemischen Zusammensetzung des Stahls, dem Umformgrad und der Haltezeit der Glühung abhängig. Je höher der Umformgrad desto niedriger ist die zur Rekristallisation notwendige Temperatur.

Bei der Wärmebehandlung unstabiler austenitischer Chrom-Nickel- und Chrom-Nickel-Molybdän-Stähle ist darauf zu achten, dass in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt die Temperaturen und Zeiten außerhalb der Kornerfallsbereiche liegen.



Grafik 3: Spannungs-Dehnungs-Diagramm von quer zur Rohrlängsschweißnaht entnommenen Zugproben, Rohrwerkstoff: 1.4541, Wanddicke: 2mm

Höhere Qualität durch Oberflächenbehandlung

Die Oberfläche nicht rostender Stähle soll auch nach der Verarbeitung metallisch blank sein. Dies kann dadurch erreicht werden, dass der blanke Lieferzustand während der Verarbeitung durch äußerst schonende Behandlung aufrechterhalten wird. Dazu gehören u. a. folgende Maßnahmen wie:

Bearbeitung nur mit Werkzeugen aus nicht rostenden Stählen

Bei nahezu jeder Berührung mit anderen Werkstoffen, vornehmlich Stahlwerkzeugen, kommt es zu einem mehr oder weniger großen Abrieb dieser Werkzeuge auf dem nicht rostenden Stahl. Dieser Abrieb verhält sich wie jeder Stahl: Er rostet. Leider bleibt es nicht dabei, dass nur dieser Abrieb rostet, denn unter dem Rost wird die Passivschicht des nicht rostenden Stahles verletzt. Auch der nicht rostende Stahl wird unter derartigen Stellen in Mitleidenschaft gezogen: Er wird aktiviert. Der o. g. Werkzeugabrieb kann auch völlig unbeabsichtigt erfolgen, z. B. durch Flugrost, Berührung mit Nagelschuhen, durch Ketten beim Be- und Entladen. Ebenso sollte jeder Kontakt mit Zink- oder / und Kupferwerkstoffen vermieden werden, da eine derartige Kontamination bei einem nachfolgenden Schweiß- oder Wärmebehandlungsvorgang bei Temperaturen von mehr als 500 °C zum Eindiffundieren in die Oberfläche und anschließenden Rissbildungen führen kann (sog. Lötrissigkeit).

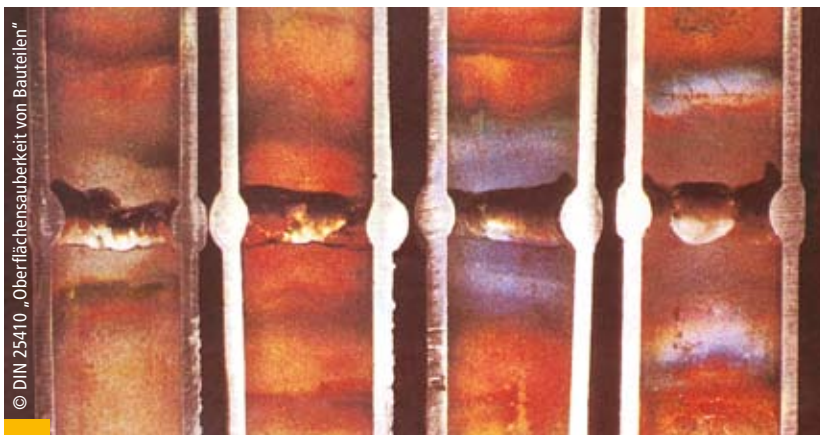


Bild 24: Anlauffarben auf austenitischen CrNi-Stählen, Chromstählen



Bild 25: Metallisch blanker Oberflächenzustand

Neben der ordnungsgemäßen Verarbeitung mit nicht rostenden Werkzeugen empfiehlt es sich, Abdeckungen, Klebefolien u. ä. zu verwenden, die vor Abrieb schützen. Ggf. muss der entstandene Abrieb – vorzugsweise durch eine Beizbehandlung – entfernt werden.

Schutzgasabdeckung von Oberflächen, die über ca. 500 °C erwärmt werden

Beim Schweißen, aber auch bei der Warmumformung kommt es zur Bildung von Anlauffarben und – bei längerer Wärmeeinwirkung – Zunderschichten. Starke Anlauffarben oder Zunder zerstören ebenfalls die Passivschicht des nicht rostenden Stahles und stellen Bereiche verstärkter Korrosionsgefährdung dar. Zur Vermeidung müssen erwärmte Stellen mit Schutzgas abgedeckt werden. Dieses geschieht z. B. beim Schweißen durch das Schutzgas (siehe Abschnitt „Schweißen“). Da eine vollständige Abdeckung des gesamten über 500 °C erwärmten Bereiches

nur mit erhöhtem Aufwand möglich ist, sollte durch eine mechanische oder – besser – chemische Nachbehandlung eine Beseitigung entstandener Anlauffarben vorgenommen werden. Die Fertigung möglichst großer Komponenten mit Vollbadbeizung und Reduzierung von Baustelenschweißungen ist daher anzustreben. Über die Belassbarkeit von dünnen Oxidschichten in Form von Anlauffarben kann keine allgemein gültige Aussage getroffen werden, da hier das Gesamtsystem aus Angriffsmittel, Werkstoff und Oberflächenzustand beurteilt werden muss. DIN 50930 Teil 4 schränkt in der Ausgabe Februar 1993 dies in Ziffer 6.2 wie folgt ein: „Durch dünne Oxidfilme von strohgelber Farbe wird die Korrosionswahrscheinlichkeit in Wässern, deren Zusammensetzung Trinkwässern entspricht und deren Temperatur 100 °C nicht überschreitet, nicht beeinflusst. In druckführenden Systemen mit höheren Temperaturen und allgemein in Systemen, die ... durch Einflussgrößen gekennzeichnet sind, welche die Korrosionswahrscheinlichkeit erhöhen, kann die Korrosionswahrscheinlichkeit bereits bei Vorliegen strohgelber Anlauffarben erhöht sein.“

Vermeidung von Mischbauweise

Bei Rohrmontagen wird immer wieder beobachtet, dass für die Befestigung, Aufhängung oder Verbindung von Bauteilen aus nicht rostendem Stahl Zubehörteile, wie z. B. Schellen, Schrauben und Muffen, aus Baustahl oder verzinktem Stahl verwendet werden. Derartige Mischbauweisen sind problematisch: Aufgrund des „edlen“ Zustandes der Chromoxidschicht

Bild 26: Axialer Innenschliff



Bild 27: Radialer Außenschliff

besteht die Gefahr der Kontaktkorrosion, wobei diese sich primär in einem beschleunigten Korrosionsangriff des unedleren Materials auswirkt.

Dies gilt auch für verzinkte Teile. Infolgedessen wird durch die entstandenen Rostschichten auch der nicht rostende Stahl geschädigt. Dabei ist die Grenze zwischen optischer Beeinträchtigung und Korrosionsgefährdung schwimmend. Sofern also – wie es wünschenswert, aber aus wirtschaftlichen Gründen nicht immer realisierbar ist – der alleinige Einsatz von Zubehör aus nicht rostendem Stahl nicht möglich ist, sollte zumindest darauf geachtet werden, dass diese Teile mit einem langlebigen Oberflächenschutz auf Kunststoffbasis zu versehen sind. Zur Vermeidung der Benetzung mit eisenhaltigem Schwitzwasser sollten Edelstahlleitungen nicht unterhalb von Baustahlleitungen verlegt werden.

Nachbereitung zur Wiederherstellung des Ausgangszustandes

Ist es bei der Verarbeitung des blanken, passiven Oberflächenzustandes z. B. beim Schweißen, Wärmebehandeln oder Umformen mit Stahlwerkzeugen zur Ferrit- oder Zunderablagerung gekommen, müssen nicht rostende Stähle zur Aufrechterhaltung ihrer Korrosionsbeständigkeit und zur Wiederherstellung des Ausgangszustandes nachbearbeitet werden. Diese

Oberflächennachbearbeitung kann je nach vorhandenen Möglichkeiten und Bauteilbeweglichkeit erfolgen durch:

- Bürsten, Schleifen
- Strahlen
- Beizen

Bürsten, Schleifen

Verzunderte oder mit Anlauffarben bedeckte Oberflächen können durch Bürsten mit nicht rostenden Stahlbürsten oder mit Flächenschleifwerkzeugen gereinigt werden. Voraussetzung ist, dass diese Werkzeuge nur für die Bearbeitung von nicht rostenden Stählen vorgesehen sind und eingesetzt werden. Weiterhin dürfen keine Schleifmittel verwendet werden, die zuvor für niedrig legierteren Stahl verwendet worden sind.

Beim Schleifen ist darauf zu achten, dass nur mit geringem Anpressdruck gearbeitet wird, der nicht zu einer starken Erwärmung und in Folge davon zur Anlauffarbenbildung oder / und hohen Oberflächenspannungen führt. Der Endschliff sollte nicht zu grob sein und etwa einer 120er Körnung oder feiner entsprechen. Nach dem Bürsten oder Schleifen empfiehlt es sich, mit klarem Wasser oder einer verdünnten Salpetersäure (ca. 10 bis 15 %) nachzuspülen, um die Bildung einer Passivschicht zu beschleunigen. Beim Bürsten und Schleifen wird die chromverarmte Zone unterhalb der durch Anlauffarben bedeckten Oberfläche z. T. nicht abgetragen. Die Korrosionsbeständigkeit ist dadurch beeinträchtigt.

Grafik 4 zeigt den Einfluss verschiedener Korngrößen auf die Lochkorrosionsbeständigkeit. Das Bürsten und Schleifen bieten zudem die Möglichkeit der Bearbeitung der Oberflächen für optische Zwecke.

Strahlen von Oberflächen

Das Strahlen wird angewendet zum Brechen des Zunders vor dem Beizen:

- insbesondere um bei hochkorrosionsbeständigen Stahlsorten die Beizezeiten zu verkürzen und den Säureverbrauch zu mindern
- zur Herstellung einer definierten Oberfläche, z. B. optisch einheitliche Oberflächen im Apparatebau, Raumtastik-Oberflächen für den Transport von Kunststoffgranulaten usw.
- zur Aufräumung der Oberfläche, um bessere Haftbedingungen für dekorative Oberflächenbeschichtungen (Lackierung, Email o. ä.) zu erzielen
- zum Aufbringen einer Druckspannung zur Verringerung der Gefahr von Spannungsrissskorrosion

Bild 29: Sprühbeizen für große Bauteile



Durch das Strahlen lassen sich matte, nicht richtungsorientierte Oberflächenstrukturen herstellen. Zum Einsatz kommen überwiegend Mehrwegstrahlmittel. Für nicht rostenden Stahl dürfen nur nicht-metallische Strahlmittel (z. B. Glasperlen, Keramikugeln, Granatsand) sowie metallische Strahlmittel aus nicht rostendem Stahl verwendet werden.

Bild 28: Die Außenstrahlanlage von BUTTING für die Oberflächenbehandlung von Rohren



Reste anderer Strahlmittel sind vor dem Strahlen sorgfältig aus den Strahleinrichtungen zu entfernen, damit es nicht zu Fremdstoffen kommen kann.

Nach dem Strahlen ist zum Erzielen einer guten Korrosionsbeständigkeit ein anschließendes Beizen erforderlich.

Beizen

Das Beizen ist nach wie vor das gängigste und für die Korrosionsbeständigkeit nicht rostender Stähle beste Verfahren zur Oberflächenbehandlung nach der Verarbeitung. Durch chemische Mittel werden beim Beizen nicht artgleiche Verunreinigungen oder Oxide entfernt. Dabei sind in erster Linie zwei Verfahren zu unterscheiden:

Tauchbeizen

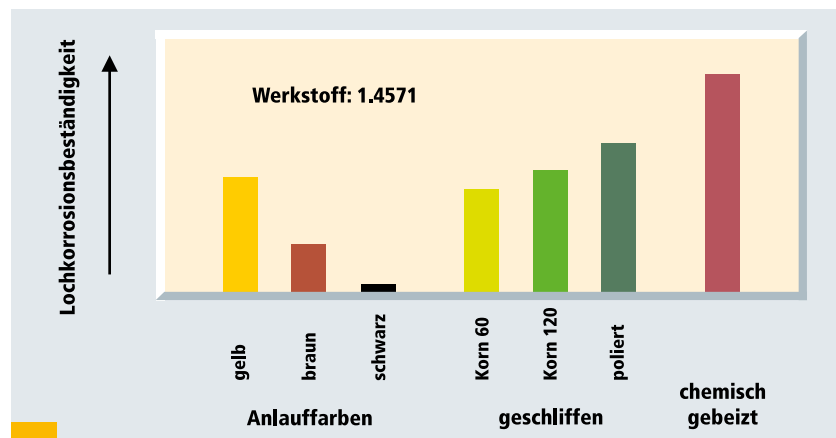
Dieses ist eine bequeme Methode der Oberflächenbehandlung, jedoch nur praktikabel, soweit die Bauteilgeometrie es zulässt. Die Zusammensetzung der Säuremischung und die Temperatur (20–65 °C) des Bades werden mit Rücksicht auf die Stahlsorte und den Glühzunder gewählt. Die Wirkung der Säure nimmt mit steigender Temperatur stark zu. Das bedeutet, dass sich die Beizgeschwindigkeit durch Temperaturerhöhung wesentlich erhöhen lässt. Eine Erhöhung der Badtemperatur um 10 °C kann zur Halbierung der Beizzeit führen. Es liegen jedoch Temperaturgrenzen vor.

Ein Überbeizen, das zu einer rauen Oberfläche führt, kann bei den am niedrigsten legierten nicht rostenden Stählen im Falle von zu hohen Temperaturen auftreten. Der Beizeffekt hängt neben der Säurekonzentration und Temperatur auch vom Gehalt freier Metalle (meist Eisen) im Bad ab.

Bild 30: Pastenbeizen



Bild 31: Tauchbeize – eine ökonomische und umweltgerechte Oberflächenbehandlung



Grafik 4: Qualitativer Einfluss des Oberflächenzustandes auf die Lochkorrosionsbeständigkeit eines austenitischen CrNiMoTi-Stahles

Eine ständige Beizbadanalyse und regelmäßige Beckenreinigung sind für eine gute Beizbearbeitung und damit für ein gleichmäßiges Erscheinungsbild dringend erforderlich. Nach ausreichender Einwirkzeit lassen sich die gelockerten Überreste des Zunderbelages durch Bürsten oder durch Druckwasser entfernen. Schwefel/Flusssäuregemische werden aus gesundheitlichen und umwelttechnischen Beweggründen in jüngerer Zeit immer häufiger eingesetzt.

Pastenbeizen

Für ein örtliches Beizen von Baustellennähten, aber auch innerhalb der Werkstattefertigung ist die Anwendung von im Fachhandel erhältlichen Beizpasten durchaus zu empfehlen. Diese werden durch Pinseln oder Sprühen aufgetragen und trocknen nach der Reaktion von selbst ein, so dass sich die Beizdauer dadurch im Allgemeinen selbst begrenzt. Zu beachten ist auch bei derartigen Beizmitteln der Hinweis auf die Chloridfreiheit,

welche bei dem überwiegenden Anteil der handelsüblichen Beizpasten gewährleistet wird. Entsprechend den angegebenen Betriebsanweisungen sind die Beizrückstände durch Bürsten und nachfolgendes Spülen zu entfernen.

Hinweis: Aufgrund einschlägiger Edelstahl-Erfahrungen führt BUTTING auch Lohnbeizungen durch.

Dipl.-Ing. Henning Lütkemüller
Abteilungsleiter Oberflächentechnik
Telefon: +49 5834 50-458
E-Mail: henning.luetkemuller@butting.de



Selektive oder örtliche Korrosion

Im Gegensatz zu un- und niedriglegierten Stählen sind die nicht rostenden Stähle und Legierungen weniger durch eine allgemein ganzflächig abtragende Korrosion gefährdet. Sie erleiden unter bestimmten Voraussetzungen vielmehr sog. selektive oder örtliche Korrosion. D. h. der überwiegende Teil der Oberfläche bleibt unbeschädigt und nur an vereinzelt, bevorzugten Stellen tritt eine zum Teil sehr schnell ablaufende Werkstoffabzehrung oder Werkstofftrennung auf. Nachstehend einige Erläuterungen zu den wichtigsten Korrosionsformen:

Interkristalline Korrosion

Zur interkristallinen Korrosion kommt es, wenn ein nicht sachgemäßer Wärmebehandlungszustand der Stähle vorliegt. Durch lange Verweilzeiten im Bereich zwischen etwa 600 und 800 °C neigt der in den Stählen vorhandene Kohlenstoff dazu, sich mit dem Chrom zu einem chromreichen Karbid der Form $M_{23}C_6$ zusammenzulagern und an den Korngrenzen auszuscheiden. Unmittelbar neben den Korngrenzen kommt es dadurch zu einer Chromverarmung, da Chrom im Gegensatz zum Kohlenstoff nicht schnell genug nachdiffundieren kann, so dass örtlich der zur Aufrechterhaltung des Passivzustandes erforderliche Chromgehalt von ca. 12 % unterschritten wird. Folge ist der Kornzerfall, d. h. bevorzugter Korrosions-

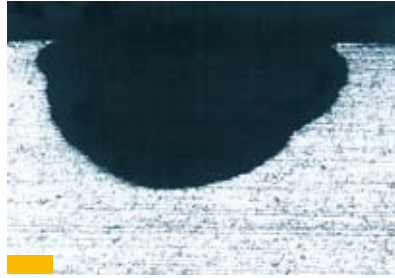


Bild 33: Lochkorrosion am hochlegierten CrNi-Stahl 1.4541

angriff entlang der Korngrenzen, nach außen hin sogar sichtbar durch eine matte Oberfläche verbunden mit Rosterscheidungen.

Derartige ungünstige Temperaturzyklen können z. B. bei unsachgemäßen Schweiß- oder Wärmebehandlungsvorgängen auftreten. Legierungstechnisch wird dieser Korrosionsform entgegengewirkt, indem entweder der Kohlenstoffgehalt unter 0,03 % gehalten wird oder die Stähle mit den chromaffinen Elementen Nb oder Ti stabilisiert werden.

Lochkorrosion

Halogen-Ionen, üblicherweise Chlorid-Ionen, sind hauptverantwortlich für die Lochkorrosion, bei der sich statistisch über die Oberfläche mehr oder weniger tiefe vereinzelte Löcher bilden, die die gesamte Wandung durchstoßen können. Die Ionen nisten sich in der Passivschicht ein und führen an einer solchen Stelle zu einem Durchbruch. Dieses geschieht vorzugsweise an negativ beeinflussten Oberflächenbereichen, wie z. B. im Bereich der An-

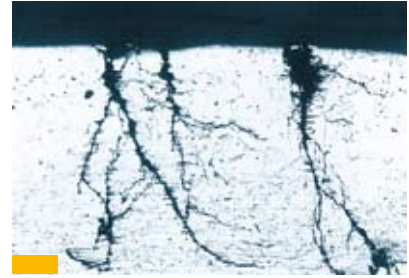


Bild 34: Spannungsrisskorrosion am hochlegierten CrNi-Stahl 1.4541

lauffarben. Wir haben es dann mit einer flächenmäßig sehr kleinen aktiven Anode und einer sehr großen passiven Kathode zu tun, die zu sehr hohen Auflösungsgeschwindigkeiten und damit zu einer Zerstörung des Bauteils in wenigen Monaten führen kann. Der Gefährdung durch Lochkorrosion kann legierungstechnisch durch Steigerung des sog. Pitting Resistance Equivalent (PRE) in den Stählen begegnet werden. Der PRE-Wert errechnet sich aus folgender Formel:

$$PRE = \% Cr + 3,3 \times \% Mo + 16 \times \% N.$$

Stähle mit einem PRE-Wert über 33 gelten als Stähle mit erhöhter Lochkorrosionsbeständigkeit.

Spannungsrisskorrosion

Diese Korrosionsform bedarf neben eines spezifischen Angriffsmittels, das auch hier wieder nahezu ausschließlich chloridhaltige Medien sind, noch erhöhter Temperaturen ab etwa 50 °C aufwärts sowie gleichzeitig vorliegender

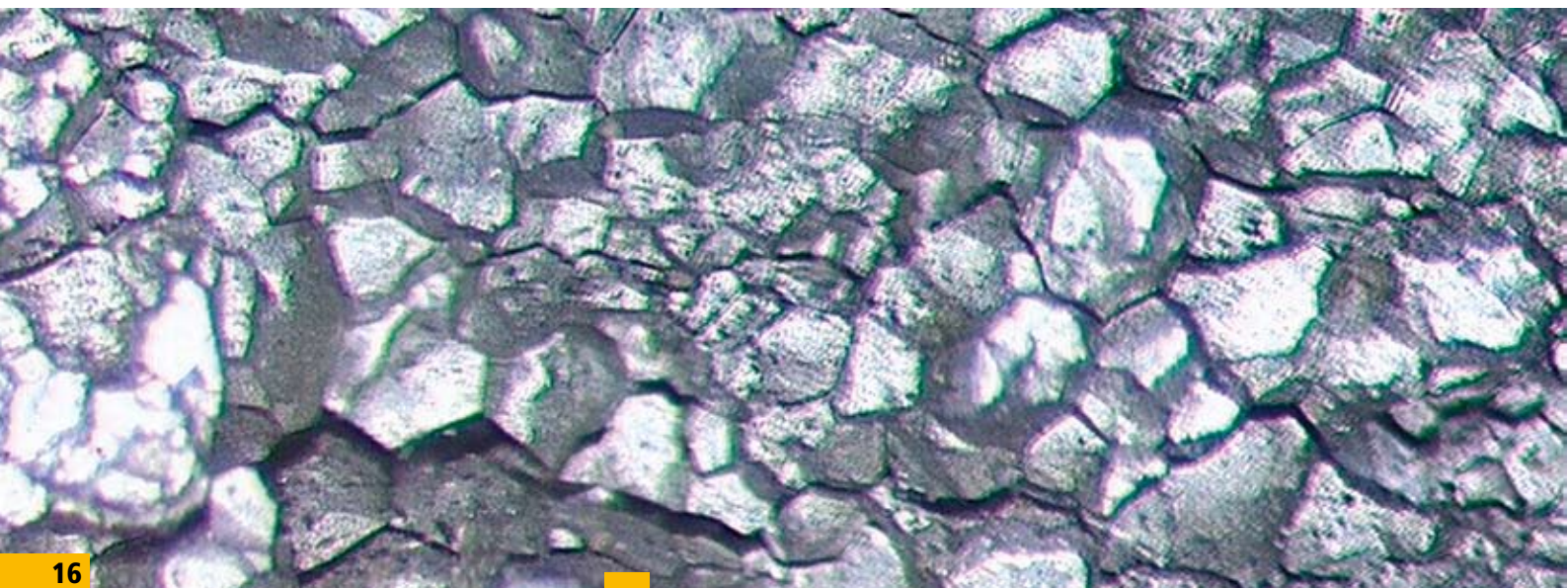


Bild 32: Durch interkristallinen Korrosionsangriff geschädigte Oberfläche des austenitischen CrNi-Stahles 1.4301

Zugspannungen. Diese können sowohl durch Betriebsspannungen als auch durch Eigenspannungszustände, z. B. im Bereich von Schweißnähten, hervorgerufen sein. Im Allgemeinen sind von dieser Korrosionsform nur austenitische Stähle, also auch die üblichen V2A- und V4A-Stähle betroffen. Kennzeichnend für diese Korrosionsform ist ein nahezu verformungsloser Bruch der Bauteile. Nach erstem Anschein lässt sich in keiner Weise die Mitwirkung der Korrosion erkennen. Gewisse Ähnlichkeiten und zumindest Übergänge bestehen zur Schwingungsrisskorrosion, bei der nicht statische, sondern dynamische mechanische Beanspruchung Voraussetzung ist. Graduell unempfindlich gegen Spannungsrisskorrosion sind ferritisch-austenitische Stähle, wie z. B. 1.4462, und Stähle mit Nickelgehalten über 25 %.

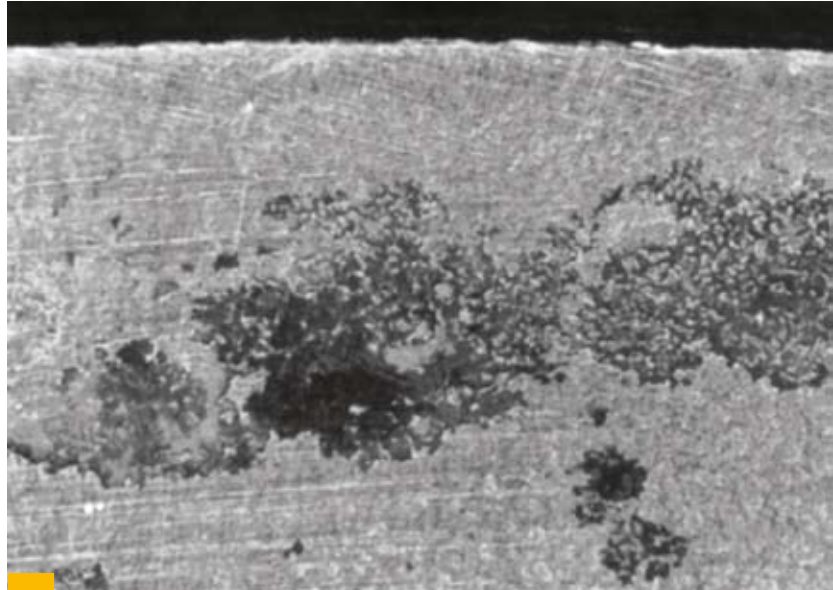
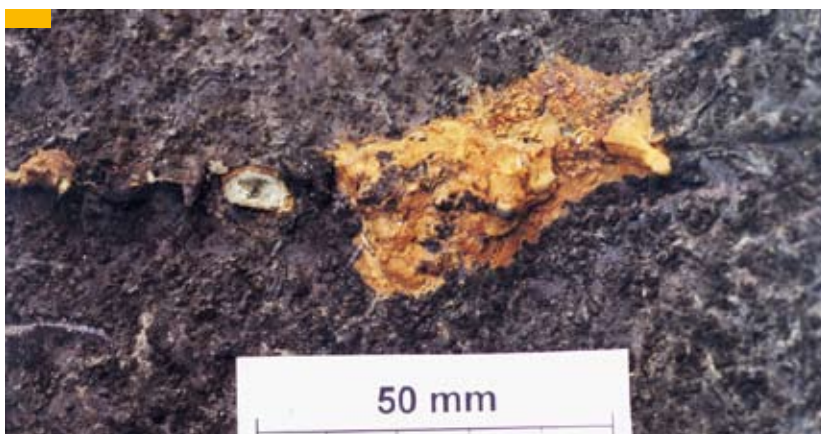


Bild 36: Spaltkorrosion im Bereich der Dichtfläche einer Bordscheibe

Spaltkorrosion, sowie andere Depassivierungsmechanismen

Die Bildung einer Passivschicht erfordert Sauerstoff. Das gilt nicht nur für den einmaligen Vorgang. Da auch im Passivzustand Korrosionsvorgänge (wenn auch geringe) ablaufen, muss diese Passivschicht ständig erneuert werden, um stabil zu bleiben. Wird deshalb jeder Sauerstoff-Transport durch zu lange Diffusionswege in engen Spalten, unter Belägen, in Toträumen usw. unterbunden, so kommt es je nach sonstigen Angriffsbedingungen, bei denen auch das Chlorid-Ion wieder eine dominierende Stellung einnimmt, zur Auflösung der Passivschicht. Das Metall geht an diesen Stellen in den Aktivzustand über und korrodiert.

Bild 35: Korrosionsschaden durch MIC – „Rostpustel“ im Bereich einer Rohrrundschweißnaht



Kontaktkorrosion

Bei dieser Korrosion wird der elektrochemische Charakter einer jeden Korrosionsform sehr deutlich: Für jedes Metall bzw. jede Legierung stellen sich in jeder Lösung bestimmte Potenziale ein, die typisch für dieses System sind. Bringt man nun zwei unterschiedliche Werkstoffe in die gleiche Lösung und haben die Werkstoffe direkt metallischen Kontakt miteinander, so bildet sich ein sog. Mischpotenzial aus, wobei das edlere zu unedleren und das unedlere zu edleren Potenzialwerten verschoben wird. Wie weit sie sich dabei von ihrer artspezifischen Potenziallage entfernen, hängt nicht zuletzt auch von den Flächenverhältnissen der beiden kurzgeschlos-

senen Metalloberflächen ab: Eine kleine verzinkte Schraube wird in Verbindung mit einem nicht rostenden Stahlflansch sehr viel schneller korrodieren als allein ohne diesen Kontakt.

Eine triviale Voraussetzung sollte dabei nicht übersehen werden: Kontaktkorrosion kann nur ablaufen, wenn der Stromkreis auch über den Elektrolyt, d. h. durch das Angriffsmittel, geschlossen ist. Der geschlossene Kreis lautet also: Metall A – Metall B – Angriffsmittel – Metall A.

Mikrobiologisch beeinflusste Korrosion (MIC)

Bei der Beurteilung der Aggressivität von Wässern vor allem im Temperaturbereich unterhalb 60 °C ist auch die mögliche Verursachung, zumindest aber die unterstützende Wirkung durch Bakterienkulturen zu berücksichtigen. In Gegenwart insbesondere von schleimbildenden Bakterien können Redox-Vorgänge ablaufen, die zu einer nachhaltigen Schädigung der Passivität bei nicht rostenden Stählen in Form von Lochkorrosion führen. Besonders gefährdet sind werkstoff- oder verarbeitungsbedingte Schwachstellen, wie z. B. kleine Schweißfehler, Anlaufarben, höhere Rauigkeiten. Molybdänlegierte Stähle sind unter solchen Bedingungen geringer gefährdet als molybdänfreie.

Schutz der Oberfläche

Edelstahlprodukte müssen heute rund um den Globus sicher, schnell und unbeschädigt an ihren Bestimmungsort gelangen. Eine gute Verpackung erfüllt dabei keinen Selbstzweck, sondern dient in erster Linie zur Prävention vor mechanischen Beschädigungen, wie z. B. Beulen oder Kratzern. Im Rahmen einer umfassenden Qualitätssicherung haben Verpackungen für nicht rostende Stähle darüber hinaus die Aufgabe, die für deren Korrosionsbeständigkeit verantwortliche Passivschicht zu schützen.

Vor diesem Hintergrund kommt der Verpackung und dem Transport von Edelstahlprodukten eine besondere Bedeutung zu. Beim Transport und Umladen muss der Kontakt mit „Normstahl“, Kupfer oder Zinkbeschichtungen vermieden werden. Schon bei leichtem Druck oder Abrieb von z. B. St37 würde dieser auf die Oberfläche des Edelstahles abgegeben werden. Bei der Lagerung z. B. unter freiem Himmel korrodiert dieser Abrieb und es entstehen braune Flecken, die die Passivschicht gefährden können. Transportmittel und Umladetechniken bzw. -werkzeuge, wie z. B. Kranketten und Kufen von Gabelstaplern, müssen daher zum Schutz der Produktoberfläche entsprechend ausgewählt bzw. modifiziert werden. Eine Verpackung muss zudem statischen (Sicherheit), ökonomischen, logistischen (Handling) und ökologischen Anforderungen (Recycelfähigkeit) gerecht werden.

Insbesondere Rohre aus Edelstahl gelten als sperriges Langgut mit empfindlichen Oberflächen und passen damit nicht in die Systemlogistik namhafter Anbieter. Verpackungen von BUTTING rationalisieren die logistischen Prozesse in unterschiedlicher Weise, z. B. durch kürzere Be-/Entladezeiten, geringeren Aufwand für Ladungssicherung, einfachere Umladung bei Stückgütern und Lagerung ohne zusätzliche Vorrichtungen mit der Möglichkeit zur Kommissionierung von einzelnen Rohren. BUTTING-Edelstahlrohre werden mit Holzkonstruktionen und meist Kunststoffbändern zu Verpackungseinheiten zusammengefasst. Ferriteintrag und Beschädigung werden so sicher vermieden.

Korrosionsschutz

Wenn keine außergewöhnliche Belastung durch eine ferrit- und/oder chloridhaltige Atmosphäre zu erwarten ist, kann grundsätzlich beim Transport von Edelstahlprodukten auf einen zusätzlichen Korrosionsschutz verzichtet werden. Bei Luft-/Seetransporten sind die Belastungen speziell durch Seeluft bzw. durch mehrfaches Handling und Zwischenlagerung größer und schwerer einzuschätzen. Hier hat es sich bewährt, die Verpackungseinheiten zusätzlich durch PE-Folie von der Atmosphäre zu trennen. Die Verpackung ist so zu konstruieren, dass auftretendes Schwitzwasser durch die Unterseite der Verpackungseinheiten abgeleitet wird. Für die Lagerung in ungünstiger Atmosphäre oder für Seetransporte können Überseekisten mit Einsätzen aus Sperrschicht-



Bild 38: Zum Schutz der Oberfläche werden Verpackungen projektspezifisch festgelegt und maßgeschneidert angefertigt

material und Trockenmittel verwendet werden. Das Sperrschichtmaterial besteht in der Regel aus Aluminiumverbundfolie, welche jeglichen Austausch von Wasserdampf und Luft zwischen Atmosphäre und Kisteninnerem unterbindet. Das Trockenmittel kann in Verbindung mit einem intakten Sperrschichtmaterial eine Luftfeuchtigkeit von unter 40 % gewährleisten.

Als Alternative ist die VCI-Methode anerkannt (Volatile Corrosion Inhibitor), d. h. ein flüchtiger Korrosionshemmer, der auf das jeweilige Metall abzustimmen und ggf. vorher zu testen ist.

Fazit: Die Verpackung von Edelstahlprodukten ist in erster Linie als eine umfassende Qualitätssicherungs-Maßnahme zu verstehen. Die Produkte sollen in der beim Hersteller erzeugten Qualität sicher zum Empfänger gebracht werden, denn die beste Werkstoffauswahl und Verarbeitung ist hinfällig bei Verunreinigung oder Beschädigung durch mangelhafte Verpackung.



Bild 37: Rohre aus Werkstoff 316L in der Verpackungsart BK07, Stirnenden geschützt, in Folie eingeschweißt



Längsnahtgeschweißte Rohre

Aus kontinuierlicher Fertigung:
Ø 15–762 mm mit Wanddicken bis zu 16 mm

Aus Blech:
Ø 33,7–3 000 mm mit Wanddicken bis zu 60 mm

Spezialprofile

In Herstellungslängen bis 24 m mit Rundnähten



Plattierte Rohre

Mechanisch plattierte BuBi®-Rohre Ø 114,3 mm bis 660 mm

Metallurgisch plattierte Rohre

In Herstellungslängen bis 24 m mit Rundnähten



Behälterbau

Bis Ø 6 000 mm: Vorfertigung komplett im Werk

Größer Ø 6 000 mm: Vorfertigung im Werk und Montage vor Ort



Vorfertigung

Einbaufertige Rohrleitungsteile

Rohrbiegungen nach Zeichnungen, Rohrleitungssegmente, Isometrien



Fittings

T-Stücke, Reduzierungen, Sonderformteile

Rohrbogen DIN 2605

Bordscheiben DIN 2642

Rohrbogen in Großradien



Rohrtechnik

Rohre mit Sondertoleranzen, z. B. Walzenrohre, Statorrohre

Rohre mit speziellen Oberflächenanforderungen, z. B. Pharmarohre, Architektur

Rohrweiterverarbeitung mittels Umformung, Zerspaltung, Laser, z.B. Gehäuse für Pumpen, Ventile, Leuchten

Spezialprodukte, z. B. BUTTING HeRo® (eine ungekühlte Ofenrolle)



Montagen

Behälter

Rohrleitungen

Sonderkonstruktionen, Equipment



Oberflächenbearbeitung

Beizen (auch im Lohn)

Strahlen (auch im Lohn)

Schleifen (auch im Lohn)

Bildnachweis
Titel:
Rutzen & Scherer / HenryN.



Dienstleistungen

Technische und metallurgische Beratung

CAD-Planung, Anfertigung von Detailzeichnungen und Isometrien

Metallurgische Untersuchungen und zerstörungsfreie Prüfungen

Luftbild:
Thomas Keller
Innenteil:
Heike Butting,
Rutzen & Scherer,
S. Schneider, S. Wilke,
Firmenarchiv

Materialauswahl

- Stähle mit mindestens 10,5% Cr, z. B.
 - nicht rostende
 - hitzebeständige
 - hochwarmfeste
- Nickellegierungen
- Titan
- Aluminium und Leichtmetalle
- Sonderstähle
- Plattierte Werkstoffe

Zulassungen

- durch TÜV nach AD-WO/HPO und TRD 100/201 und DIN EN 729-2
- Werkstoffhersteller nach DGRL
- nach Wasserhaushaltsgesetz § 19I
- Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001 : 2000
- Akkreditiertes Labor nach DIN EN ISO/IEC 17025 : 2000
- Statement of Assessment durch ASD-EASE gemäß EN 9100 (without design)
- Umweltmanagementsystem nach DIN EN ISO 14001
- Arbeitsschutzmanagementsystem nach OHSAS 18001



Luftbild BUTTING Knesebeck



H. BUTTING GmbH & Co. KG
 Gifhorner Straße 59
29379 Knesebeck
 Deutschland
 Telefon: +49 5834 50-0
 Fax: +49 5834 50-320
 E-Mail: info@butting.de

Internet: www.butting.de



BUTTING Anlagenbau
 GmbH & Co. KG
 Kuhheide 13
16303 Schwedt/Oder
 Deutschland
 Telefon: +49 3332 2097-0
 Fax: +49 3332 2097-18
 E-Mail: info@butting-schwedt.de



BUTTING (Shanghai) Co., Ltd.
 Jingxue Rd. 199/2
 Malu Jiading
201801 Shanghai
 China
 Telefon: +86 21 69157598
 Fax: +86 21 69157599
 E-Mail: info@butting.com.cn



BUTTING Canada Ltd.
 239 Crawford Place
Cochrane, Alberta
T4C 2G8
 Kanada
 Telefon: +1 403932 5844
 Fax: +1 403932 4237
 E-Mail: canada@butting.de