Technische Informationen
Korrosionsbeständige Edelstähle

Inhalt		Seite
1	**Was ist Korrosionsbeständiger Edelstahl?**	**106**
2	**Korrosion**	**106**
2.1	Was ist Korrosion?	**106**
2.2	Korrosionsarten	**106**
2.3	Passivität oder «Was macht Edelstahl korrosionsbeständig?»	**109**
2.4	Korrosionsdaten	**109**
2.5	Für Abklärungen benötigte Informationen	**109**
3	**Einteilung der Korrosionsbeständigen Stähle**	**110**
3.1	Allgemeines	**110**
3.2	Edelstahlgefüge	**110**
3.3	Legierungselemente und ihr Einfluss auf die Eigenschaften des Stahls	**111**
3.4	Eigenschaften der korrosionsbeständigen Stähle	**112**
4	**Werkstoffprüfung**	**114**
4.1	Mechanische (zerstörende) Prüfungen	**114**
4.2	Physikalische Prüfungen	**117**
4.3	Chemische Prüfungen	**117**
4.4	Strukturelle Prüfungen	**118**
5	**Be- und Verarbeitung**	**118**
5.1	Allgemeine Be- und Verarbeitungsgrundsätze	**118**
5.2	Spanlose Verarbeitung – Umformen	**118**
5.3	Spanabhebende Bearbeitung	**119**
5.4	Polieren	**120**
5.5	Schweissen	**120**
5.6	Löten	**123**
5.7	Kleben	**123**
5.8	Nieten, Schrauben	**124**
5.9	Probleme beim Fügen von Edelstahl mit anderen Werkstoffen	**124**
5.10	Wärmebehandlung	**124**
5.11	Reinigung und Pflege	**124**
6	**Normen**	**125**
6.1	EN 10088	**125**
6.2	Weitere Normen	**126**
7	**Technische Tabellen und Informationen**	**127**

© KOHLER 2021

1 WAS IST KORROSIONSBESTÄNDIGER EDELSTAHL?

Im Umfeld korrosionsbeständiger Edelstähle existieren verschiedene Begriffe wie «nichtrostend, rostfrei, rostbeständig, korrosionsbeständig, Edelstahl Rostfrei, Chromstahl, Chrom-Nickelstahl, V2A-Stahl, V4A-Stahl» etc., die beim Laien häufig falsche und oft übertriebene Vorstellungen wecken. Alle diese Begriffe werden im folgenden unter dem Begriff «korrosionsbeständiger Edelstahl» zusammengefasst. Bei all diesen Begriffen muss berücksichtigt werden, dass die Beständigkeit eines Werkstoffes von seiner chemischen Zusammensetzung, seiner Verarbeitung und von der Aggressivität der Umgebung abhängig ist. Eine falsche oder ungenügende Berücksichtigung dieser Zusammenhänge kann zu katastrophalen Schäden führen. Andererseits sind beim richtigen Einsatz von korrosionsbeständigen Edelstählen, trotz höherer Investitionskosten, über die ganze Lebensdauer gesehen, deutliche Einsparungen durch den Wegfall oder die Reduktion von Unterhaltsarbeiten möglich. Voraussetzung ist allerdings eine sorgfältige Abklärung der möglichen Korrosionsmechanismen bereits in der Planung.
Bei den korrosionsbeständigen Edelstählen handelt es sich um Eisenbasis-Legierungen, d.h. sie bestehen mit Ausnahme einiger besonders hoch legierten und korrosionsbeständigen Sorten, zu mindestens 50 % aus Eisen.
Ein Stahl wird dann als rost- oder korrosionsbeständig bezeichnet, wenn er mindestens an feuchter Luft oder in sauerstoffhaltigem, reinem Wasser nicht korrodiert.

2 KORROSION

2.1 Was ist Korrosion?

Im Zusammenhang mit korrosionsbeständigen Edelstählen ist es unumgänglich, sich mit dem Begriff der «Korrosion» auseinander zu setzen. Nach DIN 50900 wird «Korrosion» definiert als «Reaktion eines metallischen Werkstoffes mit seiner Umgebung, welche eine messbare Veränderung des Werkstoffes bewirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion eines metallischen Bauteils oder eines ganzen Systems führen kann.» Vereinfacht kann man «Korrosion» bezeichnen als «Zerstörung eines metallischen Werkstoffes durch (elektro-) chemische Reaktion des Werkstoffes mit seiner Umgebung (Metallauflösung)». Korrosion kann nur entstehen, wenn der Stahl mit einer korrosiv wirkenden Umgebung (Medium) in Kontakt kommt. Bei unlegiertem Stahl wirkt bereits reines Wasser, das in den meisten Fällen eine gewisse Menge an gelöstem Sauerstoff enthält, korrosiv. Der Stahl muss dazu nicht unbedingt im Wasser eingetaucht sein, eine relativ hohe Luftfeuchtigkeit genügt schon.

Ob ein Stahl korrodiert, hängt stark von folgenden Faktoren ab:
- Legierung (Werkstoff)
- Konzentration der korrosiv wirkenden Stoffe in der Umgebung (Medium)
- Temperatur
- allfällige Verunreinigungen im Medium

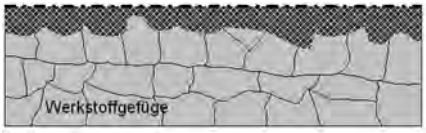
Bereits geringe Variationen von Temperatur, Konzentration und Verunreinigungen können unter Umständen zu einer deutlichen Veränderung der Korrosionsgeschwindigkeit führen!

2.2 Korrosionsarten

2.2.1 Korrosionsarten

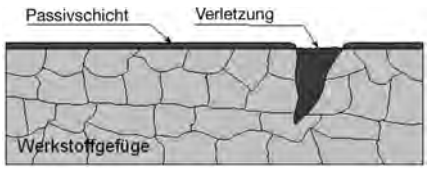
Korrosion kennt verschiedene Mechanismen und Erscheinungsbilder, die im folgenden kurz beschrieben werden. Man unterscheidet folgende Korrosionserscheinungen, die aber alle auf die gleiche Ursache zurückzuführen sind, nämlich «ungenügende Passivität» des Stahles unter gegebenen Bedingungen:
- allgemeine oder gleichmässige Korrosion (englisch: uniform corrosion)
- Lochkorrosion / Lochfrass (englisch: pitting)
- Spaltkorrosion (englisch: crevice corrosion)
- galvanische oder Kontaktkorrosion (englisch: calvanic corrosion)
- interkristalline Korrosion / Korngrenzenkorrosion (englisch: intergranular corrosion)
- Spannungsrisskorrosion SRK (englisch: stress corrosion cracking SCC)
- Korrosionsermüdung (englisch: corrosion fatigue)
- Erosionskorrosion (englisch: erosion corrosion)
- Fremdrost

2.2.2 Gleichförmige oder allgemeine Korrosion



Man spricht von einer gleichmässigen Korrosion, wenn alle Stellen der Oberfläche gleichmässig korrodieren. Im Gegensatz zu anderen Korrosionsformen ist diese von Auge gut sichtbar. Durch Versuche im Labor sowie in der Praxis lässt sich bei dieser Art von Angriff die Abtragsrate des Materials als Funktion von Konzentration und Temperatur sehr gut bestimmen, d.h. diese Werte können für Berechnungen (Korrosionszugabe, Lebensdauerberechnung) benützt werden.
Zeigt ein Stahl unter bestimmten Korrosionsbedingungen (Medium, Konzentration, Temperatur) eine Korrosionsrate von weniger als 0.1 mm/Jahr, so wird er «als unter diesen Bedingungen korrosionsbeständig» bezeichnet.

2.2.3 Lochkorrosion (Chlorinduzierte Korrosion, Lochfrass)



Bei der Lochkorrosion entstehen unter Einwirkung des Angriffsmediums im Grundmaterial lokale Angriffe in Form kleiner Grübchen, während der grösste Teil der Materialoberfläche passiv und unbeschädigt erhalten bleibt. Diese Grübchen sind unregelmässig gestreut, werden immer tiefer und können in sehr kurzer Zeit ein Blech oder Rohr durchstossen. Lochkorrosion tritt in Anwesenheit von Halogenidionen (elektrisch geladene Chlor-, Fluor-, Jod- oder Bromatome) auf, wobei Chlorid- und Bromidionen aggressiver sind als Jodidionen und Fluoridionen. Die Vorgänge bei der Lochkorrosion sind komplex. Es steht fest, dass die passive Oberfläche des korrosionsbeständigen Stahles an einzelnen Punkten durchbrochen wird, wobei diese Punkte aktiv und unedler als die übrige Oberfläche werden.

© KOHLER 2021

Diese aktiven Stellen, an denen sich das Material auflöst, bilden Anoden, während die übrige Oberfläche die Kathode darstellt. Auf diese Weise entstehen galvanische Elemente, die elektrischen Strom erzeugen. Hierbei gilt, dass die Anoden und die Kathoden von der gleichen Strommenge durchflossen werden. Da die Oberfläche der aktiven, unedlen Stellen sehr klein ist, ergibt sich eine hohe Stromdichte und somit eine grosse Auflösungsgeschwindigkeit. Damit sind die schnellen, punktartigen Durchbrüche zu erklären, die in der Praxis häufig anzutreffen sind.
Neueste Untersuchungsmethoden zeigen, dass die Angriffe immer an Inhomogenitäten des Werkstoffes (Verunreinigungen) erfolgen. Die Reinheit des Werkstoffes ist somit von grösster Bedeutung. Daneben kann die Lochfrassbeständigkeit auch durch die Legierungselemente beeinflusst werden:

Element	Beständigkeit gegen Lochfrass	
	steigert	senkt
Chrom (Cr)	×	
Nickel (Ni)	×	
Molybdän (Mo)	×	
Stickstoff (N)	×	
Titan (Ti)		×
Niob (Nb)		×
Schwefel (S)		×
Selen (Se)		×
Kohlenstoff (C)		×

Mo steigert die Beständigkeit in chloridhaltigen Lösungen erheblich. Die Wirkung nimmt mit steigendem Mo-Gehalt zu und ist am grössten nach einer chemischen Passivierung der Oberfläche.
Die Gefahr von Lochkorrosion kann auch konstruktiv reduziert werden, indem darauf geachtet wird, dass die Apparatur keine Spalten und Säcke aufweist, in denen sich Halogenidionen aufkonzentrieren können. Auch die Oberflächenbeschaffenheit hat häufig einen markanten Einfluss auf die Beständigkeit. Eine gebeizte, geschliffene oder fein polierte und passivierte Oberfläche weist die beste Beständigkeit auf.
Die Beständigkeit eines Werkstoffes gegen Lochkorrosion kann aus der Wirksumme (PRE-Wert) abgeleitet werden. Es handelt sich bei diesen Angaben um empirische Werte, die als Richtlinien zu verstehen sind. Die Werte geben einen Anhaltspunkt, ob der Werkstoff eine höhere oder geringere Beständigkeit aufweist als ein anderer.

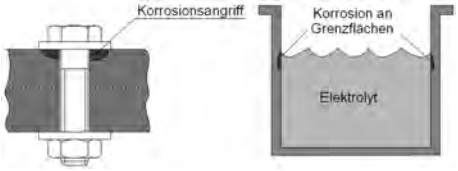
Wirksumme PRE (**P**itting **R**esistance **E**quivalent)

$$PRE_{16/30} = \%Cr + 3.3 \times \%Mo + 16(30) \times \%N$$

Die ungefähren PRE16-Werte für eine mittlere Legierungszusammensetzung sind aus Tabelle 7.2 (s. S. 131) ersichtlich.

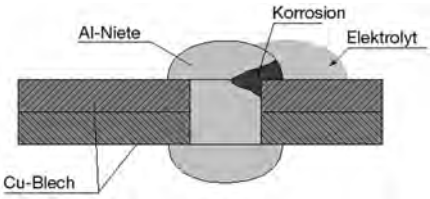
Am sichersten lässt sich Lochkorrosion durch kathodischen Schutz verhüten, wobei zwei Verfahren angewandt werden:
a) Prinzip der Opferanoden: Dabei tauchen Elektroden aus einem unedleren Metall, z.B. aus Magnesium (Mg) oder Zink (Zn), ins Medium. Diese Elektroden sind elektrisch mit dem Werkstoff, der geschützt werden soll, verbunden. Dabei entsteht ein galvanisches Element (Batterie) und das unedlere Metall geht in Lösung, d.h. die Opferanode löst sich mit der Zeit auf und muss ersetzt werden.
b) Prinzip der Fremdstromquelle: Aufdrücken eines elektrischen Stromes von einer fremden Gleichstromquelle, wobei der korrosionsbeständige Stahl an den negativen Pol der Stromquelle anzuschliessen ist. Gleichzeitig wird eine ins Medium getauchte, inerte Hilfselektrode aus Platin, Graphit oder dergleichen zugeschaltet. Diese Hilfselektroden dürfen selbstverständlich nicht mit dem zu schützenden Stahl in Berührung kommen.

2.2.4 Spaltkorrosion



Diese Korrosionsart erfolgt vorzugsweise in konstruktionsbedingten Spalten und Hohlräumen. Wenn eine Flüssigkeit einen schmalen Spalt zwischen zwei Materialwänden ausfüllt, wird die Lösung häufig zurückgehalten, d.h. Schlamm und Verunreinigungen setzen sich hier ab. Dies führt einerseits dazu, dass der für die Passivierung erforderliche Sauerstoff nicht mehr in genügendem Masse an die Stahloberfläche gelangen kann und sich andererseits korrosiv wirkende Stoffe anreichern können. Dies führt zwangsweise zu einem lokalen Angriff. Spaltkorrosion findet man unter Dichtungen, Schraubverbindungen, Krusten (z.B. Verkalkungen) usw.
Als Schutzmassnahme sollten spaltfreie Konstruktionen angestrebt oder die Spalten genügend geöffnet werden, um so den Sauerstoffzutritt zu erleichtern.
Sind Verkrustungen (z.B. Verkalkung) zu erwarten, so ist es zweckmässig, die betreffenden Teile zu polieren oder die Konstruktion so zu gestalten, dass eine Besichtigung und Reinigung dieser Partien möglich ist.

2.2.5 Kontaktkorrosion (galvanische Korrosion)



Diese Korrosionsart kann auftreten, wenn der Stahl mit einem anderen elektrisch leitenden Material (im allgemeinen Metall) in einem Elektrolyten in elektrisch leitender Verbindung steht. Es fliessen dabei galvanische Ströme durch den Elektrolyten. Je nach Stellung des Metalls in der elektrolytischen Spannungsreihe im Verhältnis zum korrosionsbeständigen Stahl nimmt die Widerstandsfähigkeit des Stahls zu oder ab.
Manche Elektrolyte können die korrosionsbeständigen Stähle in einen aktiven Zustand versetzen, indem sie die passive Schutzschicht durchstossen. Das Potential des Stahls wird dadurch vermindert und kann niedriger sein als das Potential des Kontaktmetalles.
Das Potential von Metallen und Legierungen kann sich verändern, je nach Konzentration und chemischer Zusammensetzung des Elektrolyten.
Für Verbindungen sollten deshalb artgleiche Werkstoffe verwendet werden. Ist dies aus verschiedenen Gründen nicht möglich, so sollte der edlere Werkstoff durch einen Farbanstrich oder mit einer Kunststoffbeschichtung versehen werden oder die beiden Metalle müssen elektrisch vollständig von einander isoliert werden.

© KOHLER 2021

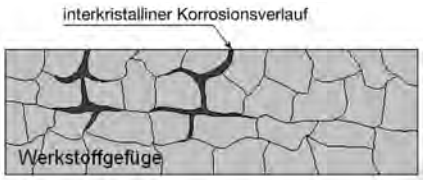
Die folgende Tabelle zeigt, welche Materialpaarungen (Materialien in direktem elektrischem Kontakt) unter welchen Bedingungen eingesetzt werden können:

	rostfreier Stahl	C-Stahl	Alu-Bronze	Phosphor-Bronze	Kupfer	Gusseisen	Aluminium	Zink
rostfreier Stahl	o	×	=	=	=	×	×	=
C-Stahl	×	o	×	×	×	=	×	×
Alu-Bronze	=	×	o	o	o	×	×	×
Phosphor-Bronze	=	×	o	o	o	×	×	×
Kupfer	=	×	o	o	o	×	×	×
Gusseisen	×	=	×	×	×	o	×	×
Aluminium	×	×	×	×	×	×	o	=
Zink	=	×	×	×	×	×	=	o

o Paarung kann unter allen Umständen verwendet werden
= Paarung kann unter **trockenen** Bedingungen verwendet werden
× Paarung soll nicht verwendet werden

Austenitische, korrosionsbeständige Stähle können ohne Gefahr miteinander verwendet werden (z.B. 1.4301 und 1.4435).

2.2.6 Interkristalline Korrosion (Korngrenzenkorrosion, Kornzerfall)

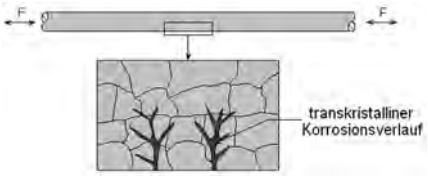


Interkristalline Korrosion ist bei austenitischen und ferritischen Stählen ein bekanntes Problem. Wird ein Stahl längere Zeit auf Temperaturen zwischen ca. 500 und ca. 900°C (austenitische Stähle) resp. auf über 1000°C (ferritische Stähle) gehalten, z.B. während einer Wärmebehandlung oder beim Schweissen, so können sich auf den Korngrenzen Chromkarbide ausscheiden. Dadurch wird der Umgebung das für den Korrosionsschutz wichtige Chrom entzogen, d.h. der Korngrenzenbereich verarmt an Chrom und die Korrosionsbeständigkeit dieser Bereiche sinkt. Eine allfällige Korrosion breitet sich deshalb entlang den Korngrenzen aus und bewirkt so eine Zerstörung des Gefüges.

Massnahmen zur Verhinderung dieser Korrosionsart:

1. Absenken des Kohlenstoffgehaltes auf unter 0,03 % (z. B. 1.4306/07 oder 1.4404/32/35) da die Bildung von Karbiden durch die Menge des zur Verfügung stehenden Kohlenstoffs beeinflusst wird.
2. Stabilisieren / Abbinden des Kohlenstoffes durch stark karbidbildende Legierungselemente wie Niob oder Titan (1.4541 resp. 1.4571). Diese Methode wurde v.a. früher angewendet, als die Techniken zum Absenken des Kohlenstoffs noch nicht so ausgereift waren. Sinnvoll ist der Einsatz dieser stabilisierten Werkstoffe heute nur noch bei höheren Betriebstemperaturen ab ca. 300°C. Bei tieferen Betriebstemperaturen werden die tiefgekohlten Werkstoffe (s. Punkt 1) bevorzugt. In Deutschland sind diese Werkstoffe aus traditionellen Gründen noch weit verbreitet.
3. Rekristallisationsglühen bei Temperaturen über 1050 °C (austenitische Stähle) resp. zwischen 750 und 850 °C (ferritische Stähle), gefolgt von einer raschen Abkühlung. Dadurch werden die Karbide wieder aufgelöst und die Empfindlichkeit gegen Korngrenzenangriffe wird behoben.

2.2.7 Spannungsrisskorrosion (SRK)



Für das Entstehen von Spannungsrisskorrosion müssen immer die folgenden 3 Faktoren vorhanden sein:

1. Zugspannungen,
2. ein aggressives Medium und
3. ein auf SRK empfindlicher Werkstoff.

SRK wird von inneren oder äusserlich aufgebrachten Zugspannungen ausgelöst. Druckspannungen wirken dieser Korrosionsart entgegen. SRK kann selbst an Stählen auftreten, die ohne Zugspannungen gegen das betreffende Medium resistent sind. Sie führt zur Bildung von Rissen, die etwa normal zur Spannungsrichtung verlaufen und die von blossem Auge oft nur schwer erkennbar sind. Da sie immer an Teilen auftritt, die unter Zuglast stehen, kann sie zu einem katastrophalen Versagen der betroffenen Teile führen (z.B. Hallenbad Uster).
Die austenitischen Standard-Stähle sind gegen diese Korrosionsart sehr empfindlich, bei ferritischen- und ferritisch-austenitischen Stählen ist sie jedoch eher ungewöhnlich.
Angriffsmedien, die diese Art von Korrosion häufig verursachen, sind chlorhaltige oder alkalische Lösungen. Auch Wasser und Wasserdampf können in bestimmten Fällen zu Spannungsrisskorrosion bei Austeniten führen. Mit steigender Chloridionenkonzentration nimmt die Anfälligkeit zu, bei hohen Temperaturen können bereits geringe Chloridgehalte zu Schäden führen.
Um Spannungsrisskorrosion zu vermeiden, sind kaltverformte oder geschweisste Werkstücke zu glühen, um die eingebrachten Spannungen abzubauen. Die einfachen, d.h. nicht stabilisierten, Cr-Ni-Stähle werden dazu auf über 900°C erhitzt. Bei tieferen Glühtemperaturen besteht die Gefahr von interkristalliner Korrosion. Bei niob- oder titanstabilisierten Stählen oder solchen, die einen besonders niedrigen C-Gehalt aufweisen, empfiehlt sich ein Entspannen bei 900°C und langsames Abkühlen. Die beste Methode ist ein Lösungsglühen bei 1050°C mit anschliessender Wasserabschreckung. Bei hochlegierten Cr-Ni-Mo-Stählen (Mo 4.5 resp. 6 %) wird die SRK-Beständigkeit durch eine Verformung bis ca. 30 % nur unwesentlich beeinflusst.
Im Baugewerbe, wo nebst höchster Korrosionsbeständigkeit auch eine hohe Festigkeit der Werkstoffe gefordert wird, die jedoch nur durch eine Kaltverfestigung erreicht werden kann, haben die Stähle 1.4539 (904L) und 1.4547 (254SMO) die besten Resultate gezeigt.

2.2.8 Korrosionsermüdung

Korrosionsermüdung ist eine mechanische Ermüdung, die durch Korrosion beschleunigt wird. Wird der Werkstoff im Kontakt mit einem korrosiven Medium einer Wechselbelastung (z.B. Vibrationen) ausgesetzt, so bricht die dünne

© KOHLER 2021

Passivschicht immer wieder auf. Sie kann sich nicht erneuern oder stabilisieren, und dem Medium wird dadurch Zutritt zur ungeschützten Metallstruktur gewährt.
Diese Art von Korrosion wird häufig beobachtet an Wärmeaustauschern, Rührwerkwellen, Pumpenwellen und in Rohrleitungen, die in Verbindung mit einer Pumpe, die Vibrationen verursacht, stehen. Durch Einsetzen eines Rohrstücks aus Gummi zwischen Pumpe und Rohrsystem können die Vibration eliminiert und das Problem sicher gelöst werden.

2.2.9 Erosionskorrosion

Diese Art von Korrosion entsteht durch einen gemeinsamen Angriff von Erosion und Korrosion. Flüssigkeiten oder Gase, die normalerweise einen Stahl nicht angreifen, können bei hoher Strömungsgeschwindigkeit (Strömungswirbel) starke Angriffe verursachen. Der Angriff wird verstärkt, wenn das strömende Medium noch zusätzlich abrasive Feststoffe enthält. Dabei entstehen charakteristische, hufeisenförmige Vertiefungen, die in der Strömungsrichtung ausgekerbt sind und eine blanke Oberfläche ohne Korrosionspunkte aufweisen. Der Angriff kann stark von der Temperatur des durchfliessenden Mediums abhängig sein.
Diese Korrosionsart kann bekämpft oder vermieden werden, indem die gefährdeten Stellen so gestaltet werden, dass eine Wirbelbildung oder Stosswirkung vermindert wird. Eine mässige Strömungsgeschwindigkeit von 1 bis 2 m/s ist zweckmässig. Kann man diesen Punkten nicht gerecht werden, so ist anstelle eines austenitischen Werkstoffes ein Stahl mit höherer Abriebfestigkeit, z. B. ein ferritisch-austenitischer Duplexstahl, zu wählen.

2.2.10 Fremdrost

Diese Korrosionsart kann ihre Ursache in einer nicht vollständig entzunderten Oberfläche (Schweissnähte!) oder in Eisenablagerungen auf der Edelstahl-Oberfläche haben. Auf das Thema der fachgerechten Nachbearbeitung von Schweissnähten wird im Kapitel 5.5.5 näher eingegangen.

Die Herkunft von Eisenablagerungen ist oft schwierig festzustellen. Mögliche Ursachen können sein:
- Kontakt mit normalem Stahl bei der Lagerung oder beim Transport (z.B. Stahlbänder)
- ungenügende «Schwarz/Weiss» Trennung bei der Verarbeitung oder auf der Baustelle
- Umweltbelastung (z.B. Bremsstaub vom Schienenverkehr)

Je nach Stärke des Befalls muss der Edelstahl gereinigt werden. Dies kann geschehen mittels spezieller Reinigungsmittel (s. S. 140/141) oder in hartnäckigen Fällen durch Abschleifen oder Nachbeizen (Verfahrens- und Umweltvorschriften beachten!). Normalerweise wird der Edelstahl durch Fremdrost nicht beeinträchtigt. Bei starkem oder lange nicht entferntem Befall kann jedoch das Grundmaterial beeinträchtigt werden.

2.3 Passivität oder «Was macht Edelstahl korrosionsbeständig?»

An feuchter Luft oder in sauerstoffhaltigem Wasser reagiert eine ungeschützte Oberfläche eines niedriglegierten Stahles sehr rasch, d.h. sie rostet. Rost besteht aus einer heterogenen Mischung von Eisenoxiden und -hydroxiden. Da diese Schicht sauerstoff- und feuchtigkeitsdurchlässig ist, können die zuerst entstehenden Hydroxide zu Eisenoxiden weiterreagieren. Auch die unter der Rostschicht liegende Stahloberfläche kann weiter rosten, solange bis alles verfügbare elementare Eisen in Eisenhydroxid oder -oxid umgewandelt ist. Rostschichten sind zudem spröde und schlecht haftend, d.h. sie blättern leicht ab.
Die korrosionsbeständigen Stähle verdanken ihre Beständigkeit v.a. dem Legierungselement Chrom. Die Chromatome in der Stahloberfläche reagieren mit dem Luftsauerstoff zu Chromoxid. Das Chromoxid bildet auf der Oberfläche eine ca. 0.001 – 0.01 µm dicke Schicht (Dicke eines menschlichen Haars: ca. 0.05 mm!), die gegenüber einer Rostschicht festhaftend, chemisch sehr beständig und dicht ist. Die Schicht ist nicht nur sehr dehnbar, sondern beim Vorhandensein von Sauerstoff und sauberer Oberfläche selbstbildend und selbstheilend. Unter geeigneten Bedingungen hat die Schicht nach ca. 24 h etwa 80 % ihrer Enddicke erreicht. In diesem Zustand wird der Stahl als passiv bezeichnet. Durch Passivieren (Tauchen in Salpetersäure) kann die Passivschicht noch künstlich verstärkt werden, analog zu Eloxieren bei Aluminium. Die Chromoxidschicht hat zudem die Funktion einer Trennwand zwischen Medium und Stahl.
In sauerstofffreier Umgebung tritt keine (Neu-) Bildung der Passivschicht auf, d.h. der Stahl verharrt im aktiven Zustand; die Korrosionsrate ist von der Auflösungsgeschwindigkeit im entsprechenden Medium abhängig. Die Auflösungsgeschwindigkeit wird durch zulegierte Metalle (Nickel, Molybdän, Kupfer) herabgesetzt.

2.4 Korrosionsdaten

Bereits in Kap. 2.1 wurde darauf hingewiesen, dass die Korrosionsgeschwindigkeit unter Umständen stark von der Konzentration des Mediums, der Temperatur und allfälligen Verunreinigungen abhängen kann. Da punktweise Daten, z.B. bei Raum- und Siedetemperatur, zu einer krassen Fehlbeurteilung führen können und vollständige Daten (Isokorrosionskurven) sehr umfangreich sind, verzichten wir bewusst auf die Publikation von Korrosionsdaten.
Unsere Materialspezialisten unterstützen Sie jedoch gerne, falls Sie bei der Planung, Beschaffung oder im Falle eines Schadens mit Korrosionsproblemen konfrontiert werden sollten. Eine sorgfältige, vorgängige Beschaffung der im folgenden Kapitel aufgeführten Informationen ist für eine speditive Beantwortung Ihrer Fragen jedoch unumgänglich.

2.5 Für Abklärungen benötigte Informationen

2.5.1 Planung, Beschaffung

- Mit welchen Medien kommt das Material in Kontakt? (Betriebs-, Reinigungsmedien, Verunreinigungen)
- In welchen Konzentrationen liegen diese Kontaktmedien vor?
- Welches ist die zu erwartende Betriebs- resp. Maximaltemperatur?
- Gibt es noch andere, die Korrosion beeinflussende Faktoren?

2.5.2 Schadenfall

Leider können trotz allen Vorkehrungen Schadenfälle nicht ausgeschlossen werden. Zur Abklärung eines Schadenfalles sind, zusätzlich zu den unter Kap. 2.5.1. aufgeführten Informationen noch folgende Angaben wichtig:

© KOHLER 2021

- Werkstoffnummer, -bezeichnung
- Wurde der Werkstoff einer Wärmebehandlung unterworfen?
- Auftrags-, Lieferschein-, Rechnungs- oder Chargennummer
- Besteht die Möglichkeit, dass kontaminierte Luft angesogen wurde (z.B. Lösungsmittel, Streusalz-Aerosole im Winter, chloridhaltiger Abrieb von Holzzementböden, halogenidhaltige Dämpfe von Betriebsmitteln) oder dass das Material mit Stoffen in Berührung kam, die bei der Planung nicht vorgesehen oder berücksichtigt wurden, z.B. Reinigungs- oder Desinfektionsmittel?

3 EINTEILUNG DER KORROSIONSBESTÄNDIGEN STÄHLE

3.1 Allgemeines

Für die Einteilung der korrosionsbeständigen Stähle gibt es verschiedene Kriterien, entsprechend vielfältig sind die Bezeichnungen:

a) mikroskopischer Aufbau (Gefüge)
- ferritische Stähle
- martensitische Stähle
- austenitische Stähle
- ferritisch-austenitische Stähle oder Duplex-Stähle
- ausscheidungshärtbare oder dispersionshärtbare Stähle

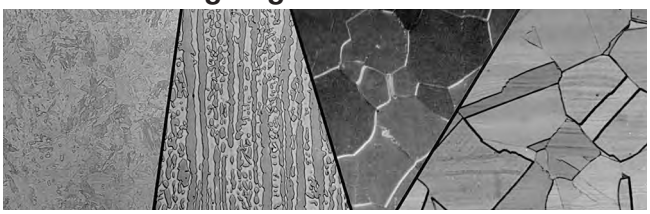
b) chemische Zusammensetzung (Legierung)
- austenitische Chrom-Nickel-Stähle (V2A-Stähle, Cr-Ni-Stähle, AISI 300er-Serie)
- austenitische Chrom-Nickel-Molybdän-Stähle (V4A-Stähle, Cr-Ni-Mo-Stähle, AISI 300er-Serie)
- austenitische Chrom-Mangan(-Nickel)-Stähle (AISI 200er-Serie)
- ferritische und martensitische Chromstähle (AISI 400er-Serie)
- Stickstoff-legierte Stähle
- Titan- oder Niob-stabilisierte Stähle

c) Verwendungszweck, Einsatzbereich, Eigenschaften
- hitzebeständige Stähle
- kaltzähe Stähle
- kriechfeste Stähle
- nicht magnetisierbare Stähle
- härtbare Stähle
- hochsäurebeständige Stähle
- Stähle mit verbesserter Zerspanbarkeit (Automatenstähle)

Da sich diese Einteilungen häufig überschneiden, wird **in der Praxis meist die folgende Einteilung gemacht:**
- ferritische Stähle
- martensitische Stähle
- austenitische Stähle
  - austenitische Chrom-Nickel-Stähle (V2A)
  - austenitische Chrom-Nickel-Molybdän-Stähle (V4A)
- Superaustenite oder hochsäurebeständige Stähle
- ferritisch-austenitische Stähle oder Duplex-Stähle
- hitzebeständige Stähle
- warmfeste Stähle

Detaillierte Angaben wie chemische Zusammensetzung, mechanische und physikalische Eigenschaften sind in Kapitel 7 zu finden.

3.2 Edelstahlgefüge



Martensit **Duplex** **Ferrit** **Austenit**

3.2.1 Ferrit
Das ferritische Gefüge besteht aus mehr oder weniger isometrischen (kugeligen) Körnern mit deutlich erkennbaren Korngrenzen.
Ferrit kann nur sehr wenig Kohlenstoff aufnehmen, dafür aber grössere Mengen anderer Legierungselemente wie Chrom (Cr), Nickel (Ni) und Mangan (Mn), die seine Eigenschaften, wie z.B. Korrosionsbeständigkeit, beeinflussen.

3.2.2 Martensit
Das martensitische Gefüge ist ein feinnadeliges, strukturloses und sprödes Härtegefüge, i.a. ohne klar erkennbare Korngrenzen. Es entsteht durch rasches Abkühlen eines austenitischen Gefüges (Gefügeumwandlung). Die Abkühlung muss dabei so rasch erfolgen, dass der im austenitischen Ausgangsgefüge gelöste Kohlenstoff keine Zeit findet, das Eisengitter zu verlassen und somit das Gefüge verspannt. Dieses verspannte Härtegefüge weist eine hohe Härte, aber auch eine hohe Sprödigkeit auf, so dass es praktisch nicht verwendbar ist. Zum Abbau dieser Sprödigkeit muss das Gefüge erneut erwärmt (angelassen) werden und es entsteht ein Anlassgefüge. Durch das Anlassen können die mechanischen Eigenschaften (Festigkeit, Härte, Zähigkeit etc.) in bestimmten Bereichen eingestellt werden.

3.2.3 Austenit
Das charakteristische an einem austenitischen Gefüge sind die ausgeprägten, teilweise geradlinig und parallel verlaufenden Korngrenzen. Durch entsprechende Legierungsgehalte von Ni und Mn ist dieses Gefüge auch bei Raumtemperatur stabil. Austenitische Gefüge sind unmagnetisch (im Gegensatz zu den ferritischen und martensitischen), zäh und nur durch Kaltverfestigung (Kaltverformung) «härtbar».

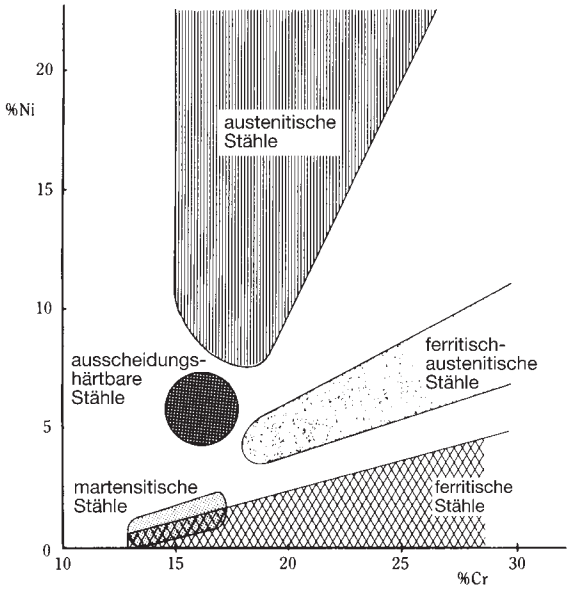
3.2.4 Duplex
Das Duplexgefüge besteht aus zwei klar erkennbaren Bestandteilen (Phasen), nämlich zu je etwa 50 % aus einer ferritischen und einer austenitischen. Entsprechend vereint dieses Gefüge viele der positiven Eigenschaften beider Gefügebestandteile.

3.2.5 Ausscheidungs- oder dispersionsgehärtete Gefüge
Ausscheidungshärtbare Stähle enthalten geringe Mengen spezieller Legierungselemente wie z.B. Kupfer (Cu) und Niob (Nb). Durch Lösungsglühen werden alle Legierungselemente im Eisengefüge gelöst. Durch anschliessendes, rasches Abkühlen bleiben diese Elemente gelöst, d.h. es entsteht ein metastabiler Zustand. Da der Stahl jedoch einen stabilen Zustand anstrebt, scheiden sich die zwangsgelösten Elemente im Laufe der Zeit aus und bilden im Gefüge feine, gleichmässig verteilte Ausscheidungen, die eine Erhöhung der Festigkeit bewirken. Durch eine entsprechende Wärmebehandlung (Auslagern, Aushärten) kann dieser Ausscheidungsvorgang beschleunigt und gezielt beeinflusst werden. Ausscheidungshärtbare Stähle weisen ein austenitisches, martensitisches oder austenitisch-martensitisches Gefüge auf.

© KOHLER 2021

3.3 Die wichtigsten Legierungselemente und ihr Einfluss auf die Eigenschaften des Stahls

Das Gefüge, d.h. die mikroskopische Struktur der Stähle, wird einerseits durch die chemische Zusammensetzung (Legierung) und andererseits durch eine allfällige Wärmebehandlung massgeblich beeinflusst. Die Wirkung der wichtigsten Legierungselemente für korrosionsbeständige Edelstähle ist im folgenden kurz zusammengefasst. Der Einfluss der Austenit resp. Ferrit bildenden Elemente auf die Ausbildung des Gefüges kann aus dem Schaeffler-Diagramm (s. Kap. 7.7) und aus untenstehender Grafik herausgelesen werden.



Einteilung der korrosionsbeständigen Stähle aufgrund ihres Chrom- und Nickelgehaltes

3.3.1 Chrom (Cr)

Die korrosionsbeständigen Stähle verdanken ihre Beständigkeit v.a. dem Legierungselement Cr, welches auf der Stahloberfläche eine dichte, beständige und fest haftende Oxid- oder Passivschicht bildet (s.a. Kapitel 2.3). Ab einem Cr-Gehalt von mind. 10.5 % spricht man von korrosionsbeständigen Stählen. Cr erhöht zudem die Festigkeit des Stahls spürbar ohne die Dehnbarkeit wesentlich zu verschlechtern. Zudem werden Warmfestigkeit und Zunderbeständigkeit markant verbessert.

3.3.2 Kohlenstoff (C)

Mit steigendem C-Gehalt steigt die Festigkeit des Stahls sowie die Härtbarkeit bei den martensitischen Stählen. Dagegen nehmen Schweiss-, Dehn-, Schmied- und Bearbeitbarkeit ab. Cr bildet zusammen mit C leicht Karbide. Um zu verhindern, dass dem Gefüge durch die Karbidbildung Cr entzogen und dadurch die Korrosionsbeständigkeit lokal reduziert wird, muss der C-Gehalt in korrosionsbeständigen Stählen tief gehalten werden oder es muss durch Stabilisierungselemente, d.h. Elemente die noch leichter Karbide bilden als Cr, die Bildung von Cr-Karbiden verhindert werden.
C fördert die Austenitbildung.

3.3.3 Nickel (Ni)

Ni verbessert die Beständigkeit gegen allgemeine Korrosion und Verzunderung sowie die Kerbschlagzähigkeit bei tiefen Temperaturen. Zudem erhöht es die Festigkeit, v.a. die Warm- und Dauerfestigkeit auf Kosten der Zerspan- und Verformbarkeit. Ni ist ein Austenitbildner.

3.3.4 Molybdän (Mo)

Mo verbessert die Korrosionsbeständigkeit, insbesondere die Lochfrassbeständigkeit in chloridhaltigen Lösungen, schon bei Gehalten von wenigen Prozenten ganz erheblich. Auf die mechanischen Eigenschaften wirkt es sich gleich aus wie Ni. Mo ist ein Ferritbildner.

3.3.5 Kupfer (Cu)

Cu erhöht schon ab Konzentrationen von 1.5 % die Beständigkeit des Stahls gegen reduzierende Säuren wie z.B. Schwefelsäure.

3.3.6 Silizium (Si), Aluminium (Al)

Si und Al sind Ferritbildner. Sie erhöhen insbesondere bei den ferritischen Stählen (Edelstähle mit relativ niedrigem C-Gehalt) die Zunderbeständigkeit, d.h. sie erhöhen die Verzunderungstemperatur.

3.3.7 Titan (Ti), Niob (Nb)

Ti und Nb werden den ferritischen und austenitischen Stählen als sogenannte Stabilisierungselemente zulegiert. Sie bilden leichter Karbide als Cr. Dadurch verhindern sie die Bildung von Cr-Karbiden auf den Korngrenzen und führen insbesondere in Schweissnähten zu einer Verbesserung der Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion. Allerdings werden die Zerspanbarkeit und die Polierbarkeit etwas reduziert.

3.3.8 Mangan (Mn)

Mn erhöht die Festigkeit sowie die Verschleissfestigkeit der Stähle.

3.3.9 Schwefel (S)

S ist als nichtmetallisches Element eigentlich eine Verunreinigung im Stahl, die verschiedene Stahleigenschaften wie Korrosionsbeständigkeit, Zähigkeit, Verform-, Polier-, Schweiss- und Schmiedbarkeit negativ beeinflusst. Normalerweise wird der S-Gehalt im Stahl so tief wie möglich gehalten. Bei den korrosionsbeständigen Automatenstählen wird S bis 0.35 % bewusst zulegiert. Die sich bildenden Mangansulfide verbessern die Zerspanbarkeit markant. Da speziell bei den korrosionsbeständigen Stählen eine Verschlechterung der Korrosionsbeständigkeit sehr unerwünscht ist, legieren verschiedene Werke ihren korrosionsbeständigen Automatenstählen ein Calcium-Silizium-Pulver zu, das die gleichen spanbrechenden Eigenschaften ergibt wie das Zulegieren von S ohne allerdings die Korrosionsbeständigkeit zu beeinflussen. Die entsprechenden Stähle sind unter verschiedenen Werksbezeichnungen wie z.B. als **PRODEC-** oder **VALIMA-Stähle** verfügbar (s. Kap. 5.3.4).
Gemäss europäischer Norm EN 10088 gilt für Stäbe, Walzdraht, Profile und das entsprechende Halbzeug ein Höchstgehalt für Schwefel von 0.030 % und für Bleche von 0.015 %. Für alle zu bearbeitenden Erzeugnisse wird ein geregelter Schwefelgehalt von 0.015 bis 0.030 % empfohlen und ist zulässig.

3.3.10 Stickstoff (N)

N stabilisiert das austenitische Gefüge etwa gleich stark wie C und verbessert die Festigkeitseigenschaften, allerdings auf Kosten der Zähigkeit. N wird zur Steigerung der Festigkeit speziell bei Stählen mit tiefem C-Gehalt zulegiert wie z. B. in 1.4311 und 1.4429. N verbessert zudem die Korrosionsbeständigkeit von Austeniten und Duplex-Stählen gegenüber chloridhaltigen Medien.

© KOHLER 2021

3.4 Eigenschaften der korrosionsbeständigen Stähle

Detaillierte Angaben zu den einzelnen Legierungen und Stahlgruppen finden Sie in Kapitel 7, ab Seite 129.

3.4.1 ferritische Stähle

Eigenschaften:
Diese Werkstoffe bleiben bei allen Temperaturen ferritisch. Dies wird durch einen geringen Anteil an austenitbildenden Legierungselementen wie Ni und einen hohen Anteil an Ferritbildnern, vor allem Cr, erreicht. Ihre Eigenschaften sind: hohe Streckgrenze, hohe Dehnbarkeit, gute Tiefzieheigenschaften und gute Schweissbarkeit. Ihre Festigkeit kann durch Kaltverformen bis zu einem gewissen Grad erhöht werden. Im Vergleich mit austenitischen Stählen weisen sie eine geringere Festigkeit und Duktilität (Verformbarkeit) auf. Verglichen mit den austenitischen Stählen haben die ferritischen eine schlechtere Beständigkeit gegen Lochfrasskorrosion dafür sind sie beständiger gegen Spannungsrisskorrosion. Gebräuchliche ferritische Stähle sind vergleichsweise billig.

Anwendungen:
Die einfacheren ferritischen Stähle (1.4016 u.ä.) werden vorzugsweise für Haushaltsgeräte wie Kochtöpfe, Haushaltmaschinen und Spültische eingesetzt, bei denen keine hohen Ansprüche an die Korrosionsbeständigkeit gestellt werden. Weitere Anwendungen sind Abdeckungen für Innenanwendungen und Schutzbleche. Ferritische Stähle mit sehr niedrigem Kohlen- und Stickstoffgehalt haben ihren grössten Anwendungsbereich für Einsatzbedingungen, unter denen Spannungsrisskorrosion auftreten kann. Stähle mit sehr hohem Chromgehalt, z.B. 25 % Cr, kommen auch bei hohen Temperaturen zum Einsatz, da sie eine ausgeprägte Beständigkeit gegen schwefelhaltige Rauchgase aufweisen.

3.4.2 martensitische Stähle

Eigenschaften:
Wegen ihres vergleichsweise hohen Kohlenstoffgehaltes kann ihre Festigkeit und Härte durch eine entsprechende Wärmebehandlung in bestimmten Grenzen verändert, resp. den Anforderungen angepasst werden. Es sind Zugfestigkeiten bis über 1300 N/mm^2 erreichbar. Der relativ hohe Kohlenstoffgehalt reduziert jedoch die Korrosionsbeständigkeit, zudem sind diese Stähle schlecht verform- und schweissbar.
Diese Stähle weisen einen C-Gehalt von 0.1 – 1.2 % und einen Cr-Gehalt von 12 – 18 % auf. Ein Teil dieser Stähle ist zusätzlich noch mit 0.5 – 2.5 % Ni und bis zu 1.2 % Mo legiert.
Mit steigendem C-Gehalt steigt die erreichbare Härte (0.1 % C → ca. 40 HRC, 0.9 % C → ca. 58 HRC).

Anwendungen:
Diese Stähle werden hauptsächlich für mechanisch hochbeanspruchte Konstruktionsteile wie Verbindungselemente, Pumpenwellen, Turbinenschaufeln und Ventilspindeln sowie für gehärtete Werkzeuge und Schneidwaren mit erhöhter Beständigkeit gegen oxidierende Säuren eingesetzt.

3.4.3 austenitische CrNi-Stähle («V2A»)

Eigenschaften:
CrNi-legierte austenitische Werkstoffe haben eine gute allgemeine Korrosionsbeständigkeit, eine gute Zähigkeit bei niedriger Dehngrenze und eine gute Sprödbruchsicherheit auch bei tiefen Temperaturen. Ihre Festigkeit kann durch Kaltverformen in gewissen Grenzen erhöht werden, allerdings werden sie dadurch leicht magnetisch und ihre Korrosionsbeständigkeit sinkt. Zudem sind sie gut schweissbar. Langsames Abkühlen nach einer Wärmebehandlung oder nach dem Schweissen führt jedoch im kritischen Temperaturbereich von 500–900 °C zur Ausscheidung von Chromkarbiden auf den Korngrenzen (s.a. Kapitel 2.2.6 «Interkristalline Korrosion»).

Anwendungen:
Diese Werkstoffe werden vorwiegend bei geschweissten Applikationen im Bereich von säure- und chloridfreien Medien eingesetzt wie z.B. in der Nahrungsmittelindustrie, für Haushaltgeräte und für Waschmaschinen. Daneben finden sie in zunehmendem Masse Verwendung in der Innen- und Aussenarchitektur.

3.4.4 austenitische CrNiMo-Stähle («V4A»)

Eigenschaften:
Mit zunehmendem Molybdängehalt wird die Korrosionsbeständigkeit der Werkstoffe stark verbessert. Damit das Gefüge jedoch austenitisch bleibt (Mo ist ein Ferritbildner), muss der Ni-Gehalt auf mindestens 10.5 % erhöht werden. Durch das Zulegieren von Molybdän wird die Beständigkeit wesentlich verbessert, insbesondere gegen Lochkorrosion in chloridhaltiger Umgebung sowie in reduzierenden Säuren. In Salpetersäure und nitrosen Gasen sind Mo-Zusätze eher ungünstig.
Diese Stähle weisen eine sehr hohe Dehnbarkeit und Zähigkeit auf bei eher niedrigen Festigkeitswerten. Sie sind auch bei tiefen Temperaturen sprödbruchsicher und gut schweissbar.

Anwendungen:
Die Werkstoffe 1.4404, 1.4432 und 1.4435 sind im Kontakt mit weichem Wasser, reduzierenden Säuren und mit Medien, deren Zusammensetzung und Aggressivität nur geschätzt, aber nicht mit Sicherheit festgestellt werden können, die am häufigsten eingesetzten Stähle. In stark chloridhaltigen Medien müssen jedoch vielfach höher legierte Werkstoffe (Superaustenite) eingesetzt werden.
Die hauptsächliche Anwendung dieser Stähle liegt in der chemischen und pharmazeutischen Industrie, bei der Wasseraufbereitung, in der Zellstoff- und Gummiindustrie sowie im Schwimmbadbau.

3.4.5 Superaustenite

Eigenschaften:
Superaustenite sind hochlegiert mit Cr, Ni, N und insbesondere Mo. Der PRE-Wert ist > 40. Ihre hohe Beständigkeit gegen allgemeine Korrosion, besonders in Säuren die Halogenide (Chloride, Bromide, Jodide oder Fluoride) enthalten, übertrifft herkömmliche korrosionsbeständige Stähle. Unter diesen Betriebsbedingungen sind den normalen korrosionsbeständigen Stählen enge Grenzen gesetzt. In solchen Fällen musste bisher oft auf teure Nickelbasislegierungen oder Titan ausgewichen werden. Superaustenite sind jedoch kostengünstige Alternativen und können in vielen Fällen den beständigsten Nickelbasislegierungen und Titan gleichgestellt werden.

Anwendungen:
Diese Werkstoffe wurden für höchste Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit entwickelt. Sie werden daher unter schwierigsten Korrosionsbedingungen in der Chemie, Pharmazie und in Kontakt mit Meerwasser (Meerwasserentsalzung, Offshore) eingesetzt, wo sie sich seit Jahren bewähren.

© KOHLER 2021

3.4.6 Duplexstähle

Eigenschaften:

Duplexstähle haben viele der positiven Eigenschaften ferritischer und austenitischer Stähle in sich vereint. Durch den hohen Cr- und Mo-Gehalt weisen diese Stähle eine hohe Beständigkeit gegen Loch- und Spaltkorrosion in Schwefelwasserstoffhaltigen Medien (z.B. Luftraum in Jauchebehältern) auf. Zudem weisen sie eine hohe mechanische Festigkeit sowie eine hohe Beständigkeit gegen Korrosionsermüdung, Erosion und Verschleiss auf. Im Vergleich mit austenitischen Stählen weisen Duplexstähle eine gute Beständigkeit gegen Spannungsrisskorrosion auf.

Duplexstähle sind anfällig für intermetallische Ausscheidungen. Im Bereich von 350–525 °C muss mit der 475 °C-Versprödung gerechnet werden, während sich die Sigmaphase im Bereich von 700–975 °C bilden kann. Bei normalen Schweiss- und Wärmebehandlungsvorgängen besteht jedoch keine Versprödungsgefahr. Diese Stähle dürfen nicht über längere Zeit Temperaturen oberhalb 250 °C ausgesetzt werden.

Anwendungen:

Diese Stähle werden eingesetzt, wenn gute mechanische Eigenschaften in Kombination mit guten Korrosionseigenschaften gefordert werden, wie z.B. für Pumpenwellen, Maschinenteile, Offshore-Technik, Bauindustrie und Meerwasser-Entsalzung.

3.4.7 Zusammenfassung diverser Eigenschaften

Gefüge	härtbar	magnetisierbar	schweissbar
ferritisch	–	ja	ja
martensitisch	ja	ja	3)
austenitisch	1)	2)	ja
superaustenitisch	–	–	ja
Duplex	–	ja	ja

1) nur über Kaltverformung möglich
2) kann bei starker Kaltverformung leicht magnetisch werden
3) nur mit speziellen Massnahmen

3.4.8 hitzebeständige Stähle

Eigenschaften:

- gutes Oxidationsverhalten, speziell bei zyklischen Lastbedingungen
- hohe Verzunderungstemperatur
- relativ hohe Dehngrenze und Zugfestigkeit bei höheren Temperaturen
- hohe Zeitdehngrenze und Zeitstandfestigkeit
- gute Gefügestabilität
- gute Beständigkeit gegen Hochtemperaturkorrosion und Hochtemperaturerosion in mässig aggressiven Atmosphären

Die meisten Hochtemperaturlegierungen neigen nach der Erwärmung auf Temperaturen von 550–850 °C bei Raumtemperatur zur Versprödung. Die Ursache dafür ist das Ausscheiden von intermediären Phasen, wie Sigma-, Chi- und Lavesphasen. Um die Bildung dieser Phasen zu reduzieren, werden die Hochtemperatur-Legierungen von **Outokumpu** (153 MA, 253 MA, 353 MA) mit Silizium, Stickstoff und Cer legiert.

Beim Einsatz in hohen Temperaturen und im Kontakt mit heissen Gasen bildet sich eine dichte Oxidschicht an der Stahloberfläche. Die dichte Beschaffenheit ist besonders wichtig, damit die Oxidationsschicht gut haftet und eine weitere Oxidation verhindert wird.

Neben Cr und Ni werden diese neuen Werkstoffe mit Si, N und C legiert und zusätzlich mit geringen Mengen von seltenen Erden mikrolegiert. Dies führt zu einer beträchtlichen Steigerung der Oxidationsbeständigkeit, besonders unter zyklischen Lastbedingungen, sowie einer hohen Dauerdehngrenze und einer guten Schweissbarkeit. Aufgrund ihrer Zusammensetzung sind diese Werkstoffe in der Wärmeeinflusszone sowie im Schweissgut auf Warmrisse nicht empfindlich.

Infolge der besonderen Einsatzbedingungen müssen bei hitzebeständigen Stählen folgende Schädigungsmechanismen berücksichtigt werden:

Schwefelangriffe

S und S-Verbindungen sind oft in Rauchgasen sowie in verschiedenen Prozessgasen vorhanden und greifen hitzebeständige Legierungen an. In oxidierenden Umgebungen steigert ein hoher Cr- und Si-Gehalt die Beständigkeit einer Legierung gegen S-Angriffe. In reduzierender Atmosphäre, wo sich keine schützende Oxidschicht bilden kann, müssen Werkstoffe mit hohem Nickelgehalt vermieden werden. Dies gilt besonders für Legierungen mit einem Ni-Gehalt von >50 % und einem Cr-Gehalt <20 %. Bei Ni-haltigen Legierungen steigert ein Cr-Gehalt >25 % die Beständigkeit gegen S-Angriffe.

Kohlenstoffaufnahme

In kleinen Mengen können C sowie N die mechanischen Eigenschaften eines Werkstoffes verbessern. Eine übermässige Aufnahme dieser Elemente führt jedoch zu einer Verminderung der Oxidationsbeständigkeit und einer Versprödung des Werkstoffes. Dies ist auf die Ausscheidung von Cr-Karbiden und / oder Cr-Nitriden an den Korngrenzen zurückzuführen. Die daraus resultierende Cr-Verarmung des Gefüges verringert die Fähigkeit, die beschädigte Oxidschicht eines Werkstoffes zu regenerieren. Hitzebeständige Werkstoffe werden dadurch anfälliger auf die Einwirkungen von aggressiven Substanzen, speziell in wechselnd aufkohlenden und oxidierenden Atmosphären. Aufkohlungen können in Öfen bei der Wärmebehandlung von Werkstücken erfolgen, wenn diese mit Ölrückständen behaftet sind.

Stickstoffaufnahme

Die Gefahr einer N-Aufnahme ist besonders gross bei Öfen, die mit O_2-freien Schutzgasen (Ammoniakspaltgas oder N_2/H_2-Gemisch) bei hohen Temperaturen arbeiten. Durch Erhöhen des Ni-Gehaltes kann die Beständigkeit eines Werkstoffes gegen C- und N-Aufnahme verbessert werden. Der gleiche Effekt lässt sich aber auch durch Zugabe starker Oxidbildner wie Cr, Si und Al erzielen.

Nasskorrosion

Hitzebeständige Stähle sind aufgrund ihrer Zusammensetzung nur gegen Heissgaskorrosion beständig. Unter nass-chemischen Bedingungen neigen sie zu Sensibilisierung und interkristalliner Korrosion.

Anwendungen:

Die Gruppe der Hochtemperaturlegierungen umfasst Mo-freie Werkstoffe, die vorwiegend in gasförmigen Medien bei hohen Temperaturen eingesetzt werden, wie z.B. Ofenroste, Abgasleitungen, Chargiereinrichtungen, Hochtemperatur-Wärmetauscher.

3.4.9 korrosionsbeständige Stähle mit verbesserter Zerspanbarkeit (s. Kapitel 3.3.9 und 5.3.4.)

© KOHLER 2021

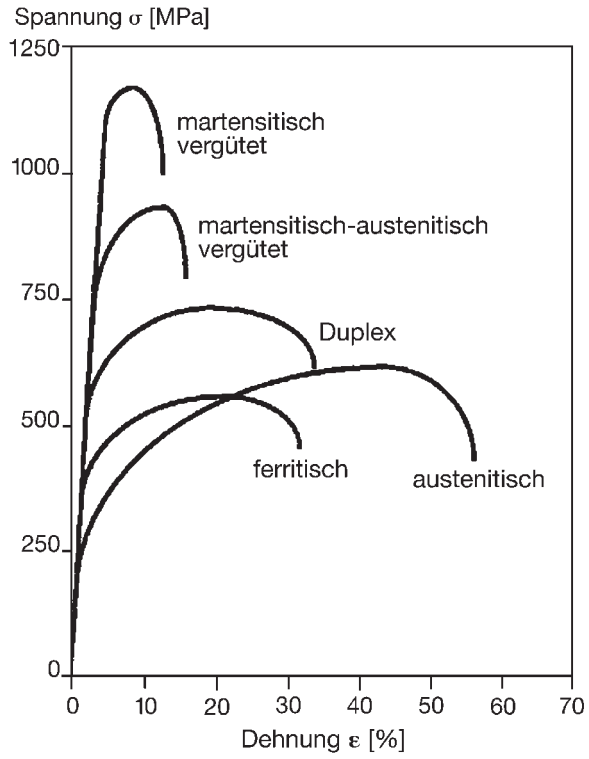
4 WERKSTOFFPRÜFUNG

(mechanische Werte und Berechnungshilfen zu den lieferbaren Werkstoffen s. Kapitel 7)

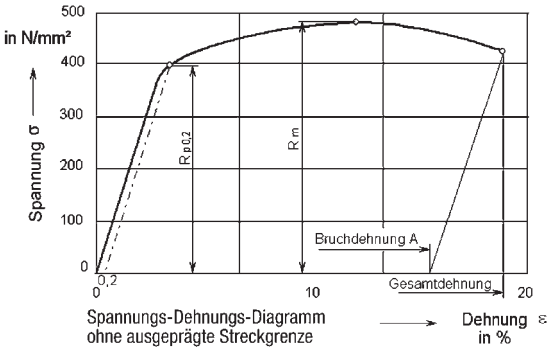
4.1 Mechanische (zerstörende) Prüfungen

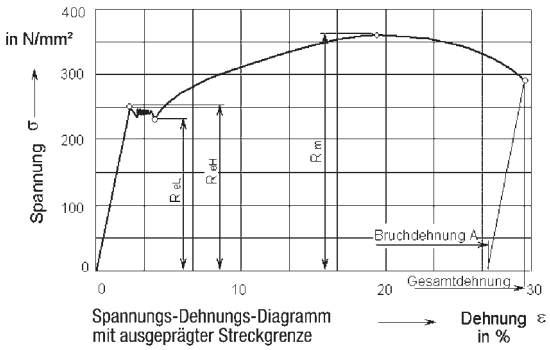
Mit diesen Prüfungen werden Materialkennwerte ermittelt, die einerseits für die Konstruktion benötigt werden und andererseits den Vergleich verschiedener Materialien untereinander bzgl. bestimmter Eigenschaften oder ihrer Eignung für eine bestimmte Anwendung ermöglicht. Die mit diesen Prüfungen ermittelten Werte sind in den meisten Fällen von der Temperatur, dem Wärmebehandlungszustand und den Prüfbedingungen abhängig. Für eine korrekte Angabe und die Vergleichbarkeit mit andern Werten ist deshalb die Angabe der Prüftemperatur, des Wärmebehandlungszustandes und der Prüfbedingungen, falls diese von den Standardbedingungen in den Normen abweichen, unerlässlich.

4.1.1 Zugversuch (EN ISO 6892, Teile 1 bis 3)
Der Zugversuch ermittelt das Verhalten des Werkstoffes bei einer einachsigen Zugbeanspruchung. Dabei wird eine genormte Zugprobe auf einer Prüfmaschine langsam bis zum Bruch gedehnt und das Spannungs-Dehnungsdiagramm (auch σ-ϵ-Diagramm genannt) aufgezeichnet. Dieses weist bei praktisch allen Stählen einen linearen Teil (elastische, reversible Verformung) und einen nichtlinearen Teil (plastische, nichtreversible Verformung) auf. Die folgende Grafik zeigt die für die verschiedenen Edelstahlarten typischen Spannungs-Dehnungskurven.



Spannungen [N/mm²]
Im technischen Bereich werden die aus der Zugkraft berechneten Spannungen (= angelegte Kraft dividiert durch Querschnittsfläche) immer auf den Ausgangsquerschnitt der Probe bezogen. Die heute gebräuchlichen Masseinheiten für Spannungen sind N/mm² oder MPa, (1 N/mm² = 1 MPa). Die wichtigsten mit diesem Versuch bestimmten Materialkennwerte sind:





© KOHLER 2021

Streckgrenze R_e / Dehngrenze R_p [N/mm²]
Beide Werte geben die beim Übergang von der elastischen zur plastischen Verformung gemessene Spannung an, d.h. beim Überschreiten dieser Spannung setzt eine bleibende Verformung ein. Diese Spannung wird auch Fliessgrenze genannt. Bei Druckspannungen ist auch der Begriff «Quetschspannung» gebräuchlich. Zum bleibenden Verformen eines Metalls (Biegen, Tiefziehen, Stauchen etc.) muss immer seine Fliessgrenze überschritten werden. Das Fliessen ist immer von einer Kaltverfestigung des Materials begleitet.
Die Streckgrenze Re wird bei nicht- oder niedriglegierten Stählen an der Stelle im Spannungs-Dehnungsdiagramm bestimmt, an der bei zunehmender Dehnung die Zugspannung zum ersten Mal gleich bleibt oder abfällt (s. S. 116, rechtes Diagramm).
Bei höher legierten Stählen wie den korrosionsbeständigen Stählen ist dieser Übergang nicht so deutlich ausgeprägt. Die Dehngrenze Rp wird deshalb bei einer bestimmten, nichtproportionalen Dehnung festgelegt, die vermerkt werden muss (s. S. 102, linkes Diagramm).

$R_{p0.2}$ plastische Dehnung 0.2 %
übliche Berechnungsgrundlage
$R_{p0.01}$ plastische Dehnung 0.01 %
technische Elastizitätsgrenze
$R_{p1.0}$ plastische Dehnung 1.0 %
wird häufig für austenitische Stähle verwendet

Zugfestigkeit R_m [N/mm²]
Die Zugfestigkeit ist die Spannung, die sich aus der auf den Anfangsquerschnitt bezogenen Höchstzugkraft ergibt.

Bruchdehnung A [%]
Die Bruchdehnung ist ein Mass für die Dehnfähigkeit (Duktilität) eines Werkstoffes. Die Zugprobe wird hierbei bis zum Bruch gezogen. Die Bruchdehnung ist definiert als Quotient aus der bleibenden Verlängerung beim Bruch bezogen auf die Ausgangslänge.
Je nach Produktform und Prüfnorm kommen unterschiedliche Zugproben zum Einsatz. In Europa werden im Regelfall Proportionalproben mit einer Messlänge $L_0 = 5{,}65 \sqrt{S_0}$ (S_0 = Probenquerschnitt) verwendet. Bei dünnen Blechen (Dicke t < 3 mm) sind nichtproportionale Proben mit einer Messlänge von 80 mm ($A_{80\,mm}$) zu verwenden. US-Amerikanische Normen wie ASTM A370 schreiben eine Messlänge von 2 inch (50 mm) vor ($A_{50\,mm}$).

Elastische Konstanten E, G, K, μ
Im elastischen (linearen) Bereich des Spannungs-Dehnungsdiagrammes gilt das Hook'sche Gesetz $\sigma = E \times \epsilon$. Dieses besagt, dass im elastischen Bereich die Dehnung ϵ proportional zur angelegten Spannung σ ist. Die entsprechende Proportionalitätskonstante heisst Elastizitätsmodul E oder kurz E-Modul. Der E-Modul ist ein Mass für den Widerstand, den ein Werkstoff seiner elastischen Verlängerung entgegensetzt. Bei korrosionsbeständigen austenitischen Stählen liegt der Wert für den E-Modul bei ca. 200 kN/mm².
Das Hook'sche Gesetz gilt auch bei Schub- und Druckbelastung innerhalb des elastischen Bereiches. Die entsprechenden Proportionalitätsfaktoren sind der Schubmodul G und der Kompressionsmodul K. G und K sind ein Mass für den Widerstand, den ein Werkstoff einer elastischen Abgleitung oder einer elastischen hydrostatischen Volumenänderung entgegensetzt.

Die 3 elastischen Konstanten sind über folgende Beziehungen miteinander verknüpft:

$$E = 2G(1+\mu)$$
$$E = 3K(1-2\mu)$$

μ wird als Querkontraktionszahl oder Poisson-Konstante bezeichnet. Für Edelstähle liegt μ im Bereich von 0.3.
Die im Zugversuch ermittelten Materialkennwerte können direkt zur Berechnung von Konstruktionen verwendet werden, während die im folgenden aufgeführten Kennwerte v.a. für den Vergleich verschiedener Werkstoffe dienen.

Brucheinschnürung Z [%]
Der gebrochene Zugstab zeigt in der Bruchebene eine mehr oder weniger starke Einschnürung (Querschnittsverringerung), je nach dem ob die Probe eher zäh oder spröde gebrochen ist. Die Brucheinschnürung Z ist gleich der Differenz aus Anfangs- und Bruchquerschnitt dividiert durch den Anfangsquerschnitt. Sie ist ein Mass für die Formänderungsfähigkeit des Materials.

Bruchzähigkeit K_{1c} [MNm$^{-3/2}$]
Die Bruchzähigkeit gibt Aufschluss über den Widerstand eines Werkstoffes gegen die Ausbreitung eines im Werkstoff vorhandenen Risses oder dem Einfluss von sogenannten Ungänzen (Kerben, Nuten, Bohrungen, Materialinhomogenitäten) auf das Bruchverhalten. Je niedriger die Bruchzähigkeit, desto leichter kann sich ein vorhandener Riss vergrössern. Die Bruchzähigkeit wird an speziellen, angerissenen Proben in einem speziellen, computergesteuerten Zugversuch ermittelt. Da der Versuch aufwendig ist, sind Bruchzähigkeitswerte nur in beschränktem Umfang erhältlich.

4.1.2 Abschätzung der verschiedenen Festigkeiten
Für die **grobe Abschätzung** der verschiedenen Festigkeitswerte können folgende Gleichungen verwendet werden:

Zugfestigkeit R_m	[N/mm²]	= 3.4	× Brinellhärte HB
Streckgrenze R_e	[N/mm²]	= 0.8	× Zugfestigkeit R_m
Ermüdungsfestigkeit	[N/mm²]	= 0.6	× Zugfestigkeit R_m
Torsionsfestigkeit	[N/mm²]	= 0.3	× Zugfestigkeit R_m

4.1.3 Härteprüfung
Härte bezeichnet den Widerstand eines Materials gegen das Eindringen eines noch härteren Körpers. Zur Bestimmung der Härte wird ein harter Prüfkörper mit einer definierten Kraft in die Probenoberfläche gedrückt und der resultierende Eindruck ausgemessen. Mit Hilfe entsprechender Tabellen kann aus der Grösse des Eindrucks die Härte der Probe bestimmt werden. Bei modernen Geräten erfolgt diese Umrechnung mittels Computer. Im Stahlbereich sind folgende vier genormten Härtemessverfahren gebräuchlich:

Verfahren	Bezeichnung	Eindringkörper	Norm
Brinell	HB	gehärtete Stahlkugel	EN ISO 6506-1
Vickers	HV	Diamantpyramide	EN ISO 6507-1
Rockwell B	HRB	gehärtete Stahlkugel	EN ISO 6508-1
Rockwell C	HRC	Diamantkegel	EN ISO 6508-1

Bei der Härteangabe ist auf die korrekte Angabe von Belastung und Prüfkörperabmessungen gemäss der entsprechenden Norm zu achten, da die Werte sonst nicht mit anderen vergleichbar sind. Eine Vergleichs- oder Umrechnungstabelle für die verschiedenen Härtewerte findet sich in Kapitel 7.

© KOHLER 2021

Brinell-Verfahren
Dieses Verfahren ist wegen der begrenzten Härte der Stahlkugel nur für mittlere Härten bis ca. 500 HB geeignet. Aus der Brinell-Härte kann mit folgender Formel die Zugfestigkeit abgeschätzt werden:

$$\text{Zugfestigkeit } R_m \approx \alpha \times \text{Härte HB}$$

Der Umrechnungsfaktor α ist werkstoffabhängig und beträgt für Kohlenstoffstähle 3.6 und für Edelstähle 3.4.

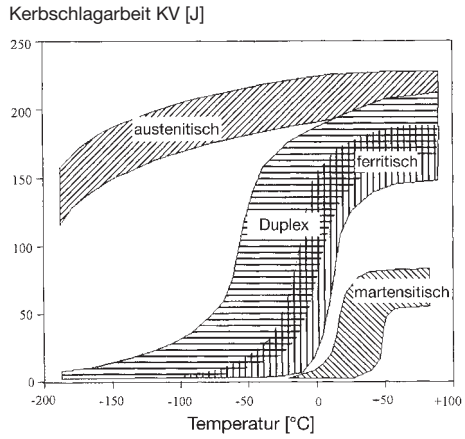
Vickers-Verfahren
Dieses Verfahren ist wegen der extrem hohen Härte der Diamantpyramide (ca. 10000 HV) für alle Härtebereiche geeignet. Durch Reduzieren der Last eignet sich dieses Verfahren ausgezeichnet zur Härtebestimmung an dünnen Folien, harten Randschichten und Gefügebestandteilen (Kleinlast- resp. Mikrohärte). Für Härten bis ca. 300 HB/HV sind die Messwerte beider Verfahren etwa gleich, d.h. HB $\approx$ HV.

Rockwell-Verfahren
Im Gegensatz zu den anderen beiden Verfahren wird bei den Rockwell-Verfahren die Last in zwei Stufen (Vor- und Hauptlast) aufgebracht, dies zur Kompensation von Oberflächeneffekten und der elastischen Rückfederung des Probenmaterials. Die Härte wird aus der Differenz der Eindringtiefen unter Vor- und Hauptlast bestimmt und kann direkt auf einer Messuhr abgelesen werden. Dadurch entfällt das Ausmessen des Eindrucks, was zu kurzen Messzeiten führt und es ermöglicht, die Härteprüfung zu automatisieren. Da Rockwell-Eindrücke relativ tief sind, können dünne Materialien oder Randschichten nicht geprüft werden.

- Rockwell B (B = ball = Kugel)
  empfohlener Messbereich: 35–100 HRB, nur für mittelharte Werkstoffe geeignet

- Rockwell C (C = cone = Kegel)
  empfohlener Messbereich: 20 – 67 HRC, nur für harte Werkstoffe. Für die Prüfung dünner Oberflächenschichten kann das Super-Rockwell C Verfahren angewendet werden, das mit reduzierten Lasten arbeitet und entsprechend weniger tiefe Eindrücke erzeugt.

4.1.4 Kerbschlagbiegeversuch (EN ISO 148-1)
Mit diesem Prüfverfahren wird untersucht, ob ein Werkstoff ein eher duktiles oder sprödes Verhalten zeigt. Ein spröder Werkstoff ist unter Umständen nicht in der Lage, Spannungen durch Verformung zu kompensieren. Beim Überschreiten einer kritischen Belastung kommt es dann ohne Vorwarnung zum gefährlichen, explosionsartigen Sprödbruch. Um anhand einer Probe zähes resp. sprödes Verhalten zu prüfen, wird die Beanspruchung so gewählt, dass der Werkstoff möglichst mit allen sprödbruchbegünstigenden Einflüssen, wie schlagartige, mehrachsige Beanspruchung und allenfalls tiefe Temperaturen, konfrontiert wird. Je nach Werkstoff wird mit gekerbten oder ungekerbten Proben gearbeitet. Diese werden auf einem Pendelschlagwerk zerschlagen. Gemessen wird die zum Zerschlagen der Probe verbrauchte Energie. Mit diesem Versuch kann auch der Einfluss verschiedener Versprödungsarten, wie Tieftemperaturversprödung, Anlassversprödung etc., getestet werden. Je nach Legierung kann die Temperatur einen wichtigen Einfluss auf die Kerbschlagzähigkeit haben, wie die folgende Grafik zeigt. Martensitische, ferritische und Duplexstähle zeigen mit fallender Temperatur einen relativ schmalen Temperaturbereich, in dem die Kerbschlag zähigkeit steil auf annähernd Null abfällt (Tieftemperaturversprödung). Je nach Legierung erfolgt dieser Abfall schon bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt. Austenitische Stähle zeigen keinen so ausgeprägten Zähigkeitsabfall mit sinkender Temperatur, d.h. sie behalten auch bei tiefen Temperaturen den grössten Teil ihrer hohen Zähigkeit (sogenannt kaltzähe Stähle).



Kerbschlagzähigkeit verschiedener Edelstahltypen in Abhängigkeit von der Temperatur

Kerbschlagarbeit [J]
Sie ist die beim Kerbschlagbiegeversuch verbrauchte Energie und wird in Joule angegeben. Tiefe Werte deuten auf ein sprödes, hohe Werte auf ein zähes Verhalten hin. Es muss immer angegeben werden, ob die Werte an einer gekerbten oder ungekerbten Probe gemessen wurden. Bei gekerbten Proben muss die Kerbenform angegeben werden.

Kerbschlagzähigkeit [J/cm²]
Die Kerbschlagzähigkeit ist die Kerbschlagarbeit dividiert durch den Prüfquerschnitt und wird in J/cm² ausgedrückt.

4.1.5 Dauerschwingversuche (DIN 50100)
Die Dauerschwing-, auch Wöhler- oder Ermüdungsversuche genannt, prüfen das Verhalten eines Werkstoffes bei einer dauernden schwingenden Beanspruchung unter einer Belastung, die unterhalb der Dehn-/Streckgrenze liegt. Die Beanspruchung kann dabei im Druck- oder Zugbereich mit oder ohne Vorspannung liegen. Ziel des Versuches ist es, festzustellen, unter welcher Beanspruchung der Werkstoff eine bestimmte Anzahl Lastzyklen, meistens im Bereich von 10^5 bis 10^8, aushält, ohne zu brechen. Da eine grosse Zahl von Proben geprüft werden muss, sind solche Versuche sehr aufwendig und entsprechende Daten oft nur schwer oder gar nicht erhältlich. Für sogenannte Betriebsversuche, z.B. zur Simulation von Start- und Landezyklen, werden die Beanspruchungen entsprechend den im realen Betrieb auftretenden Beanspruchungen variiert. Die Resultate solcher Versuchsreihen werden in sogenannten Wöhler-Diagrammen zusammengefasst.

Dauerfestigkeit [N/mm²]
Abkürzung für Dauerschwingfestigkeit. Sie wird auch als Wechselfestigkeit bezeichnet und gibt die grösste Wechselbeanspruchung an, die ein Werkstoff theoretisch unendlich oft ohne unzulässige Verformung und ohne Bruch aushält.

Ermüdung
Sie wird vorwiegend durch eine Wechselbeanspruchung ausgelöst. Dabei wird das Werkstoffgefüge gelockert, was schliesslich zum Bruch führt.

© KOHLER 2021

4.1.6 Kriech- oder Zeitstandversuche (EN 10291)

Das Kriechen ist ein thermisch aktivierter Vorgang, der zum Bruch führen kann. Man versteht darunter ein Fliessen, d.h. eine plastische Verformung des Materials, bei Spannungen unterhalb der Streck-/Dehngrenze. Die Kriechgeschwindigkeit ist von der äusseren Spannung, der Temperatur und der Zeit abhängig, d.h. die Kriechgeschwindigkeit ist zeitlich nicht konstant.
Der Standzeitversuch dient der Ermittlung des Werkstoffverhaltens bei einer ruhenden Beanspruchung unterhalb der Fliessgrenze und bei einer Temperatur, bei der die Beanspruchungsdauer einen wesentlichen Einfluss auf die Festigkeit hat. Das Ziel des Versuchs ist die Ermittlung der Dauerstandfestigkeit.
Da Kriechversuche zeitlich sehr aufwendig sind, werden sie nur in Spezialfällen, z.B. für Hochtemperatur-Werkstoffe für Turbinenschaufeln durchgeführt.

Dauerstandfestigkeit [N/mm²]
Die Dauerstandfestigkeit ist die grösste Spannung bei einer bestimmten Temperatur, unter der ein anfängliches Kriechen zum Stillstand kommt und bei deren Überschreitung die Probe bricht. Da dieser Wert leider nicht festzustellen ist, ermittelt man die Zeitstandfestigkeit.

Zeitstandfestigkeit [N/mm²]
Darunter wird die Spannung verstanden, die bei einer bestimmten Temperatur nach einer bestimmten Belastungszeit (10^3 ... 10^6 h) zum Bruch führt. Dieser Versuch dient hauptsächlich der Ermittlung des Werkstoffverhaltens bei ruhender (statischer) Beanspruchung bei hohen Temperaturen. Die Angaben von Zeit und Temperatur sind unerlässlich.

Zeitbruchdehnung A_u [%]
Sie gibt die bleibende Dehnung nach dem Bruch der Probe an und wird in % ausgedrückt.

Zeitbrucheinschnürung Z_u [%]
Quotient aus der Querschnittabnahme an der Bruchstelle und dem Anfangsquerschnitt. Die Angabe erfolgt in %.

Zeit(stand)kriechgrenze [N/mm²]
Die Zeitkriechgrenze oder Zeitdehngrenze ist die ruhende Spannung, die bei einer bestimmten Temperatur nach einer bestimmten Belastungszeit zu einem bestimmten Kriechbetrag führt. Die Angaben von Zeit und Temperatur sind unerlässlich.

4.1.7 spezielle Versuche

Neben diesen generellen mechanischen Prüfverfahren existieren noch eine Menge weiterer mechanischer Prüfmethoden, die oft stark mit der beabsichtigten Verarbeitung des Materials gekoppelt und in den entsprechenden Normen im Detail aufgeführt sind. Als Beispiele seien hier noch folgende Prüfverfahren genannt:

Aufweitversuch
In diesem Test wird das Rohrende mit einem konischen Dorn aufgeweitet und geprüft, wie stark sich das Rohr aufweiten lässt ohne einzureissen.

Aufschweissbiegeversuch
In diesem Verfahren wird die Verformbarkeit (Duktilität) einer Schweissnaht geprüft. Dabei wird ein Blech mit einer aufgebrachten Schweissnaht so weit gebogen, bis die Schweissnaht anzureissen beginnt.

Tiefziehversuch
Bei diesem Versuch wird eine Kugel mit einem Durchmesser von ca. 2 cm in ein Blech gedrückt bis der aufgewölbte Teil des Bleches Fliessmarken oder Risse aufweist.

4.1.8 Bearbeitungsversuche

In diesen Versuchen werden die optimalen Bearbeitungsparameter (Schnittgeschwindigkeit, Vorschub, Schnittwinkel etc.) für die verschiedenen Bearbeitungsmethoden (Fräsen, Bohren, Drehen, Schleifen, Erodieren, Schweissen etc.) bestimmt. Detailliertere Informationen für die verschiedenen Werkstoffe sind auf Anfrage oder bei Ihrem Werkzeuglieferanten erhältlich.

4.2 Physikalische Prüfungen

Die physikalischen Eigenschaften (elektrische Leitfähigkeit, Wärmeausdehnung, magnetische Permeabilität etc.) werden mit den entsprechenden physikalischen Verfahren geprüft, auf die hier nicht näher eingegangen wird.

4.3 Chemische Prüfungen

Die chemischen Prüfungen dienen zur Feststellung der chemischen Zusammensetzung eines Stahls und allfälliger Verunreinigungen sowie zur Prüfung der Beständigkeit gegen aggressive Medien.

4.3.1 Spektralanalyse

Die Spektralanalyse ist heute das schnellste und rationellste Verfahren zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung einer Legierung.
Bei diesem Verfahren wird zwischen dem Prüfobjekt und einer Elektrode ein kurzer Lichtbogen gezündet. Die verdampfenden Legierungsbestandteile beeinflussen die Strahlung des Lichtbogens, da jedes Element eine besondere Lichtfarbe erzeugt. Die Intensität ist von deren Gehalt abhängig. Das entstehende Licht wird über einen Lichtleiter auf einen optischen Analysator geleitet und so das Spektrum (Farbverteilung) bestimmt. Aus der Spektralverteilung kann auf die im Prüfobjekt enthaltenen Legierungselemente geschlossen werden. Mit hochmodernen Laborgeräten können bis zu 64 Elemente gleichzeitig bestimmt werden. Durch Vergleich mit den im Kontrollcomputer gespeicherten Normspektren kann auch die Werkstoffbezeichnung bestimmt werden.

4.3.2 chemische Analysen

Chemische Analysen werden heute nur noch in Ausnahmefällen gemacht, da sie jeweils nur ein Element umfassen und aufwendig sind. Am häufigsten werden sie noch angewendet für Elemente, die mit der Spektralanalyse nicht erfasst werden können wie z.B. C, Si, Mn, P, S sowie für die Gase O_2, H_2 und N_2. Moderne Spektralanalysengeräte sind jedoch immer mehr in der Lage, auch diese Elemente zu erfassen.
Spezielle chemische Schnelltests dienen häufig dazu, das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein eines bestimmten Elementes festzustellen, z.B. Molybdän zur schnellen Unterscheidung von V2A und V4A-Stählen.

4.3.3 Korrosionstests

Zu den Korrosionstests gehören die Kochtests nach Huey oder Strauss, Salzsprüh-, Wassernebel-, Spaltkorrosions- und Spannungsrisskorrosionstests sowie evtl. Prüfung der interkristallinen Korrosion. Diese Labortests dienen dazu, die

© KOHLER 2021

Korrosionsbeständigkeit eines bestimmten Materials unter bestimmten Korrosionsbedingungen (Medium, Konzentration, Temperatur, Spannung etc.) zu prüfen.
Seit kurzem sind auch Geräte erhältlich, mit denen die relative Korrosionsbeständigkeit zerstörungsfrei am fertigen Bauteil geprüft werden kann, z.B. zur Schweissnahtprüfung.

4.4 Strukturelle Prüfungen

Mit diesen Verfahren kann die Grob- und Feinstruktur eines Materials untersucht werden.

4.4.1 Grobstruktur (zerstörungsfreie Prüfung ZfP)

Diese Verfahren dienen der Prüfung von Werkstücken auf innere und äussere Fehler, ohne diese zu beschädigen oder zu zerstören.

Oberflächenfehler
Diese Verfahren werden meist bei fertigen oder fast fertigen Werkstücken eingesetzt zur Feststellung von Fehlern, die bis an die Oberfläche reichen wie z.B. Risse. Die dabei zur Anwendung kommenden Verfahren sind:

- Magnetpulverprüfverfahren (eignet sich nur für magnetisierbare Materialien): Dabei wird das Werkstück mit einer fluoreszierenden, magnetisierbaren Flüssigkeit eingespritzt und dann magnetisiert. Fehler im Oberflächenbereich führen zur Störung der magnetischen Feldlinien und zu einer Anreicherung der Flüssigkeit an diesen Stellen. Bei der Betrachtung im UV-Licht werden diese Fehlstellen sichtbar.
- Farbeindringverfahren (eignet sich für alle Materialien): Das Werkstück wird mit einer roten Flüssigkeit eingesprayt, die aufgrund ihrer sehr hohen Penetrierfähigkeit in die Fehlstellen eindringt. Nach einer Weile wird die Farbe abgewischt und die Oberfläche mit einem weissen «Entwickler» eingesprayt, der die in den Fehlstellen verbliebene Farbe wieder heraussaugt und damit die Fehlstellen sichtbar macht.

Innere Fehler
Zur Feststellung von Fehlern, die nicht bis an die Oberfläche reichen (Lunker, grobe Einschlüsse, Schweissfehler, grössere Poren) werden folgende Methoden angewandt:

- Ultraschallverfahren (anwendbar für alle Werkstoffe mit relativ glatter Oberfläche): Dabei wird das Werkstück mit Ultraschall in der Grössenordnung von einigen 100 kHz bis einigen MHz durchstrahlt. An Fehlstellen wird der Schall reflektiert. Das Echo wird auf einem Bildschirm angezeigt. Das Verfahren ist gut geeignet für den mobilen Einsatz, die richtige Interpretation der Anzeige erfordert jedoch einige Erfahrung.
- Durchleuchten mit Röntgen-, Isotopen- oder Gammastrahlen: Da die Anzeige auf Filmen erfolgt, werden diese Verfahren dann angewandt, wenn das Resultat dauerhaft dokumentiert werden muss. Es ist allerdings auf Materialdicken bis ca. 150 mm limitiert. Wegen der notwendigen Strahlenschutzeinrichtungen sind diese Verfahren aufwendig und benötigen entsprechende Spezialisten. Mobile Anwendungen sind möglich.
- Computertomographie: Dieses aus der Medizin bekannte Verfahren erlaubt die 3-dimensionale Darstellung von Fehlern. Die Nachteile sind ein hoher apparativer Aufwand sowie die Notwendigkeit von entsprechenden Schutzvorrichtungen und Spezialisten.

4.4.2 Fein- und Mikrostruktur

Zur Untersuchung der Fein- und Mikrostruktur werden metallografische in Verbindung mit licht- oder elektronenmikroskopischen Methoden beigezogen. Diese Verfahren werden einerseits in der Grundlagenforschung und Entwicklung eingesetzt, andererseits dienen sie auch der Abklärung von Fehlern (z.B. Wärmebehandlungs- oder Gefügefehler) und Schäden und deren Ursache.

5 BE- UND VERARBEITUNG

5.1 Allgemeine Be- und Verarbeitungsgrundsätze

Korrosionsbeständige Edelstähle weisen aufgrund ihrer hohen Legierungsanteile von Chrom, Nickel und Molybdän Be- und Verarbeitungseigenschaften auf, die sich von denen der niedriglegierten Stähle deutlich unterscheiden und die es für einen erfolgreichen Einsatz dieser Werkstoffe zu berücksichtigen gilt. Korrosionsbeständige Stähle werden meist im Anlieferungszustand verarbeitet.
Die Verarbeitung von Edelstahl muss unbedingt von der Verarbeitung von unlegiertem Stahl getrennt werden, sogenannte Schwarz/Weiss-Trennung. Andernfalls besteht ein grosses Risiko, dass die Edelstahloberfläche mit Eisenpartikeln verunreinigt wird, was unweigerlich zu Fremdrostbefall führt. Diese Trennung gilt nicht nur räumlich sondern auch für die verwendeten Werkzeuge. Auch bei der Lagerung und beim Transport von Edelstahl sollte ein Kontakt mit unlegiertem Stahl (Stahlbänder zum Fixieren, ungeschützte Eisenträger etc.) vermieden werden.

5.2 Spanlose Verarbeitung – Umformen

5.2.1 Warmumformung

Eine Warmumformung ist bei allen korrosionsbeständigen Stählen möglich. Wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit soll die Erwärmung bis ca. 800–850 °C langsam erfolgen, darüber kann sie rasch durchgeführt werden.
Ferritische Stähle werden bei den üblichen Formgebungstemperaturen sehr weich und neigen zur «Faltenbildung» sowie zu rasch einsetzendem Kornwachstum, was nur durch starke Verformung verhindert werden kann. Teile aus ferritischem Stahl werden nach der Warmumformung meist an freier Luft abgekühlt.
Die Warmformgebung bei martensitischen Stählen ist im allgemeinen unproblematisch, wenn beim Erwärmen und Abkühlen das Gefügeumwandlungsverhalten berücksichtigt wird. Um die Rissgefahr bei martensitischen Stählen herabzusetzen, ist ein zu rasches Erkalten zu vermeiden.
Austenitische Werkstoffe sollten gleichmässig erwärmt werden. Die Atmosphäre darf weder schwefelhaltig sein noch eine aufkohlende Wirkung haben. Besonders wichtig ist dies bei hochnickelhaltigen Sorten. Werkstücke mit einem Querschnitt über 3 mm werden in Wasser abgeschreckt.
Für optimale Materialeigenschaften sollten warmgeformte Werkstücke einer thermischen Nachbehandlung unterzogen werden. Die entsprechenden Verarbeitungstemperaturen sind aus der Tabelle 7.6 auf Seite 135 ersichtlich.

5.2.2 Kaltumformung

Die gebräuchlichsten Kaltumformungsverfahren sind Drücken, Pressen, Biegen und Tiefziehen. Grundsätzlich eignen sich alle

© KOHLER 2021

korrosionsbeständigen Stähle zur Kaltumformung. Der jeweils zulässige Verformungsgrad ist jedoch höheren werkstoffspezifisch, ebenso die resultierende Kaltverfestigung.
Diese ist bei austenitischen Stählen sehr ausgeprägt. Bei sehr starker Verformung muss daher zwischen den einzelnen Verformungsstufen ein Zwischenglühen bei ca. 1000 °C eingeschaltet werden. Nach abgeschlossener Umformung sollte ein Glühen bei 1050 °C und ein Abschrecken in Wasser erfolgen. Dadurch werden die durch die Kaltverformung erzeugten Eigenschaftsänderungen abgebaut und die normalen Werkstoffeigenschaften wieder hergestellt. In vielen Fällen ist jedoch eine Kaltverfestigung erwünscht, z.B. bei federharten Drähten und Bändern. Eine extreme Erhöhung der Festigkeit kann jedoch die Korrosionsbeständigkeit beeinträchtigen und den Stahl schwach magnetisch machen. Falls nötig können diese Effekte durch ein Lösungsglühen rückgängig gemacht werden. Beim Biegen von Edelstählen muss berücksichtigt werden, dass diese stärker zurückfedern als C-Stähle.
Bei ferritischen Edelstählen wird das Kaltumformen durch ihre Kerbempfindlichkeit erschwert. Ein Erwärmen auf ca. 100–200 °C verbessert die Verformbarkeit wesentlich.
Bei martensitischen Stählen hat eine Kaltumformung vor dem Härten zu erfolgen.

5.3 Spanabhebende Bearbeitung

5.3.1 Zerspanungseigenschaften korrosionsbeständiger Stähle

Aufgrund ihrer unterschiedlichen Materialeigenschaften weisen die korrosionsbeständigen Edelstähle andere Bearbeitungseigenschaften auf als normale C-Stähle. Generell kann gesagt werden, dass die Bearbeitung mit zunehmendem Legierungsgehalt schwieriger wird, d.h. für jede Legierungsgruppe müssen deshalb unterschiedliche Bearbeitungsdaten gewählt werden. Die speziellen Eigenschaften der Edelstähle beeinflussen alle vier Bearbeitungsfaktoren wie Schnittkraft, Werkzeugverschleiss, Spanform und Oberflächenfinish.
Folgende spezielle Eigenschaften der korrosionsbeständigen Stähle, v.a. der austenitischen, müssen bei ihrer Bearbeitung berücksichtig werden:

- ausgeprägte Tendenz zur Kaltverfestigung: Bei Folgeschnitten trifft das Werkzeug eine deutlich härtere Oberfläche als beim ersten Schnitt, was zu einer Erhöhung der Schnittkraft führt. Dies kann bei der Feinbearbeitung wegen der geringen Schnitttiefe zu Problemen führen.
- niedrige Wärmeleitfähigkeit: Dieser Umstand führt zu einer höheren Wärmebelastung der Werkzeugschneide.
- hohe Zähigkeit: Die erforderlichen höheren Schnittkräfte führen zu einer zusätzlichen Wärmebelastung der Werkzeuge.
- Schmieren, Fressen: Hochlegierte Stähle neigen zur Bildung von Aufbauschneiden, die zu einer schlechten Oberflächenqualität sowie zu einer zusätzlichen Beanspruchung der Schneidkante führen.
- schlechte Spanbrucheigenschaften führen zur Bildung von langen, lockenartigen Spänen, die sich nur schwer vom Werkzeug entfernen lassen und ein unbeaufsichtigtes Laufenlassen der Maschine verunmöglichen (s. a. Kap. 5.3.3).

5.3.2 allgemeine Bearbeitungsgrundsätze

Bei der Bearbeitung von korrosionsbeständigen Stählen sind folgende Grundsätze zu beachten:

- Zur Vermeidung von Vibrationen (Rattern) dürfen nur starr gebaute Maschinen eingesetzt werden mit einer bis zu 50 % Leistung als für die Bearbeitung von C-Stahl nötig wäre.
- Werkzeuge und Werkstück müssen fest eingespannt sein.
- Werkzeuge sollen möglichst kurz eingespannt und frühzeitig geschärft oder ersetzt werden.
- Da korrosionsbeständige Stähle eine geringere Wärmeleitfähigkeit aufweisen als C-Stähle, muss für eine genügende Kühlung mit einem geeigneten Kühlmittel gesorgt werden. Andernfalls sind Überhitzungsschäden sowohl am Werkzeug wie auch am Werkstück unvermeidlich.
- Korrosionsbeständige Stähle neigen beim Bearbeiten zum Aufhärten. Die Schnitttiefe ist deshalb so zu wählen, dass die aufgehärtete Schicht des vorangehenden Schnittes sicher entfernt wird.
- Unterbrochene Schnitte sollten soweit möglich vermieden werden, da sie zu einer zusätzlichen Kaltverfestigung führen.
- Für optimale Schneid- und Kühlmittel können Lieferanten oder Hersteller Auskunft geben.

5.3.3 Zerspanbarkeit

Ferritische Stähle
Diese neigen bisweilen zum Schmieren und es kann deshalb vorteilhaft sein, ihre Festigkeit auf etwa 200 HB zu erhöhen.

Martensitische Stähle
Sie weisen ähnliche Verarbeitungsdaten auf wie normale Baustähle gleicher Festigkeit. Die spanabhebende Bearbeitung erfolgt meistens in ungehärtetem Zustand.

Konventionell hergestellte austenitische Stähle
Sie weisen als Folge ihrer hohen Zähigkeit und ihrem hohen Ni-Gehalt eine ausgeprägte Neigung zu Kaltverschweissungen und zur Kaltverfestigung auf. Da sie zudem zur Bildung von langen, lockenartigen Spänen neigen, ist ihre spanabhebende Bearbeitung deutlich schwieriger als bei niedriglegierten Stählen. Zur Verhinderung von Aufbauschneiden und zur Reduktion der Kaltverfestigung wird mit geringeren Schnittgeschwindigkeiten und höherem Vorschub gearbeitet. Eine ausreichende Kühlung ist dabei sehr wichtig.

Automatenstähle
Wie bereits erwähnt, sind austenitische korrosionsbeständige Stähle wegen ihres hohen Legierungsgehaltes, v.a. an Ni, schwieriger zu zerspanen als normale C-Stähle. Analog zu den niedrig legierten Automatenstählen wird deshalb den korrosionsbeständigen Automatenstählen S (bis zu 0.35 %) zulegiert. Dieser bildet harte und spröde Mangansulfide, die als Spanbrecher wirken, so dass nur kurze Späne entstehen, wie dies bei Bearbeitungsautomaten gewünscht wird. Diese Stähle werden deshalb vorwiegend im Décolletagebereich eingesetzt. Durch den Schwefel werden jedoch andere Eigenschaften negativ beeinflusst, wie:

- Automatenstähle sind nicht schweissbar
- Sprödbruchgefahr bei der Kaltumformung
- Verminderung der Korrosionsbeständigkeit
- Automatenstähle (auch ohne erhöhten Schwefelgehalt s. Kapitel 5.3.4.) sind schwierig zu polieren und können nicht elektropoliert werden.

5.3.4 korrosionsbeständige Stähle mit verbesserter Zerspanbarkeit ohne erhöhten Schwefelgehalt

Die oben erwähnten Nachteile schwefellegierter Automatenstähle führten zur Entwicklung von korrosionsbeständigen Stählen ohne erhöhten Schwefelgehalt (z.B. PRODEC- oder

© KOHLER 2021

VALIMA-Qualitäten). Bei diesen werden durch Zulegieren von Calcium-Silicium-Pulver und durch eine spezielle Schmelzmetallurgie feine und gleichmässig verteilte, weiche, rundliche CaSiAl-Oxide und CaMn-Sulfide erzeugt.

Die Vorteile dieser Stähle sind:
- verbesserte Zerspanungseigenschaften
- Wahl höherer Schnittparameter
- höhere Standzeit der Werkzeuge infolge Schmierwirkung und geringerer Härte der spanbrechenden Einschlüsse
- dadurch weniger Unterbrüche in der Produktion und kürzere Produktionszeiten
- Senkung der Produktionskosten
- keine Einbussen an Korrosionsbeständigkeit und Schweissbarkeit
- gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit

5.4 Polieren

5.4.1 Polieren unterschiedlicher Stahlgruppen

Eine hochglanzpolierte Oberfläche lässt sich bei Werkstücken aus korrosionsbeständigem Stahl nur dann erzielen, wenn unstabilisierte Legierungen eingesetzt werden. Mit Ti resp. Ta/Nb stabilisierte Stähle (z.B. 1.4541 und 1.4571) bilden harte Karbide, die in einer weicheren ferritischen oder austenitischen Matrix eingelagert sind. Beim Hochglanzpolieren werden diese harten Teile entweder weniger stark abgetragen und stehen dann heraus oder sie werden herausgerissen und hinterlassen kometenschweifartige Abdrücke in der polierten Oberfläche, sogenannte «Polierschwänze». Martensitische Sorten (z.B. 1.4034) lassen sich nur in gehärtetem Zustand einwandfrei polieren.
Sowohl beim Schleifen wie auch beim Polieren von austenitischen Stählen muss die geringere Wärmeleitfähigkeit und der höhere Wärmeausdehnungskoeffizient berücksichtigt werden. Bei zu hohen Schleifgeschwindigkeiten oder zu hohem Anpressdruck kann es zu einem Hitzestau und zu Verwerfungen und Verfärbungen kommen.

5.4.2 mechanisches Polieren

Voraussetzung für einwandfreie Polierresultate ist eine Oberfläche, die frei ist von Kratzern, mechanischen Beschädigungen und Fehlstellen, d.h. dass die Oberfläche einwandfrei feingeschliffen wurde bis mindestens Korn 400. Ein zu grober Schliff wird durch das Polieren nicht beseitigt. Kleine Furchen, Riefen und Unebenheiten werden aber ausgeglichen und zugeschmiert. Für die verschiedenen Stufen des Polierens kommen Polierscheiben aus unterschiedlichen Materialien zum Einsatz wie Fiberbürste, Sisalkordelscheibe, imprägnierte Sisalscheibe, harte und weiche Baumwollscheiben.
Zum Polieren korrosionsbeständiger Stähle werden verschiedene Polierpasten eingesetzt wie geschmolzene Tonerde («Wiener Kalk», weich) oder Chromoxid («Chromgrün», hart).

5.4.3 elektrochemisches Polieren

Unter elektrochemischem Polieren versteht man eine elektrochemische Behandlung, die zur Einebnung und zum Glänzen einer ursprünglich matten und rauhen Oberfläche führt. Im Prinzip handelt es sich um die Umkehrung des galvanischen Prozesses, wobei das zu behandelnde Werkstück am Pluspol (Anode) einer Gleichstromquelle liegt. Entscheidendes Merkmal des Verfahrens ist ein bevorzugter Abtrag der Rauhigkeitsspitzen, die zunächst zu einer Verringerung der Mikro-Rauhigkeit und bei einer Verlängerung der Behandlungszeit auch zu einem Abbau der Makro-Rauhigkeit führt. Das Elektropolieren korrosionsbeständiger Edelstähle führt zusätzlich zu einer Passivierung der Oberfläche, was sich positiv auf das Korrosionsverhalten auswirkt.
Grundsätzlich lassen sich alle korrosionsbeständigen Edelstähle elektropolieren, unabhängig von ihrer Legierungszusammensetzung und ihren mechanischen Eigenschaften. Für ein befriedigendes Resultat müssen allerdings folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- möglichst feines, gleichmässiges und homogenes Gefüge mit möglichst wenig nichtmetallischen Einschlüssen und anderen Fehlstellen
- gute elektrische Leitfähigkeit
- gleiches anodisches Auflösungsverhalten der verschiedenen Legierungsbestandteile
- keine elektrochemisch resistenten Legierungsbestandteile
- gleichartige Gefügestruktur bei gefügten Teilen, z.B. Schweissstellen
- ausreichende Schichtdicke bei plattierten Werkstoffen

In der Praxis bedeutet dies, dass sich Nb- oder Ti-stabilisierte Stähle (z.B. 1.4541, 1.4571) oder sogenannte Automatenstähle (z.B. 1.4305) nur sehr bedingt oder gar nicht für das Elektropolieren eignen. Nichtmetallische Einschlüsse, mit denen bei grosstechnisch erzeugten Stählen immer gerechnet werden muss, werden je nach dem stärker oder schwächer angeätzt als die Matrix und sind daher nach dem Elektropolieren sichtbar. In Automatenlegierungen werden jedoch, unabhängig von ihrer Herstellungsart, absichtlich Einschlüsse als Spanbrecher erzeugt. Automatenlegierungen sind daher nicht befriedigend elektropolierbar.
Ein Stahl, der beim Elektropolieren einwandfreie Resultate liefern soll, muss sehr rein, d.h. in einem speziell reinen Verfahren aus speziell reinem Schrott hergestellt sein:

[S] < 0.005 % (EN 10088-3: [S] < 0.030 %)
[P] < 0.010 % (EN 10088-3: [P] < 0.045 %)

Stähle mit so tiefen Schwefel und Phosphorgehalten müssen in einem Sonderverfahren in einer Sondercharge hergestellt werden.

5.5 Schweissen

5.5.1 Generelles

Beim Schweissen von Edelstahl ist es wichtig, dass die Wärmezufuhr begrenzt wird, um die wärmebeeinflusste Zone (WEZ) so klein wie möglich zu halten. Automatische Verfahren wie MIG- und WIG-Schweissen sind in diesem Fall vorteilhaft.
Verschweissungen von Edelstählen mit unlegierten Stählen sind durchaus möglich, allerdings muss dabei unbedingt dem Problem einer möglichen Kontaktkorrosion die nötige Beachtung geschenkt werden.
Angaben zur Berechnung der Ferritzahlen sowie ein Schaeffler-Diagramm finden sich in Kapitel 7, Tabelle 7.7.

5.5.2 Schweissverfahren

Die gebräuchlichsten Schweissverfahren für korrosionsbeständige Stähle sind:
- Lichtbogen-Handschweissverfahren
- WIG/TIG-Schweissen
- MIG/MAG-Schweissen

© KOHLER 2021

Weitere Verfahren für spezielle Anwendungen, auf die nicht im Detail eingegangen werden soll, sind u.a.:
– Unterpulverschweissen
– Elektroschlackeschweissen
– Plasmaschweissen
– Laserschweissen
– Elektronenstrahlschweissen (unter Vakuum)
– Hochleistungsschweissen

Lichtbogenschweissung
Lichtbogenschweissen mit einer ummantelten Elektrode ist das einfachste und verbreitetste Verfahren. Die effiziente Wärmequelle (Lichtbogentemperatur ca. 6000 °C), die Einfachheit der Methode und die Anwendbarkeit in jeder Lage befürworten dieses Verfahren. Diese Methode wird bei Materialstärken über 1 mm angewendet.

WIG/TIG-Schweissung
(**W**olfram/**T**ungsten **I**nert **G**as)
Bei diesem Verfahren wird die erforderliche Wärme durch einen Lichtbogen erzeugt, der zwischen einer nichtabschmelzenden Wolfram-Elektrode und dem Werkstück gezündet wird. Als Schutzgas verwendet man vorwiegend reines Argon oder Argon mit einem Zusatz von einigen Prozent Wasserstoff. Bleche bis zu einer Materialdicke von 2 mm kann man ohne Zusatzwerkstoff schweissen. Bei grösseren Blechdicken benötigt man einen Schweisszusatzdraht.

MIG/MAG-Schweissung
(**M**etal **I**nert/**A**ktiv **G**as)
Der Lichtbogen wird hier zwischen dem Zusatzwerkstoff (Draht) und dem Werkstück gezündet. Beim MIG-Verfahren arbeitet man mit inerten Helium-Argon-Gemischen, während beim MAG-Verfahren mit reaktiven Helium-Argon-Kohlen-dioxid-Gasgemischen gearbeitet wird. Diese Verfahren empfehlen sich für Materialdicken über 5 mm.

5.5.3 Schweissbarkeit der verschiedenen Edelstähle

Ferritische Stähle
Ferritische Stähle zeigen keine Gefügeumwandlungen. Sie sind daher nicht oder nur bedingt härtbar. Dies erleichtert das Schweissen im Vergleich zu den martensitischen Stählen. Die ferritischen Stähle neigen jedoch zu Kornwachstum. Dies führt zu einer Versprödung, d.h. einer verminderten Zähigkeit nach dem Schweissen.
Es empfiehlt sich daher, die Werkstücke vor dem Schweissen auf ca. 200 °C vorzuwärmen und nachher bei 750 °C nachzuglühen. Als Schweisszusatz verwendet man ferritische, ferritisch-austenitische oder austenitische Materialien. Fehlen die Möglichkeiten, das Werkstück vorzuwärmen oder nachzuglühen, muss ein austenitisches Schweissgut verwendet werden.

Martensitische Stähle
Infolge des hohen C-Gehaltes unterliegen diese Stähle bei der Abkühlung aus der Schweisstemperatur einer Gefügeumwandlung und neigen zu Härterissen. Nur unter Beachtung besonderer Massnahmen kann die Rissbildung vermieden werden. Empfehlenswert ist ein Vorwärmen des Werkstückes vor dem Schweissen auf 200–300 °C und ein nachfolgendes Glühen bei 700–750 °C. Bei Stählen, die einen Kohlenstoffgehalt über 0.30 % aufweisen, sollte vom Schweissen abgesehen werden.

Austenitische Stähle
Die austenitischen Stähle sind sehr gut schweissbar. Wie jedoch bereits im Kapitel «Korrosion» erwähnt, muss die Gefahr der Bildung von Karbidausscheidung auf den Korngrenzen und der interkristallinen Korrosion berücksichtigt werden. Austenitische Stähle haben einen hohen Ausdehnungs- oder besser gesagt Schrumpfungskoeffizienten. Dieses Phänomen muss beim Vorschweissen (Heften) von grösseren Edelstahlkonstruktionen berücksichtigt werden; andernfalls muss damit gerechnet werden, dass sich die Konstruktion massiv verziehen kann.

Ferritisch - austenitische Stähle (Duplex)
Diese Stähle liegen bezüglich der Schweissbarkeit zwischen den ferritischen und austenitischen Werkstoffen. Werden diese Stähle beim Schweissen einer längeren Erwärmung im Bereich von 650–850 °C ausgesetzt, so bildet sich eine intermetallische Ausscheidung, die so genannte «Sigmaphase», die eine Verminderung der Zähigkeit bewirkt. Durch ein Rekristallisationsglühen bei 950–1000 °C kann die Sigmaphase wieder aufgelöst und das Material auf die normale Zähigkeit regeneriert werden. Zum Schweissen verwendet man austenitische und ferritisch-austenitische Zusatzwerkstoffe.

5.5.4 Anlauffarben und Schweissfehler

Wie bereits im Kapitel 2.3 erwähnt wurde, schützen sich die korrosionsbeständigen Stähle durch die Bildung einer sehr beständigen, stabilen Chromoxidschicht (Passivschicht).
Anlauffarben entstehen bei Wärmebehandlungen oder beim Schweissen ohne ausreichenden Oxidationsschutz durch Reaktion des Stahls mit dem oberflächlich anhaftenden Restsauerstoff. Dabei wird die Passivschicht zerstört und durch eine neue Schicht mit grundsätzlich anderem Aufbau und v.a. ohne schützende Wirkung ersetzt. Der Aufbau dieser neuen Schicht und damit auch ihre Korrosionsbeständigkeit ist in erster Linie von der eingebrachten Maximaltemperatur sowie vom Temperatur-Zeitverlauf abhängig.
Aus entsprechenden Korrosionsversuchen geht hervor, dass Anlauffarben keine Passivschichten sind und daher die Korrosionsbeständigkeit lokal deutlich herabsetzen. Anlauffarben müssen daher entweder durch geeignete Massnahmen (z.B. im Innern von geschweissten Rohren durch Formieren) vermieden oder nachträglich vollständig entfernt werden, damit sich auch im Bereich der Schweissnaht wieder die ursprüngliche Passivschicht mit der ursprünglichen Korrosionsbeständigkeit bilden kann.
Auch Schweissfehler können die Korrosionsbeständigkeit lokal herabsetzen und müssen daher vollständig entfernt werden. Als Schweissfehler gelten z.B.:

– unvollständige Aufschmelzung
– Einbrandkerben
– Poren
– Schlackeneinschlüsse
– Spritzer
– Zündkerben

Schweissfehler müssen durch Schleifen und/oder Reparaturschweissen entfernt werden.

© KOHLER 2021

5.5.5 Nachbehandlung nach dem Schweissen

Damit korrosionsbeständige Stähle eine einwandfreie Passivschicht aufbauen können, müssen sie eine saubere und gleichmässige Oberfläche aufweisen. Jede Art von Verunreinigungen wie z.B. Fingerabdrücke, Markierkreidestriche, Fett- oder Ölspuren oder Reste von Anlauffarben behindert den Zutritt des Sauerstoffs zur Oberfläche und damit die Bildung der Passivschicht.
Das Ausmass und die Methode der Nachbehandlung werden durch die geforderte Korrosionsbeständigkeit und Oberflächenqualität sowie durch die vorhandenen Möglichkeiten bestimmt. Eine korrekte Konstruktion sowie gute Planungs- und Herstellungsverfahren reduzieren den Bedarf der Nachbehandlung und somit auch die Kosten.
Es gibt mechanische und chemische Reinigungsverfahren, die je nach Anforderung einzeln oder kombiniert eingesetzt werden.

Mechanische Nachbehandlungsmethoden

SCHLEIFEN
Schleifen ist gewöhnlich die einzige Methode zum Entfernen von Schweissfehlern und tiefen Kratzern. Eine Lamellenschleifscheibe ist ausreichend, um Anlauffarben und Verunreinigungen zu entfernen.

Folgendes ist zu beachten:
- selbstschärfende, eisenfreie Schleifscheiben verwenden, die ausschliesslich für korrosionsbeständige Werkstoffe eingesetzt werden
- niemals Schleifmittel einsetzen, die vorher für unlegierten Stahl verwendet wurden
- zu grobe Körnung vermeiden: Grobschleifen mit K40–K60, anschliessend Feinschleifen mit K180 oder feiner
- bei hohen Anforderungen an die Oberfläche kann Polieren notwendig sein
- Oberfläche nicht durch zu hohen Schleifdruck überhitzen, um Schleifrisse und Verfärbungen zu vermeiden
- Fehler müssen vollständig entfernt werden!
- Oberflächenrauheit: Schweissnähte und Oberflächen, die zu grob geschliffen oder gestrahlt wurden, begünstigen das Absetzen von Ablagerungen. Die Gefahr einer Korrosion und Verunreinigung eines Produktes wird erhöht. Grobes Schleifen führt zu hohen Zugspannungen in der Oberfläche. Das Risiko von Spannungsriss- und Lochkorrosion wird stark erhöht. Für eine Reihe von Anwendungen existieren zudem Vorgaben über die höchstzulässige Oberflächenrauheit (R_a-Werte).

KUGELSTRAHLEN
Strahlen mit Glas- oder Stahlkugeln eignet sich zum Entfernen von Wärmeoxiden und Eisenverunreinigungen. Die Strahlmittel müssen jedoch völlig sauber sein, d.h. sie dürfen vorher nicht für unlegierten Stahl verwendet worden sein. Die Rauheit der Oberfläche stellt den Begrenzungsfaktor dieser Methode dar. Mit wenig Druck und geringem Einfallswinkel lassen sich gute Resultate erzielen. Strahlen mit Glaskugeln liefert beim Entfernen von Anlauffarben eine bessere Oberflächenqualität als Schleifen.
Beim Kugelstrahlen entstehen zusätzliche Druckspannungen in der Oberfläche, die sich im Gegensatz zu Zugspannungen positiv auf die Beständigkeit gegen Spannungsrisskorrosion und Ermüdung auswirken.

BÜRSTEN
Bei dieser Behandlung sind nur Bürsten aus korrosionsbeständigem Stahl oder Kunststoff zu verwenden. Diese Methode beeinträchtigt die Oberfläche nur wenig; die Anlauffarben werden zwar entfernt, jedoch ist sie keine Garantie für die vollständige Entfernung der chromverarmten Schicht.

Chemische Nachbehandlungsmethoden
Mit den chemischen Methoden lassen sich Oxide, die durch hohe Wärmeeinwirkung entstanden sind, sowie Eisenverunreinigungen entfernen, ohne die Oberfläche nennenswert anzugreifen. Die Chemikalien bauen die Oberflächenschicht durch kontrollierte Korrosion ab. Sie entfernen selektiv die am wenigsten korrosionsbeständigen Oberflächenbereiche wie Anlauffarben und die chromverarmte Schicht und ermöglichen dadurch den Aufbau einer beständigen Passivschicht. Eine Behandlung mit chemischen Mitteln ist infolge der deutlich geringeren resultierenden Oberflächenrauheit einer groben, nur mechanischen Nachbearbeitung vorzuziehen.

Bei den chemischen Verfahren müssen unbedingt die entsprechenden Umweltschutzbestimmungen beachtet werden, (s.a. Abschnitt «Neutralisation/Entsorgung»). Dies bedingt entsprechend eingerichtete Beizräume und eventuell einen angemessenen Personenschutz (Schutzanzug, Atemmaske).

BEIZEN
Dies ist die am häufigsten eingesetzte chemische Methode zum Entfernen von Anlauffarben und Eisenverunreinigungen. Zum Beizen wird normalerweise folgende Säuremischung verwendet:

8–20 % Salpetersäure (HNO_3)
0.5–5 % Fluorwasserstoffsäure (HF)
Rest: Wasser

Chloridhaltige Lösungen wie Salzsäure (HCl) dürfen wegen der Gefahr von Lochkorrosion nicht verwendet werden!

Beizbarkeit der verschiedenen Werkstoffe:

Werkstoff	C max. [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Beizbarkeit
1.4301	0.07	18.3	9.3	–	1
1.4306	0.030	19.0	11.0	–	1
1.4307	0.030	18.5	9.0	–	1
1.4404	0.030	17.5	11.5	2.2	2
1.4571	0.08	17.5	12.0	2.2	2
1.4432	0.030	17.5	11.5	2.7	2
1.4435	0.030	18.0	13.7	2.7	2
1.4462	0.030	22.0	5.5	3.0	3
1.4439	0.030	17.5	13.5	4.5	3
1.4539	0.020	20.0	25.0	4.5	3
254 SMO	0.020	20.0	18.0	6.5	4
654 SMO	0.020	24.0	22.0	7.3	nicht beizbar

Beizbarkeit: 1 = sehr leicht, ... 4 = sehr schwer

Folgende Faktoren sind für ein wirkungsvolles Beizen wichtig:
- Oberfläche: Sie muss frei sein von organischen Verunreinigungen.
- Temperatur: Die Wirkung der Beizlösung nimmt mit steigender Temperatur stark zu; dadurch lässt sich die Beizgeschwindigkeit wesentlich erhöhen. Die Temperatur sollte zwischen 25 °C und max. 65 °C liegen.

© KOHLER 2021

– Säuremischung: Zusammensetzung, Konzentration und Gehalt an freien Metallionen.
– Stahlsorten: Hochlegierte, korrosionsbeständige Werkstoffe erfordern eine aggressivere Säuremischung und/oder eine höhere Badtemperatur.
– Art und Dicke der Oxidschicht: Diese hängt in hohem Masse von der Schweissmethode ab. Je nach Wärmezufuhr bilden sich unterschiedliche Schweissoxide. Bei Verwendung von Schutzgas ist die Oxidbildung am geringsten.
– Oberflächenbeschaffenheit: Eine grobe, warmgewalzte Oberfläche kann schwieriger zum Beizen sein, als eine glatte, kaltgewalzte oder geschliffene Oberfläche.

BEIZMETHODEN
– Beizbad:
Beizen im Bad ist eine bequeme Methode, soweit dies von der Stückgrösse her durchführbar ist. Bei zu hohen Temperaturen kann bei niedrig- und hochlegierten Stählen ein Überbeizen auftreten, was eine rauhe Oberfläche zur Folge hat. Der Beizeffekt hängt nicht nur von der Säurekonzentration und Temperatur ab, sondern auch vom Gehalt freier Metallionen (meist Fe) in der Beizlösung.
Folgendes Verhältnis kann als Richtwert angesehen werden:
Der Gehalt an freiem Fe in mg/l sollte die Badtemperatur in °C nicht überschreiten.
Ist der Metallionengehalt zu hoch, so sollte die Beizflüssigkeit ganz oder teilweise durch frische Säure ersetzt werden.

– Sprühbeize
Sie besteht normalerweise aus Salpetersäure (HNO_3) und Fluorwasserstoffsäure (HF), die mit einem Bindemittel und oberflächenaktiven Substanzen gemischt werden damit sie nicht so schnell vom Werkstück abfliessen. Sie wird grossflächig aufgesprüht. Für mildere Beizeigenschaften kann auch Phosphorsäure verwendet werden. Diese Methode ist für grosse Werkstücke geeignet, die in einem Bad nicht mehr Platz haben. Zum Sprühbeizen sind i.a. spezielle Räume mit einsprechenden Einrichtungen (Abwasser, Belüftung, Schutzanzüge für die Beizer) notwenig.

– Beizpaste
Die Paste besteht gewöhnlich aus einer Säuremischung von HNO_3 und HF mit einem Bindemittelzusatz. Sie eignet sich zum Beizen begrenzter Bereiche, vorwiegend in Schweisszonen. Bei Temperaturen unter +5 °C ist die Wirkung sehr gering. Bei Materialtemperaturen über 40 °C besteht die Gefahr, dass die Paste verdunstet. Die Beizwirkung wird dadurch stark vermindert und das Abspülen erschwert.

– Passivierung/Dekontaminierung
Diese Prozedur erfolgt auf die gleiche Art und Weise wie das Beizen. Die aktive Substanz ist bei diesem Verfahren jedoch nur 18–20 %ige Salpetersäure bei ca. 20 °C. Diese Behandlung stärkt die Passivschicht. Sie ist besonders wichtig, wenn die Gefahr einer Eisenverunreinigung besteht, da die Säure die Oberfläche von diesen Verunreinigungen befreit. Aus diesem Grunde spricht man auch von einer Dekontaminierung. Wie nach dem Beizen ist ein gründliches Nachspülen mit Wasser erforderlich.

– Elektrolytisches Polieren
Dieses elektrochemische Verfahren sichert eine optimale Korrosionsbeständigkeit. Die Oberfläche erhält einen hohen Glanz und ein ausgeglichenes Mikroprofil, das hohen hygienischen Ansprüchen gerecht wird. (s. a. Kapitel 5.4.3.)

Nach jeder chemischen Behandlung muss das Werkstück mit einem Hochdruckreiniger gründlich abgespritzt werden. Das Spülwasser muss gesondert aufgefangen, neutralisiert und entsorgt werden.

– Neutralisation / Entsorgung
Spülflüssigkeiten sind säurehaltig und mit Schwermetallen, vorwiegend mit Chrom und Nickel, verunreinigt und müssen deshalb neutralisiert werden. Die Neutralisation erfolgt mit einem alkalischen Mittel, am besten mit gelöschtem technischem Kalk oder mit einem handelsüblichen Neutralisationsmittel. **Der zurückbleibende Schlamm ist als schwermetallhaltiger Sondermüll zu behandeln und den örtlichen Vorschriften entsprechend zu entsorgen.**

– Organische Verunreinigungen
Verunreinigungen dieser Art sind Fette, Öle, Klebstoffreste, Fingerabdrücke, Farbe und Ablagerungen verschiedenster Art. Solche Verunreinigungen können in aggressiver Umgebung Spaltkorrosion verursachen und ein sachgemässes Beizen verhindern, da Beizsäuren nur auf anorganische Verunreinigungen einwirken! Organische Verunreinigungen sind vor dem Beizen mit geeigneten, **chloridfreien** Reinigungs- und Entfettungsmitteln zu entfernen.

5.6 Löten

Mit speziellen Silberhartloten und Flussmitteln ist das Löten von hochlegierten Edelstählen technisch einwandfrei möglich. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich Edelstähle und Silberlote in ihren Grundeigenschaften stark unterscheiden. Es darf deshalb nicht erwartet werden, dass sich hartgelötete Edelstahlteile gleich verhalten wie ungelötete.
Kommen Hartlotverbindungen in Kontakt mit feuchter Luft oder Flüssigkeiten wie Trinkwasser, so müssen die Verhältnisse genauestens abgeklärt werden. Zinkhaltige Lote wie z.B. das herkömmliche Silberlot L-Ag40Cd dürfen für solche Anwendungen keinesfalls eingesetzt werden, da eine rasche Zerstörung der Verbindung durch eine Grenzflächenkorrosion – auch Messerschnittkorrosion genannt – die Folge wäre. Für bestimmte Anwendungen, z.B. Lebensmittelverarbeitung, Chemie, Pharmazie und Trinkwasserleitungen, muss zudem berücksichtigt werden, dass die Lote keine giftigen Substanzen (Cadmium, Blei u.a.) enthalten dürfen.
Bei länger dauernden Lötungen mit Temperaturen zwischen 600 und 800 °C muss zudem der bereits erwähnte Kornzerfall bei unstabilisierten Stählen beachtet werden. Die allgemein gültigen Konstruktionsrichtlinien für gelötete Konstruktionen gelten auch für Edelstähle. Sofern Konstruktion, Lötverfahren und Arbeitstechnik stimmen, sind auch extreme Lötverbindungen möglich, wie dies z.B. der auf Edelstahl aufgelötete Boden aus Aluminium oder Kupfer bei Kochtöpfen zeigt.

5.7 Kleben

Edelstähle können problemlos geklebt werden, vorausgesetzt man verwendet geeignete Klebmittel und -verfahren. Zur Abklärung der im entsprechenden Anwendungsfall geeigneten Mittel und Verfahren wende man sich an die entsprechenden Hersteller und Lieferanten.

© KOHLER 2021

5.8 Nieten, Schrauben

Beim Vernieten oder Verschrauben von Edelstählen muss darauf geachtet werden, dass Nieten, Schrauben und Unterlegscheiben möglichst aus einem gleichedlen oder edleren Material sind. Werden Schrauben oder Nieten aus unedlerem Material, z.B. verzinkte Schrauben oder Aluminiumnieten, verwendet, so besteht das Risiko von Kontaktkorrosion, falls die Fügstelle mit einer elektrisch leitenden Flüssigkeit in Kontakt kommt. Durch die unterschiedlichen Flächenverhältnisse (grosse Edelstahloberfläche – kleine unedle Schrauben-/ Nietenoberfläche) wird die Korrosion der unedlen Schraube/ Niete noch verstärkt.
Bei Edelstahlverschraubungen, ist zu beachten, dass Edelstahl eine deutliche Neigung zum Anfressen (Kaltverschweissen) aufweist. Dies kann dazu führen, dass eine Verschraubung entweder nicht genügend angezogen werden kann, oder dass sie sich später nicht mehr lösen lässt. Das Problem lässt sich umgehen, indem man die Gewinde vor dem Anziehen genügend schmiert. Unter Umständen muss das Schmiermittel auf die entsprechende Anwendung (z.B. Lebensmittelbereich) abgestimmt werden.

5.9 Probleme beim Fügen von Edelstahl mit anderen Werkstoffen

Das Risiko von Kontaktkorrosion muss auch beim Fügen von unedleren Materialien mit Edelstahl (z.B. Verschraubungen von Edelstahlrohren mit verzinkten Rohren oder Rotgussarmaturen, Verschraubungen von Profilen aus Edelstahl mit verzinkten Profilen) berücksichtigt werden. Dabei spielen v.a. folgende Faktoren eine Rolle:

- allfälliges elektrisch leitendes Korrosionsmedium
- Korrosionspotentiale der beteiligten Materialien im betreffenden Medium
- Oberflächenverhältnis: Je grösser das Verhältnis der Oberflächen von edlerem zu unedleren Material ist, desto grösser ist die Korrosionsgeschwindigkeit des unedleren Partners.

Je nach Korrosionsrisiko kann es erforderlich sein, die entsprechenden Teile elektrisch voneinander zu isolieren, z.B. durch Unterlegscheiben, Hülsen und Dichtungen aus Kunststoff. (s.a. Tabelle Kapitel 2.2.5)

5.10 Wärmebehandlung

Durch eine Wärmebehandlung können die Eigenschaften eines Stahls verändert werden. Bei den korrosionsbeständigen Stählen sind folgende Änderungen möglich:

- teilweises oder vollständiges Rückgängigmachen der durch eine Kaltverformung erzeugten Veränderungen (Kaltverfestigung, physikalische Eigenschaften wie Magnetismus etc.)
- Abbau von Eigenspannungen
- Homogenisieren des Gefüges und Auflösen von Karbiden und anderen intermetallischen Ausscheidungen
- Anpassen der mechanischen Eigenschaften bei härtbaren Legierungen

Bei nicht titanstabilisierten Stählen muss unbedingt darauf geachtet werden, dass sie nicht länger als unbedingt nötig auf Temperaturen im Bereich von 480–760 °C gehalten werden, da sich sonst auf den Korngrenzen Chromkarbide bilden können, die zu einer reduzierten Korrosionsbeständigkeit im Bereich der Korngrenzen führen (Korngrenzenkorrosion).

5.10.1 Ferritische Stähle

Ferritischen Stähle werden im Bereich von 750–850 °C weichgeglüht bei einer Haltezeit von 1 h pro 25 mm Materialdicke. Danach werden sie an freier Luft abgekühlt. Ferritische Stähle sind aufgrund ihres niedrigen Kohlenstoffgehaltes nicht härtbar.

5.10.2 Martensitische Stähle

Normalerweise werden diese Stähle in vergütetem Zustand eingesetzt. Dadurch erhält man eine gute Kombination aus Festigkeit (Härte), Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Beim Vergüten durchläuft der Stahl zwei verschiedene Wärmebehandlungen:

1. Härten
2. Anlassen

Beim Härten wird der Stahl auf ca. 1000°C erwärmt und anschliessend in Öl oder Luft abgeschreckt. Durch die Gefügeumwandlung von Austenit zu Martensit wird der Stahl hart aber tendenziell auch spröde. Um eine gute Zähigkeit sicherzustellen, müssen die Härtespannungen im Gefüge durch eine zusätzliche Wärmebehandlung abgebaut werden. Dies geschieht durch ein Anlassen bei einer bestimmten Temperatur. Durch die Wahl der Anlasstemperatur kann die Härte in bestimmten Grenzen variiert werden. Sie wird aus dem Anlassdiagramm in den Produktebroschüren bestimmt. Im allgemeinen nehmen mit höheren Anlasstemperaturen Härte und Korrosionsbeständigkeit ab, die Zähigkeit dafür zu. Nach dem Anlassen lässt man das Material an der Luft abkühlen.

5.10.3 Austenitische und Duplexstähle

Die Glühtemperatur für austenitische Stähle liegt bei 1070–1170°C, für ferritisch-austenitische bei 1000–1100 °C. Die austenitischen und ferritisch-austenitischen Stähle werden nach dem Glühen in Wasser abgeschreckt. Dünne Querschnitte können frei an der Luft erkalten. Diese Stähle lassen sich nicht härten, jedoch kann durch ein spezielles Verfahren (**Kolsterisieren**®) eine dünne, harte Oberfläche (zwischen 1000 und 1200 $HV_{0.05}$, entsprechend ca. 74 HRC) erzeugt werden, die zudem das Anfressverhalten und teilweise auch die Korrosionsbeständigkeit dieser Werkstoffe deutlich verbessert.

5.10.4 Ausscheidungshärtbare Stähle

Bei den ausscheidungshärtbaren Stählen werden durch eine spezielle Wärmebehandlung sehr feine, im Gefüge fein verteilte Ausscheidungen erzeugt, die eine entsprechende Härte- und Festigkeitssteigerung bewirken.

5.11 Reinigung und Pflege

Eine einfache und effiziente Methode um die Lebensdauer von Edelstahlprodukten zu verlängern, ist das Verhindern von Aufkonzentrationen (Ablagerungen) von schädlichen Stoffen (z.B. Chloriden) durch regelmässiges, gründliches Spülen mit sauberem Wasser.
Wie schon bei der Verarbeitung so ist auch bei der Reinigung von Edelstahl darauf zu achten, dass der Edelstahl nicht

© KOHLER 2021

mit unlegiertem Stahl in Kontakt kommt (z.B. Stahlbürsten, Schleifmittel etc.). Entsprechend sind Stahlbürsten aus rostfreiem Material oder Kunststoff oder Schleifmittel (z.B. ScotchBrite), die zuvor nicht mit unlegiertem Stahl in Kontakt waren, zu verwenden. Wird die Oberfläche abrasiv gereinigt, so soll das Abrasivmittel härter sein als der Schmutz, aber weicher als die Stahloberfläche, da sonst die Passivschicht verletzt wird. Bei einer Verletzung der Passivschicht muss berücksichtigt werden, dass für eine einwandfreie Neubildung eine einwandfreie (fettfreie) Oberfläche notwendig ist.
Für die chemische Reinigung von Edelstahloberflächen sind in Tabelle 7.12 eine Reihe von Reinigungsmitteln aufgeführt. Auf dem Markt sind auch spezielle Reinigungsmittel zum Entfernen von Fremdrost sowie Pflegemittel mit schützenden Eigenschaften erhältlich.
Als Reinigungsmittel ungeeignet sind Salzsäure (HCl) und Flusssäure (HF), da sie schon in geringer Konzentration zu einem deutlichen Angriff der Oberfläche führen. Ebenfalls zu beachten ist, dass Desinfektionsmittel und Reinigungsmittel, wie sie in der Lebensmittelbranche und in Schwimmbädern verwendet werden, oft Natriumhypochlorit enthalten, das ebenfalls Korrosion verursachen kann.

Baureinigung für Anlagen aus Edelstahl
Korrosionsbeständige Edelstähle können ihre hohe Korrosionsbeständigkeit nur bei einer wirklich sauberen Oberfläche voll entfalten. Es ist deshalb ausserordentlich wichtig, dass nicht nur bei der Verarbeitung, sondern schon beim Transport und der Lagerung darauf geachtet wird, dass der Edelstahl nicht mit unlegiertem Stahl in Kontakt kommt.
Konstruktionsteile, die auf Baustellen montiert werden, werden oft durch die Verarbeitung selbst oder durch Fremdeinflüsse verunreinigt, wie z.B.:

- Verarbeitung und Montage anderer Teile und Werkstoffe
- Kontakt mit Hebezeug aus unlegiertem Stahl → Hebegurten verwenden!
- Auflagen aus unlegiertem Stahl (Gestellträger, Ladebrückenkanten)
- Lagerung zusammen mit unlegierten Stahlteilen → gut getrennt lagern und abdecken!
- Verarbeitung mit Werkzeugen, die schon für unlegierten Stahl verwendet wurden → für Edelstähle immer separate Werkzeuge verwenden
- Gebrauch von gewöhnlichen Stahlbürsten oder Stahlwolle → Edelstahl- oder Kunststoffbürsten resp. sauberes ScotchBrite verwenden
- Gebrauch von Strahlmitteln (Sand), die mit unlegiertem Stahl verunreinigt sind
- Gebrauch von Schleifpapier resp. Schleif- oder Trennscheiben die Eisenoxid enthalten

Auf der Oberfläche von Edelstahl haftende Eisenteilchen korrodieren unter dem Einfluss der Luftfeuchtigkeit nach kurzer Zeit und verursachen sogenannter Fremdrost und u.U. sogar Lochfrass.

Aber auch Verunreinigungen durch

- organische Stoffe wie Öle, Fette, Farben, Lösungsmittel, Markierungen, Fuss- und Handabdrücke
- aggressive oder Chlor/Brom enthaltende Entkalkungs-, Reinigungs- und Desinfektionsmittel, die nicht vollständig weggewaschen oder neutralisiert wurden
- Bindedrähte und –bänder aus gewöhnlichem Stahl → Kunststoffbänder verwenden
- Anlauffarben infolge Erhitzung durch Schweissen, Trennen, Schleifen, Erhitzen → Beizen, Schleifen
- Schweissrückstände wie Schlacke oder Schweissperlen
- Klebemittelrückstände von Kleberbändern oder Etiketten

können am fertigen Objekt Korrosionsprobleme verursachen. In solchen Fällen ist es oft ausserordentlich schwierig und meist mit hohen Kosten und viel Ärger verbunden, wenn nachträglich die tatsächliche Ursache der Korrosion eruiert werden soll.

Generell haftet der Materiallieferant nur für nachgewiesene Materialfehler und das nur im Umfange des Wertes des gelieferten Materials und nicht für Folgeschäden!

Daraus folgt, dass eine einwandfreie Reinigung nach der Fertigstellung viel Ärger und hohe Kosten ersparen kann. Je nach dem Ausmass der Verunreinigungen kann mit folgenden Mitteln, evtl. kombiniert, gereinigt werden:

- Bürsten aus Edelstahl oder Kunststoff
- Schleifen mit Schleifmitteln, die ausschliesslich für Edelstahl verwendet wurden
- Strahlen mit eisenoxidfreien Strahlmitteln, z.B. Glasperlen
- abrasive Schwämme wie ScotchBrite
- Beizen mit Paste oder im Bad

Für die Reinigung nach der Montage aber auch während des Betriebes eignen sich je nach Reinigungsproblem auch die in Tabelle 7.12 zusammengestellten Reinigungsmittel. Für einwandfreie Resultate sind einerseits die Gebrauchsanleitung genau zu beachten und andererseits müssen die gereinigten Flächen gründlich mit sauberem Wasser, möglichst mit einem Hochdruckreiniger, nachgespült werden. Nicht entfernte oder neutralisierte Reinigungsmittelreste können auch zu Korrosion führen. Die entsprechenden Lieferfirmen beraten Sie gerne.

6 NORMEN

6.1 EN 10088

Die Normenreihe EN 10088 wurde 1995 auf europäischer Ebene (CEN-Mitgliedländer) für Erzeugnisse aus nichtrostenden Stählen für allgemeine Verwendung eingeführt und damit die verschiedenen nationalen Normen schrittweise abgelöst.
Eine erste umfangreiche Überarbeitung und Erweiterung erfolgte im Herbst 2005. 2009 wurden die Teile 4 und 5 eingeführt und Ende 2014 wurden die Teile 1 bis 3 ein zweites Mal vollständig revidiert.

EN 10088 besteht aktuell aus folgenden Teilen:

Teil 1
Verzeichnis der nichtrostenden Stähle
Darin aufgeführt sind 132 korrosionsbeständige, 21 hitzebeständige und 29 warmfeste Stähle mit ihrer chemischen Zusammensetzung und Angaben zu den physikalischen Eigenschaften. Zudem sind weitere Tabellen enthalten, die eine Zuordnung der nichtrostenden Stähle zu den

© KOHLER 2021

Europäischen Produktnormen und einen Vergleich mit anderen Bezeichnungssystemen (ISO, UNS, JIS, ISC) ermöglichen.

Teil 2
Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Anwendungen.

Teil 3
Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Anwendungen.

Teil 4
Technische Lieferbedingungen für Bleche und Bänder für das Bauwesen.

Teil 5
Technische Lieferbedingungen für Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse für das Bauwesen.

Die Teile 2 bis 5 enthalten die mechanisch-technologischen Eigenschaften der verschiedenen Erzeugnisse. Zudem wird zwischen Standard- und Sondergüten unterschieden und definiert somit die Verfügbarkeit der genormten Stähle.

Nichtrostende Stähle für Anwendungen im bewilligungspflichtigen Druckbehälterbau sind in weiteren Normen umschrieben. Die untenstehende Tabelle gibt einen Überblick über Werkstoffnormen für nichtrostende Stähle. Alle wichtigen nationalen Normen der CEN-Mitgliedstaaten sind zwischenzeitlich durch entsprechende europäische Normen abgelöst worden.

6.2 Weitere Normen

Weitere Normen, die im Bereich der korrosionsbeständigen Stähle gegebenenfalls zu beachten sind:

6.2.1 Basler Norm BN 2
Diese von der Basler Chemischen Industrie (BCI) herausgegebene Norm beschreibt die werkstofftechnischen Anforderungen an Erzeugnisse aus austenitischem CrNiMo-Stahl basierend auf 1.4435 nach EN 10088 respektive ASTM 316L, jedoch mit definiertem Ferritgehalt. Durch diese Norm soll gewährleistet werden, dass auch bei der Verwendung von Erzeugnissen verschiedener Herkunft und Charge mit gleichbleibender Korrosionsbeständigkeit gerechnet werden kann.

6.2.2 AD 2000 W 2
Dieses von der «Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter» herausgegebene Merkblatt gilt für austenitische und austenitisch-ferritische (Duplex-)Stähle für Halbzeug und Verbindungselemente für den Bau von Druckbehältern.

6.2.3 SEW 400
Das STAHL-EISEN-Werkstoffblatt 400 enthält nichtrostende Walz- und Schmiedestähle, die nicht in EN 10088 enthalten sind. Dies sind insbesondere Stähle, die im allgemeinen einen begrenzteren Anwendungsumfang haben.

Produktform	nichtrostende Stähle		
	korrosionsbeständig	hitzebeständig	warmfest
Flacherzeugnisse für Druckbehälter	EN 10028-7		EN 10028-7
Flachprodukte für allgemeine Anwendungen	EN 10088-2		
Langprodukte für allgemeine Anwendungen	EN 10088-3		
Flachprodukte für das Bauwesen	EN 10088-4		
Langprodukte für das Bauwesen	EN 10088-5		
Hitzebeständige Stähle und Nickellegierungen		EN 10095	
Federband	EN 10151		
Nahtlose Rohre für Druckbehälter	EN 10216-5		EN 10216-5
Geschweisste Rohre für Druckbehälter	EN 10217-7		
Schmiedestücke für Druckbehälter	EN 10222-5		EN 10222-5
Freiformschmiedestücke	EN 10250-4		
Walzdraht, Stäbe & Draht aus Kaltstauch- und Kaltfliesspressstählen	EN 10263-5		
Stahldraht für Seile	EN 10264-4	EN 10264-4	
Befestigungselemente für den Einsatz bei erhöhten und/oder tiefen Temperaturen	EN 10269		EN 10269
Federstahldraht	EN 10270-3		
Stäbe für Druckbehälter	EN 10272		
Geschweisste runde Rohre für allgemeine Anwendungen	EN 10296-2		
Nahtlose runde Rohre für allgemeine Anwendungen	EN 10297-2		
Warmfeste Stähle, Nickel- und Cobaltlegierungen			EN 10302
Geschweisste Rohre für Wasser und andere wässrige Flüssigkeiten	EN 10312		

© KOHLER 2021

Technische Tabellen und Informationen

Inhalt		Seite
7	**Technische Tabellen und Informationen**	**127**
7.1	Normenvergleich	**128**
7.2	chemische Zusammensetzung (Gewichtsprozent)	**129**
7.3	mechanische Werte bei 20°C	**130**
7.4	mechanische Werte bei höheren Temperaturen	**131**
7.5	physikalische Eigenschaften	**132**
7.6	Warmumformung und Wärmebehandlung	**133**
7.7	Ferritberechnung/Schaeffler-Diagramm	**134**
7.8	EN 10088 – neue Oberflächenbezeichnungen	**135**
7.9	Ausführungsarten von Längsnaht-geschweissten Rohren	**136**
7.10	Härtevergleichstabelle	**137**
7.11	Reinigung und Pflege	**138-139**
7.12	Bescheinigungen gemäss EN 10204	**140**
7.13	Gewichtstabelle von Rund-, Vierkant- und Sechskantstahl	**141**
7.14	Gewichtstabelle von Flachstahl	**142**

Haftung
Herkunft der Daten und Informationen:

Die Angaben in diesem Teil des Kataloges basieren auf unserem gegenwärtigen Wissensstand und vermitteln nur allgemeine Informationen zu unseren Produkten und deren Anwendungsmöglichkeiten. Sie können nicht als Garantie ausgelegt werden, weder für die spezifischen Eigenschaften der beschriebenen Produkte noch für die Eignung für die als Beispiel genannten Anwendungsmöglichkeiten.
Die angeführten Daten, die aus verschiedenen, z.T. nicht überprüfbaren Quellen stammen, basieren auf Laborversuchen und sind als Richtwerte zu verstehen und nicht als zugesicherte Eigenschaften. Diese können von Charge zu Charge und von Werk zu Werk variieren. Konstruktion, Verarbeitung und Einsatzbedingungen sowie nationale und internationale Normen und Regelwerke können die in der Praxis zulässigen Werte und Eigenschaften einschränken.
Für Stähle, die in EN 10088 enthalten sind, wurden die chemischen, mechanischen und physikalischen Werte aus EN 10088 übernommen. Für die andern Stähle wurden die Daten aus dem Stahlschlüssel oder aus Werksangaben übernommen.
Die Gewährleistung von bestimmten Eigenschaften und der Eignung für einen bestimmten Verwendungszweck bedarf in jedem Fall einer speziellen, schriftlichen Vereinbarung.

Die Verwendung dieser Informationen und Daten erfolgt ausschliesslich auf eigene Verantwortung.
Die HANS KOHLER AG lehnt ausdrücklich jede Haftung ab für Verluste, Schäden und Folgeschäden, die aus der Verwendung dieser Informationen und Daten resultieren.

© KOHLER 2021

7.1 Normenvergleich

Werkstoff		Europa		Outokumpu	USA (ASTM/AISI)		veraltete nationale Stahlbezeichnungen				Schweisszusatz
		EN	Kurzname		Type	UNS	Deutschl. DIN	U.K. BS	Frankreich NF	Schweden SS	
Ferrit	**1.4000**	1.4000	X6Cr13	4000	410S	S41008	1.4000	403 S 17	Z 8 C 12	2301	308L / P5
	1.4003	1.4003	X2CrNi12	4003	---	S40977	1.4003	---	---	---	---
	1.4016	1.4016	X6Cr17	4016	430	S43000	1.4016	430 S 17	Z 8 C 17	2320	308L / MVR / 309L
	1.4509	1.4509	X2CrTiNb18	4509	---	S43940	---	---	Z 3 CTNb 18	---	308L / 430LNb
	1.4510	1.4510	X3CrTi17	4510	439	S43035	1.4510	---	Z 4 CT 17	---	308L / 309L
	1.4512	1.4512	X2CrTi12	4512	409	S40900	1.4512	409 S 19	Z 3 CT 12	---	308L / 430LNb
	1.4520	1.4520	X2CrTi17	4520	439	S43035	---	---	Z 3 CT 20	---	308L / 430LNb
	1.4521	1.4521	X2CrMoTi18-2	4521	444	S44400	1.4521	---	Z 3 CDT 18-02	2326	316L / SKR / P5
Martensit	**1.4005**	1.4005	X12CrS13	4005	416	S41600	---	416 S 21	Z 11 CF 13	2380	---
	1.4006	1.4006	X12Cr13	4006	410	S41000	1.4006	410 S 21	Z 10 C 13	2302	307 / 308L / 309L
	1.4021	1.4021	X20Cr13	4021	420	S42000	---	420 S 29	Z 20 C 13	2303	739 S
	1.4028	1.4028	X30Cr13	4028	420	S42000	---	420 S 45	Z 33 C 13	2304	739 S
	1.4034	1.4034	X46Cr13	---	---	---	1.4034	---	Z 44 C 14	---	---
	1.4057	1.4057	X17CrNi16-2	---	431	S43100	---	431 S 29	Z 15 CN 16-02	2321	---
	1.4104	1.4104	X14CrMoS17	---	430F	S43020	1.4104	---	Z 13 CF 17	2383	---
	1.4112	1.4112	X90CrMoV18	---	---	---	---	---	X 89 CrMoV 18-1	---	---
	1.4122	1.4122	X39CrMo17-1	4122	---	---	1.4122	---	Z 38 CD 16-01	---	---
	1.4313	1.4313	X3CrNiMo13-4	4313	---	S41500	1.4313	---	Z 6 CN 13-04	2384	248 SV
	1.4418	1.4418	X4CrNiMo16-5-1	248 SV	---	---	---	---	Z 6 CND 16-05-01	2387	248 SV
	1.4542	1.4542	X5CrNiCuNb16-4	17- 4 PH	630	S17400	1.4542	---	Z 7 CNU 15-05	---	---
Duplex	**1.4162**	1.4162	X2CrMnNiN21-5-1	LDX 2101®	---	S32101	---	---	---	---	LDX 2101® / 2205
	1.4362	1.4362	X2CrNiN23-4	DX 2304	---	S32304	---	---	Z 3 CN 23-04 Az	2327	2304 / 2205
	1.4410	1.4410	X2CrNiMoN25-7-4	SDX 2507	---	S32750	---	---	Z 3 CND 25-06 Az	2328	2507 / P100
	1.4460	1.4460	X3CrNiMoN27-5-2	---		S31200	1.4460	---	Z 5 CND 27-05 Az	2324	453S / 2205
	1.4462	1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	DX 2205	---	S32205*	1.4462	318 S 13	Z 3 CND 22-05 Az	2377	2205
	1.4501	1.4501	X2CrNiMoCuWN25-7-4	SDX 100	---	S32760	---	---	Z 3 CNDU 25-06 Az	---	2507 / P100
	1.4662	1.4662	X2CrNiMnMoCuN24-4-3-2	LDX 2404®	---	S82441	---	---	---	---	22 9 3 NL
Austenit	**1.4305**	1.4305	X8CrNiS18-9	4305	303	S30300	1.4305	303 S 31	Z 8 CNF 18-09	2346	308L / MVR
	1.4310	1.4310	X10CrNi18-8	4310	301	S30100	1.4310	301 S 21	Z 11 CN 17-08	2331	308L / MVR
	1.4318	1.4318	X2CrNiN18-7	4318	301LN	S30153	---	---	Z 3 CN 18-07 Az	---	308L / MVR
	1.4372	1.4372	X12CrMnNiN17-7-5	4372	201	S20100	---	---	Z 12 CMN 17-07 Az	---	307 / 309L
Standard Cr-Ni / V2A	**1.4301**	1.4301	X5CrNi18-10	4301	304	S30400	1.4301	304 S 31	Z 7 CN 18-09	2333	308L / MVR
	1.4303	1.4303	X4CrNi18-12	4303	305	S30500	1.4303	305 S 19	Z 5 CN 18-11 FF	---	308L / MVR
	1.4306	1.4306	X2CrNi19-11	4306	304L	S30403	1.4306	304 S 11	Z 3 CN 19-11	2352	308L / MVR
	1.4307	1.4307	X2CrNi18-9	4307	304L	S30403	1.4307	304 S 11	Z 3 CN 18-10	2352	308L / MVR
	1.4311	1.4311	X2CrNiN18-10	4311	304LN	S30453	1.4311	304 S 61	Z 3 CN 18-10 Az	2371	308L / MVR
	1.4315	1.4315	X5CrNiN19-9	4315	304N	S30451	1.4315	304 S 61	Z 6 CN 19-09 Az	2371	308L / MVR
	1.4541	1.4541	X6CrNiTi18-10	4541	321	S32100	1.4541	321 S 31	Z 6 CNT 18-10	2337	347 / MVNb
	1.4550	1.4550	X6CrNiNb18-10	4550	347	S34700	1.4550	347 S 31	Z 6 CNNb 18-10	2338	347 / MVNb
	1.4567	1.4567	X3CrNiCu18-9-4	4567	304Cu	S30430	1.4567	394 S 17	Z 3 CNU 18-10	---	308L / MVR
Standard Cr-Ni-Mo / V4A	**1.4401**	1.4401	X5CrNiMo17-12-2	4401	316	S31600	1.4401	316 S 31	Z 7 CND 17-11-02	2347	316L / SKR
	1.4404	1.4404	X2CrNiMo17-12-2	4404	316L	S31603	1.4404	316 S 11	Z 3 CND 17-11-02	2348	316L / SKR
	1.4406	1.4406	X2CrNiMoN17-11-2	4406	316LN	S31653	1.4406	316 S 61	Z 3 CND 17-11 Az	---	316L / SKR
	1.4408	1)	GX5CrNiMo19-11-2	---	CF-8M	J92900	---	316 C 16	---	---	316L / SKR
	1.4429	1.4429	X2CrNiMoN17-13-3	4429 / SKR-4	316LN	S31653	1.4429	316 S 63	Z 3 CND 17-12 Az	2375	316L / SKR
	1.4432	1.4432	X2CrNiMo17-12-3	4432	316L	S31603	1.4432	316 S 13	Z 3 CND 17-13-03	2353	316L / SKR
	1.4435	1.4435	X2CrNiMo18-14-3	4435 / 724L	316L	S31603	1.4435	316 S 13	Z 3 CND 18-14-03	2353	316L / SKR
	1.4435 BN2	1.4435	X2CrNiMo18-14-3	4435	316L	S31603	1.4435	316 S 13	Z 3 CND 18-14-03	2353	316L / SKR
	1.4436	1.4436	X3CrNiMo17-13-3	4436	316	S31600	1.4436	316 S 33	Z 6 CND 18-12-03	2343	316L / SKR
	1.4571	1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	4571	316Ti	S31635	1.4571	320 S 31	Z 6 CNDT 17-12	2350	318
hochlegiert	**1.4434**	1.4434	X2CrNiMoN18-12-4	---	317LN	S31753	---	---	Z 3 CND 19-14 Az	---	317L / SNR
	1.4438	1.4438	X2CrNiMo18-15-4	4438	317L	S31703	1.4438	317 S 12	Z 3 CND 19-15-04	2367	317L / SNR
	1.4439	1.4439	X2CrNiMoN17-13-5	4439	317LMN	S31726	1.4439	---	Z 3 CND 18-14-05 Az	---	904L
	1.4466	1.4466	X1CrNiMoN25-22-2	725LN	310MoLN	S31050	1.4466	---	Z 2 CND 25-22 Az	---	254 SFER
	1.4539	1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	904L	904L	N08904	1.4539	904 S 13	Z 2 NCDU 25-20	2562	904L
Superaustenit	**1.4529**	1.4529	X1NiCrMoCuN25-20-7	Ultra 6XN	---	N08926**	1.4529	---	---	---	P12
	1.4547	1.4547	X1CrNiMoCuN20-18-7	254 SMO	---	S31254	---	---	---	2378	P12, P16
	1.4562	1)	X1NiCrMoCu32-28-7	---	---	N08031	1.4562	---	---	---	1.4562
	1.4565	1.4565	X2CrNiMnMoN25-18-6-5	4565	---	S34565	1.4565	---	---	---	P16
	1.4652	1.4652	X1CrNiMoCuN24-22-8	654 SMO	---	S32654	---	---	---	---	P16
hitzebeständig, Ferrit	**1.4713**	1.4713	X10CrAlSi7	4713	---	---	1.4713	---	---	---	307 / 309
	1.4724	1.4724	X10CrAlSi13	4724	---	---	1.4724	---	Z 13 C 13	---	309
	1.4742	1.4742	X10CrAlSi18	4742	---	---	1.4742	---	Z 12 CAS 18	---	309
	1.4762	1.4762	X10CrAlSi25	4762	446	S44600	1.4762	---	Z 12 CAS 25	2322	309 / 310
hitzebeständig, Austenit	**1.4818**	1.4818	X6CrNiSiNCe19-10	153 MA	---	S30415	1.4891	---	---	2372	253MA
	1.4828	1.4828	X15CrNiSi20-12	4828	309	S30900	1.4828	309 S 24	Z 17 CNS 20-12	---	253MA
	1.4833	1.4833	X12CrNi23-13	4833	309S	S30908	1.4833	309 S 16	Z 15 CN 23-13	---	309
	1.4835	1.4835	X9CrNiSiNCe21-11-2	253 MA	---	S30815	1.4893	---	---	2368	253MA
	1.4841	1.4841	X15CrNiSi25-21	4841	314	S31400	1.4841	314 S 25	Z 15 CNS 25-20	---	1.4842
	1.4845	1.4845	X8CrNi25-21	4845	310S	S31008	1.4845	310 S 24	Z 8 CN 25-20	2361	310
	1.4854	1.4854	X6NiCrSiNCe35-25	353 MA	---	S35315	---	---	---	---	353MA
	1.4878	1.4878	X8CrNiTi18-10	4878	321H	S32109	1.4878	321 S 51	Z 6 CNT 18-10	2337	347 / MVNb
warmfest, Austenit	**1.4941**	1.4941	X6CrNiTiB18-10	4941	---	---	1.4941	---	---	---	---
	1.4948	1.4948	X6CrNi18-10	4948	304H	S30409	1.4948	304 S 51	Z 6 CN 18-09	2333	308 / 308H
	1.4950	1.4950	X6CrNi23-13	4950	309H	S30909	---	---	---	---	309
	1.4951	1.4951	X6CrNi25-20	4951	310H	S31009	---	---	---	---	310
Sonderstähle	**1.3805**	1), 2)	X35Mn18	3805	---	---	1.3805	---	---	---	307 / 1.3954
	1.3964	1), 3)	X2CrNiMnMoNNb21-16-5-3	3964	---	---	1.3964	---	---	---	P54 / 1.3954

Die mit den Europäischen Stählen verglichenen Stähle nach nationalen Normen können teilweise in den chemischen Zusammensetzungen abweichen.
Die Austauschbarkeit der miteinander verglichenen Stähle muss je nach Anwendungsfall beurteilt werden.

* auch als S31803 erhältlich
** auch als N08367 erhältlich

1) nicht in EN 10088 enthalten

2) nichtmagnetisierbarer Stahl ohne Cr, ohne Ni, nicht korrosionsbeständig
3) nichtmagnetisierbarer Stahl, meerwasserbeständig bis 40 °C

© KOHLER 2021

7.2 chemische Zusammensetzung (Gewichtsprozent)

	Werkstoff	Outokumpu	C Max.	Si Max.	Mn Max.	P Max.	S Max.	Cr	Mo Max.	Ni	N Max.	Cu	Ti / sonstige	mittlerer PRE_{16}
Ferrit	**1.4000**	4000	0.08	1.00	1.00	0.040	0.015*	12.0 - 14.0	---	---	---	---	---	13
	1.4003	4003	0.030	1.00	1.50	0.040	0.015*	10.5 - 12.5	---	0.30 - 1.00	0.030	---	---	12
	1.4016	4016	0.08	1.00	1.00	0.040	0.015*	16.0 - 18.0	---	---	---	---	---	17
	1.4509	4509	0.030	1.00	1.00	0.040	0.015	17.5 - 18.5	---	---	---	---	0.10 - 0.60	18
													Nb: [3xC+0.30] bis 1.00	
	1.4510	4510	0.05	1.00	1.00	0.040	0.015*	16.0 - 18.0	---	---	---	---	[4x(C+N)+0.15] bis 0.80	17
	1.4512	4512	0.030	1.00	1.00	0.040	0.015	10.5 - 12.5	---	---	---	---	6x(C+N) bis 0.65	11
	1.4520	4520	0.025	0.50	0.50	0.040	0.015	16.0 - 18.0	---	---	0.015	---	[4x(C+N)+0.15] bis 0.80	17
	1.4521	4521	0.025	1.00	1.00	0.040	0.015	17.0 - 20.0	1.80 - 2.50	---	0.030	---	[4x(C+N)+0.15] bis 0.80	26
Martensit	**1.4005**	4005	0.06 - 0.15	1.00	1.50	0.040	0.15 - 0.35	12.0 - 14.0	# 0.60	---	---	---	---	13
	1.4006	4006	0.08 - 0.15	1.00	1.50	0.040	0.015*	11.5 - 13.5	---	# 0.75	---	---	---	13
	1.4021	4021	0.16 - 0.25	1.00	1.50	0.040	0.015*	12.0 - 14.0	---	---	---	---	---	13
	1.4028	4028	0.26 - 0.35	1.00	1.50	0.040	0.015*	12.0 -14.0	---	---	---	---	---	13
	1.4034	4034	0.43 - 0.50	1.00	1.00	0.040	0.015*	12.5 - 14.5	---	---	---	---	---	14
	1.4057	---	0.12 - 0.22	1.00	1.50	0.040	0.015*	15.0 - 17.0	---	1.50 - 2.50	---	---	---	16
	1.4104	---	0.10 - 0.17	1.00	1.50	0.040	0.15 - 0.35	15.5 - 17.5	0.20 - 0.60	---	---	---	-	17
	1.4112	---	0.85 - 0.95	1.00	1.00	0.040	0.015*	17.0 - 19.0	0.90 - 1.30	---	---	---	V: 0.07 - 0.12	21
	1.4122	---	0.33 - 0.45	1.00	1.50	0.040	0.015*	15.5 - 17.5	0.80 - 1.30	# 1.00	---	---	---	20
	1.4313	4313	0.05	0.70	1.50	0.040	0.015	12.0 - 14.0	0.30 - 0.70	3.5 - 4.5	# 0.020	---	---	15
	1.4418	248 SV	0.06	0.70	1.50	0.040	0.015*	15.0 - 17.0	0.80 - 1.50	4.0 - 6.0	# 0.020	---	---	19
	1.4542	17- 4 PH	0.07	0.70	1.50	0.040	0.015*	15.0 - 17.0	# 0.60	3.0 - 5.0	---	3.0 - 5.0	Nb: 5xC bis 0.45	16
Duplex	**1.4162**	LDX 2101®	0.04	1.00	4.0 - 6.0	0.040	0.015	21.0 - 22.0	0.10 - 0.80	1.35 - 1.90	0.20 - 0.25	0.10 - 0.80	---	26
	1.4362	DX 2304	0.030	1.00	2.00	0.035	0.015	22.0 - 24.5	0.10 - 0.60	3.5 - 5.5	0.05 - 0.20	0.10 - 0.60	---	27
	1.4410	SDX 2507	0.030	1.00	2.00	0.035	0.015	24.0 - 26.0	3.0 - 4.5	6.0 - 8.0	0.24 - 0.35	---	---	42
	1.4460	---	0.05	1.00	2.00	0.035	0.015*	25.0 - 28.0	1.30 - 2.00	4.5 - 6.5	0.05 - 0.20	---	---	34
	1.4462	DX 2205	0.030	1.00	2.00	0.035	0.015	21.0 - 23.0	2.50 - 3.5	4.5 - 6.5	0.10 - 0.22	---	---	34
	1.4501	SDX 100	0.030	1.00	1.00	0.035	0.015	24.0 - 26.0	3.0 - 4.0	6.0 - 8.0	0.20 - 0.30	0.50 - 1.00	W: 0.50 - 1.00	41
	1.4662	LDX 2404®	0.030	0.70	2.5 - 4.0	0.035	0.005	23.0 - 25.0	1.00 - 2.00	3.0 - 4.5	0.20 - 0.30	0.10 - 0.80	---	34
Austenit	**1.4305**	4305	0.10	1.00	2.00	0.045	0.15 - 0.35	17.0 - 19.0	-	8.0 - 10.0	0.10	# 1.00	---	18
	1.4310	4310	0.05 - 0.15	2.00	2.00	0.045	0.015	16.0 - 19.0	# 0.80	6.0 - 9.5	0.10	---	---	18
	1.4318	4318	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015	16.5 - 18.5	---	6.0 - 8.0	0.10 - 0.20	---	---	20
	1.4372	4372	0.15	1.00	5.5 - 7.5	0.045	0.015	16.0 - 18.0	---	3.5 - 5.5	0.05 - 0.25	---	---	19
Standard Cr-Ni / V2A	**1.4301**	4301	0.07	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.5 - 19.5	---	8.0 - 10.5	0.10	---	---	19
	1.4303	4303	0.06	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.0 - 19.0	---	11.0 - 13.0	0.10	---	---	19
	1.4306	4306	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	18.0 - 20.0	---	10.0 - 12.0	0.10	---	---	20
	1.4307	4307	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.5 - 19.5	---	8.0 - 10.5	0.10	---	---	19
	1.4311	4311	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.5 - 19.5	---	8.5 - 11.5	0.12 - 0.22	---	---	21
	1.4315	4315	0.06	1.00	2.00	0.045	0.015	18.0 - 20.0	---	8.0 - 11.0	0.12 - 0.22	---	---	22
	1.4541	4541	0.08	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.0 - 19.0	---	9.0 -12.0	---	---	5xC bis 0.70	18
	1.4550	4550	0.08	1.00	2.00	0.045	0.015	17.0 - 19.0	---	9.0 - 12.0	---	---	Nb: 10xC bis 1.00	18
	1.4567	4567	0.04	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.0 - 19.0	---	8.5 - 10.5	0.10	3.0 - 4.0	----	19
Standard Cr-Ni-Mo / V4A	**1.4401**	4401	0.07	1.00	2.00	0.045	0.015*	16.5 - 18.5	2.00 - 2.50	10.0 - 13.0	0.10	---	---	26
	1.4404	4404	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	16.5 - 18.5	2.00 - 2.50	10.0 - 13.0	0.10	---	---	26
	1.4406	4406	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	16.5 - 18.5	2.00 - 2.50	10.0 - 12.5	0.12 - 0.22	---	---	28
	1.4408	---	0.07	1.50	1.50	0.040	0.030	18.0 - 20.0	2.00 - 2.50	9.0 - 12.0	-	---	---	26
	1.4429	4429 / SKR-4	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015	16.5 - 18.5	2.50 - 3.00	10.5 - 14.0	0.12 - 0.22	---	---	29
	1.4432	4432	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	16.5 - 18.5	2.50 - 3.00	10.5 - 13.0	0.10	---	---	27
	1.4435	4435 / 724L	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.0 - 19.0	2.50 - 3.00	12.5 - 15.0	0.10	---	---	27
	1.4435 BN2	4435	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.0 - 19.0	2.5 - 3.0	12.5 - 15.0	0.10	---	# 0.05	27
	1.4436	4436	0.05	1.00	2.00	0.045	0.015*	16.5 - 18.5	2.50 - 3.00	10.5 - 13.0	0.10	---	---	27
	1.4571	4571	0.08	1.00	2.00	0.045	0.015*	16.5 - 18.5	2.00 - 2.50	10.5 - 13.5	---	---	5xC bis 0.70	25
hochlegiert	**1.4434**	---	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015	16.5 - 19.5	3.0 - 4.0	10.5 - 14.0	0.10 - 0.20	---	---	32
	1.4438	4438	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015*	17.5 - 19.5	3.0 - 4.0	13.0 - 16.0	0.10	---	---	32
	1.4439	4439	0.030	1.00	2.00	0.045	0.015	16.5 - 18.5	4.0 - 5.0	12.5 - 14.5	0.12 - 0.22	---	---	35
	1.4466	725LN	0.020	0.70	2.00	0.025	0.010	24.0 - 26.0	2.00 - 2.50	21.0 - 23.0	0.10 - 0.16	---	---	34
	1.4539	904L	0.020	0.70	2.00	0.030	0.010	19.0 - 21.0	4.0 - 5.0	24.0 - 26.0	0.15	1.20 - 2.00	---	37
Superaustenit	**1.4529**	Ultra 6XN	0.020	0.50	1.00	0.030	0.010	19.0 - 21.0	6.0 - 7.0	24.0 - 26.0	0.15 - 0.25	0.50 - 1.50	---	45
	1.4547	254 SMO	0.020	0.70	1.00	0.030	0.010	19.5 - 20.5	6.0 - 7.0	17.5 - 18.5	0.18 - 0.25	0.50 - 1.00	---	45
	1.4562	---	0.015	0.30	2.00	0.020	0.010	26.0 - 28.0	6.0 - 7.0	30.0 - 32.0	0.15 - 0.25	1.00 - 1.40	---	52
	1.4565	4565	0.030	1.00	5.0 - 7.0	0.030	0.015	24.0 - 26.0	4.0 - 5.0	16.0 - 19.0	0.30 - 0.60	---	Nb: # 0.15	47
	1.4652	654 SMO	0.020	0.50	2.00 - 4.0	0.030	0.005	23.0 - 25.0	7.0 - 8.0	21.0 - 23.0	0.45 - 0.55	0.30 - 0.60	---	57
hitzebeständig, Ferrit	**1.4713**	4713	0.12	0.50 - 1.00	1.00	0.040	0.015	6.0 - 8.0	---	---	---	---	Al: 0.50 - 1.00	1)
	1.4724	4724	0.12	0.70 - 1.40	1.00	0.040	0.015	12.0 - 14.0	---	---	---	---	Al: 0.70 - 1.20	1)
	1.4742	4742	0.12	0.70 - 1.40	1.00	0.040	0.015	17.0 - 19.0	---	---	---	---	Al: 0.70 - 1.20	1)
	1.4762	4762	0.12	0.70 - 1.40	1.00	0.040	0.015	23.0 - 26.0	---	---	---	---	Al: 1.20 - 1.70	1)
hitzebeständig, Austenit	**1.4818**	153 MA	0.04 - 0.08	1.00 - 2.00	1.00	0.045	0.015	18.0 - 20.0	---	9.0 - 11.0	0.12 - 0.20	---	Ce: 0.03 - 0.08	1)
	1.4828	4828	0.20	1.50 - 2.50	2.00	0.045	0.015	19.0 - 21.0	---	11.0 - 13.0	0.10	---	---	1)
	1.4833	4833	0.15	1.00	2.00	0.045	0.015	22.0 - 24.0	---	12.0 - 14.0	0.10	---	---	1)
	1.4835	253 MA	0.05 - 0.12	1.40 - 2.50	1.00	0.045	0.015	20.0 - 22.0	---	10.0 - 12.0	0.12 - 0.20	---	Ce: 0.03 - 0.08	1)
	1.4841	4841	0.20	1.50 - 2.50	2.00	0.045	0.015	24.0 - 26.0	---	19.0 - 22.0	0.10	---	---	1)
	1.4845	4845	0.10	1.50	2.00	0.045	0.015	24.0 - 26.0	---	19.0 - 22.0	0.10	---	---	1)
	1.4854	353 MA	0.04 - 0.08	1.20 - 2.00	2.00	0.040	0.015	24.0 - 26.0	---	34.0 - 36.0	0.12 - 0.20	---	Ce: 0.03 - 0.08	1)
	1.4878	4878	0.10	1.00	2.00	0.045	0.015	17.0 - 19.0	---	9.0 - 12.0	---	---	5xC bis 0.80	1)
warmfest, Austenit	**1.4941**	4941	0.04 - 0.08	1.00	2.00	0.035	0.015	17.0 - 19.0	---	9.0 - 12.0	---	---	5xC bis 0.80	1)
													B: 0.0015 - 0.0050	
	1.4948	4948	0.04 - 0.08	1.00	2.00	0.035	0.015	17.0 - 19.0	---	8.0 - 11.0	0.10	---	---	1)
	1.4950	4950	0.04 - 0.08	0.70	2.00	0.035	0.015	22.0 - 24.0	---	12.0 - 15.0	0.10	---	---	1)
	1.4951	4951	0.04 - 0.08	0.70	2.00	0.035	0.015	24.0 - 26.0	---	19.0 - 22.0	0.10	---	---	1)
Sonderstähle	**1.3805**	3805	0.30 - 0.40	1.00	17.0 - 19.0	0.060	0.030	---	---	# 1.00	0.10	---	---	1)
	1.3964	3964	0.030	1.00	4.0 - 6.0	0.025	0.010	20.0 - 21.5	3.0 - 3.5	15.0 - 17.0	0.20 - 0.35	---	Nb: # 0.25	36

* für spanend zu bearbeitende Erzeugnisse wird ein geregelter Schwefelgehalt von 0.015 - 0.030 % empfohlen und ist erlaubt

1) Stahl für Nasskorrosion nicht geeignet

© KOHLER 2021

7.3 mechanische Werte bei 20ºC

(Richtwerte für geglühte Werkstoffe bei 20 °C; Dicke oder Durchmesser < 160 mm, längs)

1 MPa = 1 N/mm²

Werkstoff			Festigkeit			Bruch-dehnung	Kerbschlag (ISO-V)	Härte	warmgewalztes Blech				kaltgewalztes Band		
			$R_{p0.2}$	$R_{p1.0}$	R_m	A_5	KV	geglüht	$R_{p0.2}$	$R_{p1.0}$	R_m	KV (quer)	$R_{p0.2}$	$R_{p1.0}$	R_m
			MPa min.	MPa min.	MPa	% min.	J min.	HB max.	MPa min.	MPa min.	MPa	J min.	MPa min.	MPa min.	MPa
Ferrit		1.4000	220	---	400 - 630	19	---	200	220	---	400 - 600	---	240	---	400 - 600
		1.4003	250	---	450 - 650	18	---	200	250	---	450 - 650	---	280	---	450 - 650
		1.4016	240	---	400 - 630	18	---	200	240	---	430 - 630	---	260	---	450 - 600
		1.4509	200	---	420 - 620	18	---	200	---	---	---	---	230	---	430 - 630
		1.4510	230	---	420 - 600	23	---	---	230	---	420 - 600	---	230	---	420 - 600
		1.4512	210	---	380 - 560	25	---	---	210	---	380 - 560	---	210	---	380 - 560
		1.4520	200	---	420 - 620	20	---	200	---	---	---	---	180	---	380 - 530
		1.4521	280	---	400 - 640	20	---	200	280	---	420 - 620	---	300	---	420 - 640
Martensit		1.4005	1)	1)	max. 730	1)	1)	220	---	---	---	---	---	---	---
		1.4006	1)	1)	max. 730	1)	1)	220	1)	---	1)	1)	---	---	max. 600
		1.4021	1)	1)	max. 760	1)	1)	230	1)	---	1)	1)	---	---	max. 700
		1.4028	1)	1)	max. 800	1)	1)	245	1)	---	1)	1)	---	---	max. 740
		1.4034	1)	1)	max. 800	1)	1)	245	1)	---	1)	1)	---	---	max. 780
		1.4057	1)	1)	max. 950	1)	1)	295	---	---	---	---	---	---	---
		1.4104	1)	1)	max. 730	1)	1)	220	---	---	---	---	---	---	---
		1.4112	1)	1)	1)	1)	1)	265	---	---	---	---	---	---	---
		1.4122	1)	1)	max. 900	1)	1)	280	1)	---	1)	1)	---	---	max. 900
		1.4313	1)	1)	max. 1100	1)	1)	320	1)	---	1)	1)	1)	---	1)
		1.4418	1)	1)	max. 1100	1)	1)	320	1)	---	1)	1)	1)	---	1)
		1.4542	1)	1)	max. 1200	1)	1)	360	1)	---	1)	1)	1)	---	1)
Duplex		1.4162	450	490	650 - 900	30	60	290	450	490	650 - 850	60	530	570	700 - 900
		1.4362	400	---	600 - 830	25	100	260	400	---	630 - 800	60	450	---	650 - 850
		1.4410	530	---	730 - 930	25	100	290	530	---	730 - 930	60	550	---	750 - 1000
		1.4460	450	---	620 - 880	20	85	260	---	---	---	---	---	---	---
		1.4462	450	---	650 - 880	25	100	270	460	---	640 - 840	60	500	---	700 - 950
		1.4501	530	---	730 - 930	25	100	290	530	---	730 - 930	60	---	---	---
		1.4662	480	---	680 - 900	25	---	290	480	---	680 - 900	---	550	---	750 - 900
Austenit		1.4305	190	225	500 - 750	35	---	230	190	230	500 - 700	---	---	---	---
		1.4310	195	230	500 - 750	40	---	230	---	---	---	---	250	280	600 - 950
		1.4318	330	370	650 - 850	35	90	---	330	370	630 - 830	60	350	380	650 - 850
		1.4372	330	370	680 - 880	40	100	260	330	370	680 - 880	60	350	380	680 - 880
	Standard Cr-Ni / V2A	1.4301	190	225	500 - 700	45	100	215	210	250	520 - 720	60	230	260	540 - 750
		1.4303	190	225	500 - 700	45	100	215	---	---	---	---	220	250	500 - 650
		1.4306	180	215	460 - 680	45	100	215	200	240	500 - 700	60	220	250	520 - 700
		1.4307	175	210	500 - 700	45	100	215	200	240	500 - 700	60	220	250	520 - 700
		1.4311	270	305	550 - 760	40	100	230	270	310	550 - 750	60	290	320	550 - 750
		1.4315	270	310	550 - 750	40	100	215	270	310	500 - 750	60	290	320	500 - 750
		1.4541	190	225	500 - 700	40	100	215	200	240	500 - 700	60	220	250	520 - 720
		1.4550	205	240	510 - 740	40	100	230	200	240	500 - 700	60	220	250	520 - 720
		1.4567	175	210	450 - 650	45	---	215	---	---	---	---	---	---	---
	Standard Cr-Ni-Mo / V4A	1.4401	200	235	500 - 700	40	100	215	220	260	520 - 670	60	240	270	530 - 680
		1.4404	200	235	500 - 700	40	100	215	220	260	520 - 670	60	240	270	530 - 680
		1.4406	280	315	580 - 800	40	100	250	280	320	580 - 780	60	300	330	580 - 780
		1.4408	185	210	440 - 640	30	60	130 - 200	---	---	---	---	---	---	---
		1.4429	280	315	580 - 800	40	100	250	280	320	580 - 780	60	300	330	580 - 780
		1.4432	200	235	500 - 700	40	100	215	220	260	520 - 670	60	240	270	550 - 700
		1.4435	200	235	500 - 700	40	100	215	220	260	520 - 670	60	240	270	550 - 700
		1.4435 BN2	200	235	500 - 700	35	85	---	220	260	520 - 700	55	240	270	550 - 700
		1.4436	200	235	500 - 700	40	100	215	220	260	530 - 730	60	240	270	550 - 700
		1.4571	200	235	500 - 700	40	100	215	220	260	520 - 670	60	240	270	540 - 690
	hochlegiert	1.4434	270	310	540 - 740	40	100	---	270	310	540 - 740	60	290	320	570 - 770
		1.4438	200	235	500 - 700	40	100	215	220	260	520 - 720	60	240	270	550 - 700
		1.4439	280	315	580 - 800	35	100	250	270	310	580 - 780	60	290	320	580 - 780
		1.4466	250	290	540 - 740	35	100	240	250	290	540 - 740	60	---	---	---
		1.4539	230	260	530 - 730	35	100	230	220	260	520 - 720	60	240	270	530 - 730
Superaustenit		1.4529	300	340	650 - 850	40	100	250	300	340	650 - 850	60	---	---	---
		1.4547	300	340	650 - 850	35	100	260	300	340	650 - 850	60	320	350	650 - 850
		1.4562	280	310	650 - 850	40	120	---	---	---	---	---	---	---	---
		1.4565	420	460	800 - 950	35	100	---	420	460	800 - 950	90	420	460	800 - 950
		1.4652	430	470	750 - 1000	40	100	310	430	470	750 - 1000	60	430	470	750 - 1000
hitzebeständig	Ferrit	1.4713	220	---	420 - 620	20	---	192	---	---	---	---	---	---	---
		1.4724	250	---	450 - 650	15	---	192	---	---	---	---	---	---	---
		1.4742	270	---	500 - 700	15	---	212	---	---	---	---	---	---	---
		1.4762	280	---	520 - 720	10	---	223	---	---	---	---	---	---	---
	Austenit	1.4818	290	330	600 - 800	40	---	210	---	---	---	---	---	---	---
		1.4828	230	270	550 - 750	30	---	223	---	---	---	---	---	---	---
		1.4833	210	250	500 - 700	35	---	192	---	---	---	---	---	---	---
		1.4835	310	350	650 - 850	40	---	210	---	---	---	---	---	---	---
		1.4841	230	270	550 - 750	30	---	223	---	---	---	---	---	---	---
		1.4845	210	250	500 - 700	35	---	192	---	---	---	---	---	---	---
		1.4854	300	340	650 - 850	40	---	210	---	---	---	---	---	---	---
		1.4878	190	230	500 - 720	40	---	215	---	---	---	---	---	---	---
warmfest	Austenit	1.4941	175	210	490 - 690	40	100	---	---	---	---	---	---	---	---
		1.4948	195	230	490 - 690	45	100	---	---	---	---	---	---	---	---
		1.4950	200	240	510 - 710	35	100	---	---	---	---	---	---	---	---
		1.4951	200	240	510 - 710	35	100	---	---	---	---	---	---	---	---
Sonder-stähle		1.3805	240	---	650 - 900	22	55	---	---	---	---	---	---	---	---
		1.3964	365	---	700 - 950	35	85	---	---	---	---	---	---	---	---

--- Werte nicht verfügbar

1) im vergüteten Zustand sind die Werte von der Wärmebehandlung abhängig, siehe EN 10088 Teile 2 & 3

© KOHLER 2021

7.4 mechanische Werte bei höheren Temperaturen

(Richtwerte für geglühte Werkstoffe)

1 MPa = 1 N/mm²

Werkstoff		Mindest-Dehngrenze $R_{p0.2}$ MPa													Mindest-Dehngrenze $R_{p1.0}$ MPa													Mindest-Zugfestigkeit R_m MPa												
	°C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
Ferrit	1.4000	220	215	210	205	200	195	190	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4003	240	235	230	220	215	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4016	220	215	210	205	200	195	190	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4509	230	220	210	205	200	180	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4510	195	190	185	175	165	155	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4512	200	195	190	185	180	160	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4520	195	180	170	160	155	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4521	250	240	230	220	210	205	200	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Martensit	1.4005	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4006	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4021	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4028	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4034	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4057	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4104	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4112	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4122	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4313	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4418	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
	1.4542	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)
Duplex	1.4162	365	325	295	275	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	400	360	335	320	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	590	560	540	540	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
	1.4362	330	300	280	265	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	---	---	---	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	540	520	500	490	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
	1.4410	450	420	400	380	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	---	---	---	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	680	660	640	630	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
	1.4460	360	335	310	295	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	---	---	---	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	---	---	---	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
	1.4462	360	335	315	300	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	---	---	---	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	590	570	570	540	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
	1.4501	450	420	400	380	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	---	---	---	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	680	660	660	630	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
	1.4662	385	345	325	315	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	---	---	---	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	615	590	575	---	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)	2)
Austenit	1.4305	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4310	210	200	190	185	180	180	---	---	---	---	---	---	---	230	215	205	200	195	195	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4318	265	200	185	180	170	165	---	---	---	---	---	---	---	300	235	215	210	200	195	---	---	---	---	---	---	---	530	490	460	450	40	430	---	---	---	---	---	---	---
	1.4372	295	260	230	220	205	185	---	---	---	---	---	---	---	325	295	265	250	230	205	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Standard Cr-Ni / V2A	1.4301	157	142	127	118	110	104	98	95	92	90	---	---	---	191	172	157	145	135	129	125	122	120	120	---	---	---	450	420	400	390	380	380	380	370	360	330	---	---	---
	1.4303	155	142	127	118	110	104	98	95	92	90	---	---	---	188	172	157	145	135	129	125	122	120	120	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4306	147	132	118	108	100	94	89	85	81	80	---	---	---	181	162	147	137	127	121	116	112	109	108	---	---	---	410	380	360	350	340	340	---	---	---	---	---	---	---
	1.4307	147	132	118	108	100	94	89	85	81	80	---	---	---	181	162	147	137	127	121	116	112	109	108	---	---	---	410	380	360	350	340	340	---	---	---	---	---	---	---
	1.4311	205	175	157	145	136	130	125	121	119	118	---	---	---	240	210	187	175	167	161	156	152	149	147	---	---	---	490	460	430	420	410	410	---	---	---	---	---	---	---
	1.4315	205	175	157	145	136	130	125	121	119	118	---	---	---	240	210	187	175	167	161	156	152	149	147	---	---	---	490	460	430	420	410	410	---	---	---	---	---	---	---
	1.4541	176	167	157	147	136	130	125	121	119	118	---	---	---	208	196	186	177	167	161	156	152	149	147	---	---	---	440	410	390	385	375	375	375	370	360	330	---	---	---
	1.4550	177	167	157	147	136	130	125	121	119	118	---	---	---	211	196	186	177	167	161	156	152	149	147	---	---	---	435	400	370	350	340	335	330	320	310	300	---	---	---
	1.4567	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Standard Cr-Ni-Mo / V4A	1.4401	177	162	147	137	127	120	115	112	110	108	---	---	---	211	191	177	167	156	150	144	141	139	137	---	---	---	430	410	390	385	380	380	---	---	---	---	---	---	---
	1.4404	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98	---	---	---	199	181	167	157	145	139	135	130	128	127	---	---	---	430	410	390	385	380	380	380	---	360	---	---	---	---
	1.4406	211	185	167	155	145	140	135	131	128	127	---	---	---	246	218	198	83	175	169	164	160	158	157	---	---	---	520	490	460	450	440	435	---	---	---	---	---	---	---
	1.4408	150	---	120	---	100	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4429	211	185	167	155	145	140	135	131	129	127	---	---	---	246	218	198	183	175	169	164	160	158	157	---	---	---	520	490	460	450	440	435	435	---	430	---	---	---	---
	1.4432	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98	---	---	---	199	181	167	157	145	139	135	130	128	127	---	---	---	430	410	390	385	380	380	380	---	360	---	---	---	---
	1.4435	165	150	137	127	119	113	108	103	100	98	---	---	---	200	180	165	153	145	139	135	130	128	127	---	---	---	420	400	380	375	370	370	---	---	---	---	---	---	---
	1.4435 BN2	165	150	137	127	119	113	108	103	100	98	---	---	---	200	180	165	153	145	139	135	130	128	127	---	---	---	420	400	380	375	370	370	---	---	---	---	---	---	---
	1.4436	177	162	147	137	127	120	115	112	110	108	---	---	---	211	191	177	167	156	150	144	141	139	137	---	---	---	460	440	420	415	410	410	410	---	390	---	---	---	---
	1.4571	185	177	167	157	145	140	135	131	129	127	---	---	---	218	206	196	186	175	169	164	160	158	157	---	---	---	440	410	390	385	375	375	375	370	360	330	---	---	---
hochlegiert	1.4434	211	185	167	155	145	140	135	131	129	127	---	---	---	---	218	198	183	175	169	164	160	158	157	---	---	---	500	470	440	430	420	415	415	415	410	390	---	---	---
	1.4438	172	157	147	137	127	120	115	112	110	108	---	---	---	206	188	177	167	156	148	144	140	138	136	---	---	---	430	410	390	385	380	380	---	---	---	---	---	---	---
	1.4439	225	200	185	175	165	155	150	---	---	---	---	---	---	255	230	210	200	190	180	175	---	---	---	---	---	---	520	490	460	450	440	435	---	---	---	---	---	---	---
	1.4466	195	170	160	150	140	135	---	---	---	---	---	---	---	225	205	190	180	170	165	---	---	---	---	---	---	---	490	475	460	450	440	435	---	---	---	---	---	---	---
	1.4539	205	190	175	160	145	135	125	115	110	105	---	---	---	235	220	205	190	175	165	155	145	140	135	---	---	---	500	480	460	450	440	435	---	---	---	---	---	---	---
Superaustenit	1.4529	230	210	190	180	170	165	160	---	---	---	---	---	---	270	245	225	215	205	195	190	---	---	---	---	---	---	550	535	520	500	480	475	---	---	---	---	---	---	---
	1.4547	230	205	190	180	170	165	160	153	148	---	---	---	---	270	245	225	212	200	195	190	184	180	---	---	---	---	615	587	560	542	525	517	510	502	495	---	---	---	---
	1.4562	210	195	180	172	165	158	150	142	135	125	---	---	---	240	225	210	202	195	188	400	172	165	155	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4565	350	310	270	255	240	225	210	210	210	200	---	---	---	400	355	310	290	270	255	240	240	240	230	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4652	350	320	315	310	300	295	295	285	280	275	---	---	---	390	370	355	345	335	330	330	320	310	305	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
hitzebeständig, Ferrit	1.4713	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4724	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4742	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4762	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
hitzebeständig, Austenit	1.4818	200	---	165	---	150	---	140	---	130	---	120	---	110	235	---	195	---	180	---	170	---	160	---	150	---	135	525	---	485	---	475	---	470	---	435	---	385	---	300
	1.4828	140	128	116	108	100	94	91	86	85	84	82	---	---	185	167	154	146	139	132	126	123	121	118	114	---	---	470	450	430	420	410	405	400	385	370	350	320	---	---
	1.4833	140	128	116	108	100	94	91	86	85	84	82	---	---	185	167	154	146	139	132	126	123	121	118	114	---	---	470	450	430	420	410	405	400	385	370	350	320	---	---
	1.4835	230	---	185	---	170	---	160	---	150	---	140	---	130	265	---	215	---	200	---	190	---	180	---	170	---	155	585	---	545	---	535	---	530	---	495	---	435	---	360
	1.4841	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4845	140	128	116	108	100	94	91	86	85	84	82	---	---	185	167	154	146	139	132	126	123	121	118	114	---	---	470	450	430	420	410	405	400	385	370	350	320	---	---
	1.4854	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.4878	162	152	142	137	132	127	123	118	113	108	103	---	---	201	191	181	176	172	167	162	157	152	147	142	---	---	410	390	370	360	350	345	340	335	330	320	300	---	---
warmfest, Austenit	1.4941	162	152	142	137	132	127	123	118	113	108	103	---	---	201	191	181	176	172	167	162	157	152	147	142	---	---	410	390	370	360	350	345	340	335	330	320	300	---	---
	1.4948	157	142	127	117	18	103	98	93	88	83	78	---	---	191	172	157	147	137	132	127	122	118	113	108	---	---	440	410	390	385	375	375	375	370	360	330	300	---	---
	1.4950	140	128	116	108	100	94	91	86	85	84	82	---	---	185	167	154	146	139	132	126	123	121	118	114	---	---	470	450	430	420	410	405	400	385	370	350	320	---	---
	1.4951	140	128	116	108	100	94	91	86	85	84	82	---	---	185	167	154	146	139	132	126	123	121	118	114	---	---	470	450	430	420	410	405	400	385	370	350	320	---	---
Sonderstähle	1.3805	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.3964	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

--- Werte nicht verfügbar

1) im vergüteten Zustand sind die Werte von der Wärmebehandlung abhängig, siehe EN 10088 Teile 2 & 3

2) maximale Dauerbetriebstemperatur 250 °C nach europäischer Druckgeräterichtlinie (PED)

Tieftemperatur-Eigenschaften und Kriech-/Zeitstand-Eigenschaften auf Anfrage

© KOHLER 2021

7.5 physikalische Eigenschaften

1 GPa = 1 kN/mm²

Werkstoff		Dichte kg/dm³	Elastizitätsmodul bei GPa											mittlerer Wärmeausdehnungskoeffizient von 20°C bis x 10-6 / °C										Wärmeleitfähigkeit W/m °C			spezif. Wärme J/kg °C	spez. elektr. Widerstand Ω mm²/m	magnetisierbar
	°C	20	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	200	400	1000	20	20	(geglüht)
Ferrit	1.4000	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.5	11.0	11.5	12.0	12.0	---	---	---	---	---	30	---	---	460	0.60	ja
	1.4003	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.4	10.8	11.2	11.6	11.9	---	---	---	---	---	25	---	---	430	0.60	ja
	1.4016	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.0	10.0	10.5	10.5	11.0	---	---	---	---	---	25	25	---	460	0.60	ja
	1.4509	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.0	10.0	10.5	10.5	---	---	---	---	---	---	25	---	---	460	0.60	ja
	1.4510	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.0	10.0	10.5	10.5	11.0	---	---	---	---	---	25	---	---	460	0.60	ja
	1.4512	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.5	11.0	11.5	12.0	12.0	---	---	---	---	---	25	---	---	460	0.60	ja
	1.4520	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.4	10.8	11.2	11.6	11.9	---	---	---	---	---	20	---	---	430	0.70	ja
	1.4521	7.7	220	215	210	205	195	---	---	---	---	---	---	10.4	10.8	11.2	11.6	11.9	---	---	---	---	---	23	---	---	430	0.80	ja
Martensit	1.4005	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.5	11.0	11.5	12.0	---	---	---	---	---	---	30	---	---	460	0.60	ja
	1.4006	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.5	11.0	11.5	12.0	---	---	---	---	---	---	30	---	---	460	0.60	ja
	1.4021	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.5	11.0	11.5	12.0	---	---	---	---	---	---	30	25	---	460	0.60	ja
	1.4028	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.5	11.0	11.5	12.0	---	---	---	---	---	---	30	25	---	460	0.65	ja
	1.4034	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.5	11.0	11.5	12.0	---	---	---	---	---	---	30	---	---	460	0.55	ja
	1.4057	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.0	10.5	10.5	10.5	---	---	---	---	---	---	25	---	---	460	0.70	ja
	1.4104	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.0	10.5	10.5	10.5	---	---	---	---	---	---	25	---	---	460	0.70	ja
	1.4112	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.4	10.8	11.2	11.6	---	---	---	---	---	---	15	---	---	430	0.80	ja
	1.4122	7.7	215	212	205	200	190	---	---	---	---	---	---	10.4	10.8	11.2	11.6	---	---	---	---	---	---	15	---	---	430	0.80	ja
	1.4313	7.7	200	195	185	175	170	---	---	---	---	---	---	10.5	10.9	11.3	11.6	---	---	---	---	---	---	25	---	---	430	0.60	ja
	1.4418	7.7	200	195	185	175	170	---	---	---	---	---	---	10.3	10.8	11.2	11.6	---	---	---	---	---	---	15	---	---	430	0.80	ja
	1.4542	7.8	200	195	185	175	170	---	---	---	---	---	---	10.9	---	11.1	---	---	---	---	---	---	---	16	---	---	500	0.71	ja
Duplex	1.4162	7.8	205	200	190	180	172	---	---	---	---	---	---	13.0	13.5	14.0	14.5	---	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	ja
	1.4362	7.8	200	194	186	180	172	---	---	---	---	---	---	13.0	13.5	14.0	14.5	---	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.80	ja
	1.4410	7.8	200	194	186	180	172	---	---	---	---	---	---	13.0	13.5	14.0	14.5	---	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.80	ja
	1.4460	7.8	200	194	186	180	172	---	---	---	---	---	---	13.0	13.5	14.0	14.5	---	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.80	ja
	1.4462	7.8	200	194	186	180	172	---	---	---	---	---	---	13.0	13.5	14.0	14.5	---	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.80	ja
	1.4501	7.8	200	194	186	180	172	---	---	---	---	---	---	13.0	13.5	14.0	14.5	---	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.80	ja
	1.4662	7.7	205	200	190	180	---	---	---	---	---	---	---	13.0	13.5	14.0	---	---	---	---	---	---	---	15	---	---	500	0.80	ja
Austenit	1.4305	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	nein 1)
	1.4310	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	17.0	17.0	18.0	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	nein 1)
	1.4318	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	nein 1)
	1.4372	7.8	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	---	---	17.5	---	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.70	nein 1)
Austenit – Standard Cr-Ni / V2A	1.4301	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	nein 1)
	1.4303	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	nein 1) 2)
	1.4306	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	nein 1)
	1.4307	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	nein 1)
	1.4311	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	nein 1) 2)
	1.4315	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	---	---	500	0.73	nein 1)
	1.4541	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.73	nein 1)
	1.4550	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	---	---	500	0.73	nein 1)
	1.4567	7.9	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.7	17.2	17.7	18.1	18.4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	nein 1)
Austenit – Standard Cr-Ni-Mo / V4A	1.4401	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	nein 1)
	1.4404	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	nein 1)
	1.4406	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	nein 1) 2)
	1.4408	7.9	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	15.8	---	17	---	17.7	---	---	---	---	---	15	---	---	530	---	nein 1)
	1.4429	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	14	20	---	500	0.85	nein 1)
	1.4432	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	nein 1)
	1.4435	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	nein 1)
	1.4435 BN2	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	nein 1)
	1.4436	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	nein 1)
	1.4571	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.5	17.5	18.0	18.5	19.0	---	---	---	---	---	15	20	---	500	0.75	nein 1)
Austenit – hochlegiert	1.4434	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---		16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	15	---	---	500	0.75	nein 1)
	1.4438	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	14	20	---	500	0.85	nein 1)
	1.4439	8.0	200	194	186	179	172	165	---	---	---	---	---	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	---	---	---	---	---	14	20	---	500	0.85	nein 1)
	1.4466	8.0	195	190	182	174	166	158	---	---	---	---	---	15.7	---	17.0	---	---	---	---	---	---	---	14	17	---	500	0.80	nein 1)
	1.4539	8.0	195	190	182	174	166	158	---	---	---	---	---	15.8	16.1	16.5	16.9	17.3	---	---	---	---	---	12	18	---	450	1.00	nein 1)
Superaustenit	1.4529	8.1	195	190	182	174	166	158	---	---	---	---	---	15.8	16.1	16.5	16.9	17.3	---	---	---	---	---	12	18	---	450	1.00	nein 1)
	1.4547	8.0	195	190	182	174	166	158	---	---	---	---	---	16.5	17	17.5	18	18	---	---	---	---	---	14	18	---	500	0.85	nein 1)
	1.4562	8.0	198	189	183	176	170	163	---	---	---	---	---	14.3	14.7	15.1	15.5	15.7	---	---	---	---	---	11.7	---	---	450	1.03	nein 1)
	1.4565	8.0	190	186	177	170	165	158	---	---	---	---	---	14.5	15.5	16.3	16.8	17.2	---	---	---	---	---	12	18	---	450	0.92	nein 1)
	1.4652	8.0	190	184	177	170	164	158	---	---	---	---	---	15.0	15.4	15.8	16.2	16.4	---	---	---	---	---	8.6	14.5	---	500	0.78	nein 1)
hitzebeständig – Ferrit	1.4713	7.7	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	11.5	---	12.0	---	12.5	---	13.0	---	---	23	---	---	450	0.70	ja
	1.4724	7.7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	10.5	---	11.5	---	12.0	---	12.5	---	---	21	---	---	500	0.75	ja
	1.4742	7.7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	10.5	---	11.5	---	12.0	---	12.5	---	13.5	19	---	---	500	0.93	ja
	1.4762	7.7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	10.5	---	11.5	---	12.0	---	12.0	---	13.5	17	---	---	500	1.1	ja
hitzebeständig – Austenit	1.4818	7.8	200	---	---	---	---	163	155	---	---	---	120	---	16.5	---	18.0	---	18.5	---	19.0	---	20.0	15	---	29.0	500	0.85	nein 1)
	1.4828	7.9	196	---	---	---	---	---	150	---	---	---	120	---	16.5	---	17.5	---	18.0	---	18.5	---	19.5	15	---	27.5	500	0.85	nein 1)
	1.4833	7.9	196	---	---	---	---	158	150	---	---	---	120	---	16.0	---	17.5	---	18.0	---	18.5	---	19.5	15	---	27.5	500	0.78	nein 1)
	1.4835	7.8	200	---	---	---	---	163	155	---	---	---	120	---	17.0	---	18.0	---	18.5	---	19.0	---	19.5	15	---	29.0	500	0.85	nein 1)
	1.4841	7.9	196	---	---	---	---	158	150	---	---	---	120	---	15.5	---	17.0	---	17.5	---	18.0	---	19.0	15	---	27.8	500	0.90	nein 1)
	1.4845	7.9	196	---	---	---	---	158	150	---	---	---	120	---	15.5	---	17.0	---	17.5	---	18.5	---	19.0	15	---	27.1	500	0.85	nein 1)
	1.4854	7.9	190	---	---	---	---	160	155	---	---	---	130	---	15.5	---	16.5	---	17.0	---	17.5	---	18.0	11	---	26.0	450	1.0	nein 1)
	1.4878	7.9	196	--	---	---	---	158	150	---	---	---	---	---	17.0	---	18.0	---	18.5	---	19.0	---	---	15	---	27.5	472	0.73	nein 1)
warmfest – Austenit	1.4941	7.9	200	190	185	175	170	160	155	145	140	135	125	16.3	16.9	17.3	17.8	18.2	18.5	18.7	---	---	---	17	---	---	450	0.71	nein 1)
	1.4948	7.9	200	190	185	175	170	160	155	145	140	135	125	16.3	16.9	17.3	17.8	18.2	18.5	18.7	---	---	---	17	---	28.8	450	0.71	nein 1)
	1.4950	7.9	200	190	185	175	170	160	155	145	140	135	125	---	16.0	16.8	17.5	18.0	18.0	18.3	18.5	19.0	19.5	15	---	---	500	0.78	nein 1)
	1.4951	7.9	200	190	185	175	170	160	155	145	140	135	125	---	15.5	16.3	17.0	17.3	17.5	18.0	18.5	18.8	19.0	15	---	---	500	0.85	nein 1)
Sonderstähle	1.3805	7.8	190	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	16.5	18.3	19.4	20.3	---	---	---	---	---	---	15	---	---	---	0.7	nein
	1.3964	7.9	195	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	15.7	17	17.5	17.8	---	---	---	---	---	---	14	---	---	---	0.8	nein

--- Werte nicht verfügbar
1) durch Kaltumformung entstandene geringe Anteile an Ferrit und/oder Martensit erhöhen die Magnetisierbarkeit
2) Güte geeignet für tiefe Permeabilitätsanforderung m = max. 1.005

© KOHLER 2021

7.6 Warmumformung und Wärmebehandlung

Werkstoff		Warmumformung		Kurzzeichen für die Wärmebehandlung 1)	Glühen, Lösungsglühen		Kurzzeichen für die Wärmebehandlun 1)	Abschrecken (Härten)		Anlassen	Verzunderungstemp. an Luft
		°C	Abkühlungsart		°C	Abkühlungsart		°C	Abkühlungsart	°C	°C
Ferrit	1.4000	1100 - 800	Luft	+A	750 - 810	Luft, Wasser	---	---	---	---	---
	1.4003	1100 - 800	Luft	+A	700 - 760	Luft, Wasser	---	---	---	---	---
	1.4016	1100 - 800	Luft	+A	770 - 830	Luft, Wasser	---	---	---	---	800
	1.4509	1100 - 800	Luft	+A	870 - 930	Luft, Wasser	---	---	---	---	950
	1.4510	1100 - 800	Luft	+A	770 - 830	Luft, Wasser	---	---	---	---	900
	1.4512	1100 - 800	Luft	+A	770 - 830	Luft, Wasser	---	---	---	---	---
	1.4520	1100 - 800	Luft	+A	820 - 880	Luft, Wasser	---	---	---	---	---
	1.4521	1100 - 800	Luft	+A	820 - 880	Luft, Wasser	---	---	---	---	---
Martensit	1.4005	1100 - 800	Luft	+A	745 - 825	Luft	+QT650	950 - 1000	Öl, Luft	680 - 780	2)
	1.4006	1100 - 800	Luft	+A	750 - 810	Luft	+QT650	950 - 1010	Öl, Luft	620 - 700	2)
	1.4021	1100 - 800	langsames Abkühlen	+A	745 - 825	Luft	+QT750	950 - 1010	Öl, Luft	620 - 700	2)
	1.4028	1100 - 800	langsames Abkühlen	+A	745 - 825	Luft	+QT800	950 - 1010	Öl, Luft	650 - 730	2)
	1.4034	1100 - 800	langsames Abkühlen	+A	750 - 850	Ofen, Luft	+QT850	950 - 1050	Öl, Luft	650 - 700	2)
	1.4057	1100 - 800	langsames Abkühlen	+A	680 - 800	Ofen, Luft	+QT900	950 - 1050	Öl, Luft	600 - 650	2)
	1.4104	1100 - 800	Luft	+A	750 - 850	Ofen, Luft	+QT650	950 - 1070	Öl, Luft	550 - 650	2)
	1.4112	1100 - 800	langsames Abkühlen	+A	780 - 840	Ofen, Luft	---	---	---	---	2)
	1.4122	1100 - 800	langsames Abkühlen	+A	750 - 850	Ofen, Luft	+QT750	950 - 1050	Öl, Luft	600 - 650	2)
	1.4313	1150 - pöü900	Luft	+A	600 - 650	Ofen, Luft	+QT900	950 - 1050	Öl, Luft, Wasser	510 - 590	2)
	1.4418	1150 - 900	Luft	+A	600 - 650	Ofen, Luft	+QT840	900 - 1000	Öl, Luft, Wasser	570 - 650	2)
	1.4542	1150 - 900	Luft	---	---	---	+P1300	1025 - 1055	Luft	470 - 490 (1h)	2)
Duplex	1.4162	1100 - 900	Luft	+AT	1020 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	2)
	1.4362	1200 - 1000	Luft	+AT	950 - 1050	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	2)
	1.4410	1200 - 1000	Luft	+AT	1040 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	2)
	1.4460	1200 - 950	Luft	+AT	1020 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	2)
	1.4462	1200 - 950	Luft	+AT	1020 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	2)
	1.4501	1200 - 1000	Luft	+AT	1040 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	2)
	1.4662	1120 - 900	Luft	+AT	1080 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	2)
Austenit, Standard Cr-Ni / V2A	1.4305	1200 - 900	Luft	+AT	1000 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	2)
	1.4310	1200 - 900	Luft	+AT	1000 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	2)
	1.4318	1150 - 850	Luft	+AT	1020 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	2)
	1.4372	1150 - 850	Luft	+AT	1000 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	2)
Austenit, Standard Cr-Ni-Mo / V4A	1.4301	1200 - 900	Luft	+AT	1000 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4303	1200 - 900	Luft	+AT	1000 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4306	1200 - 900	Luft	+AT	1000 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4307	1200 - 900	Luft	+AT	1000 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4311	1200 - 900	Luft	+AT	1000 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4315	1150 - 850	Luft	+AT	1000 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4541	1200 - 900	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4550	1150 - 850	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4567	1200 - 900	Luft	+AT	1000 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4401	1200 - 900	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4404	1200 - 900	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4406	1200 - 900	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4408	---	---	---	1080 - 1150	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	---
	1.4429	1200 - 900	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4432	1200 - 900	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4435	1200 - 900	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4435 BN2	1200 - 900	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4436	1200 - 900	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4571	1200 - 900	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
Austenit, hochlegiert	1.4434	1150 - 850	Luft	+AT	1070 - 1150	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	---
	1.4438	1150 - 850	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	---
	1.4439	1200 - 900	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	---
	1.4466	1150 - 850	Luft	+AT	1070 - 1150	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	1000
	1.4539	1200 - 900	Luft	+AT	1050 - 1150	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	1000
Superaustenit	1.4529	1200 - 950	Luft	+AT	1120 - 1180	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	---
	1.4547	1200 - 1000	Luft	+AT	1140 - 1200	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	1000
	1.4562	1200 - 1050	Luft	---	1130 - 1180	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	---
	1.4565	1200 - 950	Luft	+AT	1120 - 1170	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	---
	1.4652	1200 - 1000	Luft	+AT	1150 - 1200	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	1000
hitzebeständig, Ferrit	1.4713	1100 - 750	Luft	+A	780 - 840	Luft, Wasser	---	---	---	---	800
	1.4724	1100 - 750	Luft	+A	800 - 860	Luft, Wasser	---	---	---	---	850
	1.4742	1100 - 750	Luft	+A	800 - 860	Luft, Wasser	---	---	---	---	1000
	1.4762	1100 - 750	Luft	+A	800 - 860	Luft, Wasser	---	---	---	---	1150
hitzebeständig, Austenit	1.4818	1150 - 900	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	1050
	1.4828	1150 - 950	Luft	+AT	1050 - 1150	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	1000
	1.4833	1150 - 950	Luft	+AT	1050 - 1150	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	1000
	1.4835	1150 - 900	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	1150
	1.4841	1150 - 980	Luft	+AT	1050 - 1150	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	1150
	1.4845	1150 - 980	Luft	+AT	1050 - 1150	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	1050
	1.4854	1150 - 980	Luft	+AT	1050 - 1150	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	1170
	1.4878	1150 - 850	Luft	+AT	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
warmfest, Austenit	1.4941	1150 - 850	Luft	+AT	1050 - 1110	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4948	1150 - 850	Luft	+AT	1050 - 1110	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4950	1150 - 850	Luft	+AT	1050 - 1150	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
	1.4951	1150 - 850	Luft	+AT	1050 - 1150	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	850
Sonderstähle	1.3805	1150 - 950	---	---	1000 - 1100	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	---
	1.3964	1150 - 950	---	---	1020 - 1120	Wasser, Luft 3)	---	---	---	---	---

--- Werte nicht verfügbar

1) +A = geglüht, +AT = lösungsgeglüht, +QT = vergütet, +P = ausscheidungsgehärtet; weitere Wärmebehandlungszustände siehe EN 10088 Teile 2 & 3

2) nicht für Hochtemperaturanwendungen geeignet

3) Abkühlung ausreichend schnell

© KOHLER 2021

7.7 Ferritberechnung/Schaeffler-Diagramm

Die Gefüge resp. der Ferritgehalt von Edelstählen sind primär von der chemischen Zusammensetzung abhängig. Dabei spielen die einzelnen Legierungselemente eine unterschiedliche Rolle. Man unterscheidet zwischen Austenit bildenden und Ferrit bildenden Elementen:

Austenitbildner:	Ni, C, Mn, Cu, Co, N
Ferritbildner:	Cr, Mo, Si, Ti, Nb

Aus den Austenitbildnern errechnet sich das sogen. Nickel-Äquivalent und aus den Ferritbildnern das sogen. Chrom-Äquivalent, d.h. die entsprechenden Elemente wirken sich auf die Austenit-Ferritbildung analog aus wie Ni resp. Cr aber mit unterschiedlicher Intensität. Deshalb werden sie in den entsprechenden Formeln auch unterschiedlich gewichtet ([Cr] = Gehalt an Cr in Gewichts-%).

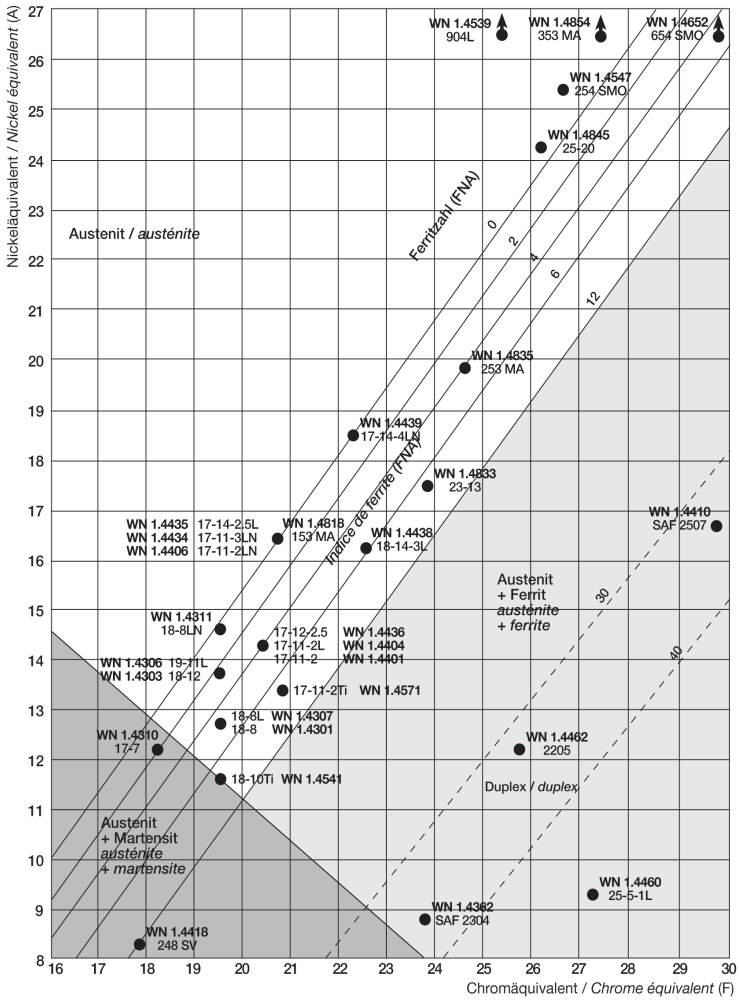
Cr - Äquivalent F = $[Cr] + 1.5[Si] + [Mo] + 2[Ti] + 0.5[Nb]$
Ni - Äquivalent A $= [Ni] + 0.5\{[Mn] + [Cu] + [Co]\} + 30\{[N] + [C]\}$

Aus sogen. Schaeffler-Diagrammen (benannt nach ihrem Erfinder) kann aufgrund dieser Äquivalente der Ferritgehalt herausgelesen werden. Das Problem an der Sache ist, dass es verschiedene solche Diagramme gibt (ursprüngliche und modifizierte), die sich v.a. in der in die Berechnung einbe-zogenen Elemente und ihrer Gewichtung unterscheiden, und dass sich diese Diagramme i.a. auf schnellerstarrtes Schweissgut beziehen. Da der Ferritgehalt aber durch die Abkühlgeschwindigkeit aus der Schmelze und allfällige anschliessende Wärmebehandlungen beeinflusst wird, sind diese Diagramme für das Grundmaterial mit Vorsicht zu geniessen, d.h. der effektive Ferritgehalt kann von den Diagrammwerten abweichen. Da der Ferritgehalt die Korro-sionsbeständigkeit negativ beeinflussen kann, empfiehlt es sich, falls für eine Anwendung ein speziell tiefer resp. definierter Ferritgehalt gefordert wird, das Material nach der Norm der Basler Chemie (sogen. Basler - Norm BN2) zu bestellen. Solches Material ist bei uns erhältlich.

Ferritzahlen nach Outokumpu:
Outokumpu, unser Hauptlieferant für rostfreies Material, arbeitet zudem noch mit Ferritnummern FNA (**F**errite **N**umber **A**vesta). Diese errechnen sich aus den Cr- und Ni- Äquivalenten mit folgenden Formeln:

FNA = 3.34F – 2.46A – 28.6 (für FNA < 6.0)
FNA = 4.44F – 3.39A – 38.4 (für FNA = 6.0–12.0)
FNA = 4.06F – 3.23A – 32.2 (für FNA > 12.0)

Austenitischer Standardstahl von Outokumpu hat normalerweise einen FNA-Wert von max 6.0. Der Zusammenhang zwischen der FNA und dem effektiven Ferritgehalt in % kann nicht einfach erklärt werden. Bei FNA < 12 entspricht die FNA ziemlich genau dem effektiven Ferritgehalt in %, d.h. FNA = 12 entspricht einem Ferritgehalt von ca. 12%. Für höhere FNAs gilt dieser Vergleich nicht mehr.
Zu den FNA gehört natürlich das entsprechend modifizierte Schaeffler Diagramm (s.u.).



© KOHLER 2021

7.8 EN 10088 – neue Oberflächenbezeichnungen Kurzzeichen für Ausführungsart und Oberfläche

Produkt	EN 10088	Ausführungsart	Oberflächen-beschaffenheit	Erzeugnisform					DIN 17440 DIN 17441
	Kurzzeichen			Flacherzeugnisse	Walzdraht	Stäbe	Profile	Halbzeug	alte Kurzzeichen
warmgewalzt, warmverformt	1U	warmgeformt, nicht wärmebehandelt, nicht entzundert	Walzzunder	×	×	×	×	×	a1
	1C	warmgeformt, wärmebehandelt, nicht entzundert	Walzzunder	×	×	×	×	×	b (Ic)
	1E	warmgeformt, wärmebehandelt, mechanisch entzundert	zunderfrei	×	×	×	×	×	c1 (IIa)
	1D	warmgeformt, wärmebehandelt, gebeizt	zunderfrei	×	×	×	×		c2 (IIa)
	1X	warmgeformt, wärmebehandelt, vorbearbeitet (geschält/vorgedreht)	metallisch sauber			×	×		
kaltgewalzt, kalt weiter-verarbeitet	2H	kaltverfestigt	blank	×		×	×		f (IIIa)
	2C	kaltgewalzt, wärmebehandelt, nicht entzundert	glatt, Wärme-behandlungszunder	×					
	2E	kaltgewalzt, wärmebehandelt, mechanisch entzundert	rau, stumpf	×					
	2D	kalt weiterverarbeitet, wärmebehandelt, gebeizt	glatt	×		×	×		h (IIIb)
	2B	wärmebehandelt, bearbeitet, (geschält), mechanisch geglättet	glatter als 1E, 1D, 1X			×	×		n (IIIc)
	2B	kaltgewalzt, wärmebehandelt, gebeizt, kalt nachgewalzt	glatter als 2D	×					n (IIIc)
	2R	kaltgewalzt, blankgeglüht	glatt, blank, reflektierend	×					m (IIId)
	2Q	kaltgewalzt, gehärtet und angelassen, zunderfrei	zunderfrei	×					
Sonderaus-führungen, besondere End-verarbeitungen	1G/2G	geschliffen	gleichmässige Ausführung	×		×	×		o (IV)
	1J/2J	gebürstet oder mattpoliert	glatter als geschliffen	×					q
	1K/2K	seidenmattpoliert	matt	×					p (V)
	1P/2P	poliert, blankpoliert	blank	×		×	×		p (V)
	2F	kaltgewalzt, wärmebehandelt, kalt nach-gewalzt mit aufgerauten Walzen	matt, nicht reflektierend	×					
	1M/2M	einseitig gemustert	zu vereinbaren	×					
	2W	gewellt	zu vereinbaren	×					
	2L	eingefärbt	zu vereinbaren	×					
	1S/2S	oberflächenbeschichtet	nur einseitig	×					

Ausführlichere Angaben sind in der Norm EN 10088 Teile 2 & 3 aufgeführt

© KOHLER 2021

7.9 Ausführungsarten von Längsnaht-geschweissten Rohren

EN 10217-7 Kurzzeichen	**Art des Lieferzustandes**[a]	**Oberflächenbeschaffenheit**	**DIN 17457** alte Kurzzeichen
W0[b]	geschweisst aus warm- oder kaltgewalztem Blech oder Band 1D, 2D, 2E, 2B	geschweisst	d0 / k0
W1[b]	geschweisst aus warmgewalztem Blech oder Band 1D, entzundert	metallisch sauber	d1
W1A[b]	geschweisst aus warmgewalztem Blech oder Band 1D, wärmebehandelt, entzundert	metallisch sauber	d2
W1R[b]	geschweisst aus warmgewalztem Blech oder Band 1D, blankgeglüht	metallisch blank	d3
W2[b]	geschweisst aus kaltgewalztem Blech oder Band 2D, 2E, 2B, entzundert	metallisch sauber	k1
W2A[b]	geschweisst aus kaltgewalztem Blech oder Band 2D, 2E, 2B, wärmebehandelt, entzundert	mit Ausnahme der Schweissnaht, wesentlich glatter als W1 und W1A	k2
W2R[b]	geschweisst aus kaltgewalztem Blech oder Band 2D, 2E, 2B, blankgeglüht	metallisch blank	k3
WCA	geschweisst aus warm- oder kaltgewalztem Blech oder Band 1D, 2D, 2E, 2B, wärmebehandelt, soweit zweckmässig, mindestens 20 % kaltumgeformt, wärmebehandelt, mit rekristallisiertem Schweissgut, entzundert	metallisch sauber, Schweissnaht kaum sichtbar	l1
WCR	geschweisst aus warm- oder kaltgewalztem Blech oder Band 1D, 2D, 2E, 2B, wärmebehandelt, soweit zweckmässig, mindestens 20 % kaltumgeformt, blankgeglüht, mit rekristallisiertem Schweissgut	metallisch blank, Schweissnaht kaum sichtbar	l2
WG	geschliffen[c]	metallisch blank geschliffen; Art des Schleifens und zu erreichende Rauheit sind bei der Anfrage und Bestellung zu vereinbaren[d]	o
WP	poliert[c]	metallisch blank poliert; Art des Polierens und zu erreichende Rauheit sind bei der Anfrage und Bestellung zu vereinbaren[d]	p

a Symbole des Lieferzustandes nach EN 10088-2

b wenn Rohre mit geglätteten Schweissnähten («Schweissnaht abgearbeitet») bestellt werden, ist der Buchstabe «b» an das Kurzzeichen für den Lieferzustand anzuhängen (Beispiel: W2Ab)

c üblicherweise wird Ausgangsmaterial im Lieferzustand W2, W2A, W2R, WCA oder WCR verwendet

d in der Bestellung sollte in jedem Fall angegeben werden, ob innen oder aussen zu schleifen oder zu polieren ist

© KOHLER 2021

7.10 Härtevergleichstabelle

Rockwell				Vickers	Brinell	Zugfestigkeit
A	B	C	D	HV	HB	R_m
120°	1/16“	120°	120°	136°	10	
60	100	150	100	10	3000	[N/mm²]
92.0		80.0	86.5			
91.5		79.0	85.5			
91.0		78.0	84.5			
90.5		77.0	84.0			
90.0		76.0	83.0	1100		
89.5		75.0	82.5			
89.0		74.0	81.5			
88.5		73.0	81.0			
88.0		72.0	80.0			
87.0		71.0	79.5	1000		
86.5		70.0	78.5	980		
86.0		69.0	78.0	960		
85.6		68.0	76.9	940		
85.3		67.5	76.5	920		
85.0		67.0	76.1	900		2780
84.7		66.4	75.7	880		
84.4		65.9	75.3	860		
84.1		65.3	74.8	840		
83.8		64.7	74.3	820		
83.4		64.0	73.8	800		2580
83.0		63.3	73.3	780		
82.6		62.5	72.6	760		
82.2		61.8	72.1	740		
81.8		61.0	71.5	720		
81.3		60.1	70.8	700		2380
81.1		59.7	70.5	690	656	2340
80.8		59.2	70.1	680	646	2300
80.6		58.8	69.8	670	637	2260
80.3		58.3	69.4	660	627	2220
80.0		57.8	69.0	650	618	2180
79.8		57.3	68.7	640	608	2145
79.5		56.8	68.3	630	599	2105
79.2		56.3	67.9	620	589	2070
78.9		55.7	67.5	610	580	2030
78.6		55.2	67.0	600	570	1995
78.4		54.7	66.7	590	561	1955
78.0		54.1	66.2	580	551	1920
77.8		53.6	65.8	570	542	1880
77.4		53.0	65.4	560	532	1845
77.0		52.3	64.8	550	523	1810
76.7		51.7	64.4	540	513	1775
76.4		51.1	63.9	530	504	1740
76.1		50.5	63.5	520	494	1700
75.7		49.8	62.9	510	485	1665
75.3		49.1	62.2	500	475	1630
74.9		48.4	61.6	490	466	1595
74.5		47.7	61.3	480	456	1555
74.1		46.9	60.7	470	447	1520
73.6		46.1	60.1	460	437	1485
73.3		45.3	59.4	450	428	1455
73.0		44.5	58.8	440	418	1420
72.3		43.6	58.2	430	408	1385
71.8		42.7	57.5	420	399	1350
71.4		41.8	56.8	410	389	1320
70.8		40.8	56.0	400	380	1290

Rockwell				Vickers	Brinell	Zugfestigkeit
A	B	C	D	HV	HB	R_m
120°	1/16“	120°	120°	136°	10	
60	100	150	100	10	3000	[N/mm²]
70.3		39.8	55.3	390	370	1255
69.8		38.8	54.4	380	361	1220
69.2		37.7	53.6	370	351	1190
68.7		36.6	52.8	360	342	1155
68.1		35.5	51.9	350	332	1125
67.6		34.4	51.1	340	323	1095
67.0		33.3	50.2	330	313	1060
66.4		32.2	49.4	320	304	1030
65.8		31.0	48.4	310	294	995
65.2		29.8	47.5	300	285	965
64.8		29.2	47.1	295	280	950
64.5	105.0	28.5	46.5	290	275	930
64.2	104.5	27.8	46.0	285	271	915
63.8	104.0	27.1	45.3	280	266	900
63.5	103.0	26.4	44.9	275	261	880
63.1	102.0	25.6	44.3	270	256	865
62.7	101.5	24.8	43.7	265	252	850
62.4	101.0	24.0	43.1	260	247	635
62.0	100.0	23.1	42.2	255	242	820
61.6	99.5	22.2	41.7	250	237	800
61.2	98.8	21.3	41.1	245	233	785
60.7	98.1	20.3	40.3	240	228	770
	97.4	19.0		235	223	755
	96.7	17.5		230	219	740
	96.0	16.0		225	214	720
	95.0			220	209	705
	94.0			215	204	690
	93.5			210	199	675
	92.5			205	195	660
	91.5			200	190	640
	90.5			195	185	625
	89.5			190	181	610
	88.3			185	176	595
	87.1			180	171	575
	86.0			175	166	560
	85.0			170	162	545
	83.2			165	156	530
	81.7			160	152	510
	80.2			155	147	495
	78.7			150	143	480
	76.8			145	138	465
	75.0			140	133	450
	73.0			135	128	430
	71.2			130	124	415
	69.0			125	119	400
	66.7			120	114	385
	64.5			115	109	370
	62.3			110	105	350
	59.3			105	100	335
	56.2			100	95	320
	52.0			95	90	305
	48.0			90	85	285
	41.0			85	81	270
				80	76	255

© KOHLER 2021

Reinigungsmittel für korrosionsbeständige Oberflächen

Reinigungsmittel	Zusammensetzung	Einsatzgebiete
Allzweckreiniger	Tenside, Wasser, oft Zusatz von Phosphaten und Ammoniumhydroxid	Geeignet bei leichteren Fettverschmutzungen
Neutralreiniger	Tenside, Wasser und Duftstoffe	Oberflächen, die mit Fett und Öl verschmutzt sind (Fingerabdrücke). Auch für Haushaltgeräte geeignet.
Alkoholreiniger	Tenside, Alkohol, Wasser und Duftstoffe	Geeignet bei leichteren Fettverschmutzungen
Alkalische Reiniger	Tenside, Wasser und Alkali, häufig werden noch wasserlösliche organische Lösemittel zugesetzt (pH-Wert über 10).	Bei starken Fett- und Ölverschmutzungen (verharzte Öle) in der Nahrungsmittelindustrie sowie für Fassadenreinigung. Gegenüber starken Alkalien sind rostbeständige Stähle unempfindlich.
Abrasiv wirkende alkalische Reiniger	Tenside, Wasser und Alkali, vielfach sind noch wasserlösliche organische Lösemittel enthalten. Als Abrasive sind feine Poliermittel, meist Schlämmkreide beigemischt.	Für starke Fettverschmutzungen und Ablagerungen von mineralischen Substanzen wie Russ, Rost, leichte Wasserflecken von kalkhaltigem Wasser. Einsatz bei Fassaden und im Küchenbereich. Um wirksam zu sein, müssen die Poliermittel härter als der Schmutz, jedoch weicher als die Stahloberfläche sein.
Lösungsmittelreiniger	Gemisch von organischen Lösemitteln, z. B. Chlorkohlenwasserstoffen (Trichlorethen, Perchlorethen), die nicht brennbar, jedoch gesundheitsgefährdend und mit Wasser nicht mischbar sind. Brennbare Lösungsmittel sind u. a. Benzin oder Terpentin.	Besonders geeignet zum Entfernen von Verschmutzungen, wie Fett, Öl, Wachs, Teer, Klebstoffe, Lacke, Farben. **Hinweis:** Vorschriften zur Unfallverhütung beachten. Atemschutz bei gesundheitsschädlichen Dämpfen. Gute Durchlüftung und Vorschriften für feuergefährliche Flüssigkeiten beachten.
Abrasivfreie Emulsionsreiniger	Tenside, Wasser, mit Wasser nicht mischbare organische Lösemittel, häufig mit zusätzlichen Alkalien gemischt.	Für starke Fettverschmutzungen, Wachse, Teer, Farben. Sie sind besser als abrasivfreie alkalische Reiniger, jedoch schlechter als Lösungsmittelreiniger. **Hinweis:** Geruchsbelästigung, gute Durchlüftung notwendig, Vorschriften für feuergefährliche Flüssigkeiten beachten.
Abrasivhaltige Emulsionsreiniger	Wie abrasivfreie Emulsionsreiniger, enthalten jedoch zusätzlich Poliermittel.	Wie abrasiv wirkende alkalische Reiniger, aber bessere Reinigungswirkung bei Fettschmutz und Entfernung von Teer. **Hinweis:** Vorschriften zur Unfallverhütung wie bei Lösungsmittelreinigern beachten.
Desinfektionsreiniger	Häufigste Arten: – quartäre Ammoniumverbindungen mit Wasserzusatz, wirken als kationische Tenside gleichzeitig reinigend und desinfizierend – Aldehyde, Tenside und Wasser – Chlorreiniger (Natriumhypochlorit, Tenside, Alkali, Wasser) – Phenolhaltige Produkte im Medizinalbereich	Nahrungsmittelindustrie, Küchenbereich, Spitäler usw. Wirkung auf krankheitserregende, pathogene Keime, unterschiedlich je nach Desinfektionswirkstoff. Es sollten Produkte verwendet werden, die für Hygiene und Mikrobiologie empfohlen werden. **Hinweis:** Langzeiteinwirkung von Natriumhypochlorit kann Korrosion auslösen.

© KOHLER 2021

Reinigungsmittel	Zusammensetzung	Einsatzgebiete
Chlorreiniger	Natriumhypochlorit, Tenside, Alkali und Wasser	Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie, Milchwirtschaft, Küchenbereich, Sanitärbereich. Chlorreiniger wirken reinigend und desinfizierend. **Hinweis:** Langzeiteinwirkung einer hohen Konzentration kann den Werkstoff schädigen. Der pH-Wert darf nicht unter 8 absinken, da sich sonst unterchlorige, schädigende Säure bildet. Teilweise kann auch Chlorwasserstoff (Salzsäure) freigesetzt werden.
Saure Reiniger	Säurekomponente wie Phosphorsäure, Salpetersäure, Sulfaminsäure, säurebeständige Tenside, Wasser, teilweise Duftstoffe	Entfernung von Kalkablagerungen, Rostablagerungen, fettgebundenem Pigmentschmutz, leichteren Fettverschmutzungen. Einsatz in der Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie, Sanitärbereich, Küchen und Fassaden. **Hinweis:** Reingungsmittel müssen frei sein von Halogenen (Chlorid- und Fluorionen) d. h. sie dürfen keine Salz- oder Flusssäure enthalten. Solche Säuren wirken schädigend auf die Oberfläche.
Reinigungsmittel für Hochdruckreiniger	Geeignet sind: alkalische, neutrale oder saure Mittel. Je nach Anwendung sind sie schaumarm oder schaumreich eingestellt.	Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie, Küchenbereich, Molkereien, Fassaden usw. Schaumreiche Produkte werden z. B. zur Reinigung von Räucherkammern eingesetzt. Durch die Schaumbildung wird das Ablaufen des Reinigungsmittels an der Wand verhindert, wodurch seine Einwirkungszeit verlängert wird.
Mittel zur gleichzeitigen Reinigung und Konservierung	Diese Produkte enthalten Pflegekomponenten wie Hartwachse, Kunststoffe, Silikone und reinigungswirksame Substanzen. Man unterscheidet hauptsächlich folgende Arten: – Lösungsmittelkonservierer (Pflegekomponente und organisches Lösemittel) – Abrasivfreie Emulsion (Pflegekomponente, Tenside, Wasser und organische Lösemittel) – Abrasivhaltige Emulsion (Pflegekomponente, Tenside, Wasser, organische Lösungsmittel und weiche Poliermittel. Solche Produkte werden auch «Metallpolish» genannt.	Nur empfehlenswert bei leichteren Verschmutzungen im Sanitär- und Küchenbereich sowie Fassadenpflege. Die Konservierung schützt die Oberfläche vor Flugrost und vor anderen schädigenden Fremdsubstanzen. **Hinweis:** Bei langer Einwirkung von Flugrost besteht die Gefahr einer elektrochemischen Korrosion. Bei Fassaden besteht die Gefahr, dass Schmutz in das Konservierungsmittel eingebettet wird und die Oberfläche beeinträchtigt.
Konservierungsmittel	– Lösungsmittelkonservierer, welche organische Lösemittel und Pflegekomponenten enthalten. – Emulsionskonservierer aus Pflegekomponenten, Wasser und Tenside als Emulgatoren	Reinigt und konserviert die Oberfläche, schützt gleichzeitig vor Flugrost und anderen schädigenden Substanzen.

Literaturnachweis: «So reinigt man Edelstahl rostfrei»
Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, D-4000 Düsseldorf 1

© KOHLER 2021

7.12 Bescheinigungen gemäss EN 10204

Art der Bescheinigung	neu **EN 10204:2004**	alt **EN 10204:1991 (DIN 50049)**
Werksbescheinigung Bescheinigung, in der der Hersteller bestätigt, dass die gelieferten Erzeugnisse den Anforderungen der Bestellung entsprechen, ohne Angaben von Prüfergebnissen	**2.1**	2.1
Werkszeugnis Bescheinigung, in welcher der Hersteller bestätigt, dass die gelieferten Erzeugnisse den Anforderungen der Bestellung entsprechen, mit Angabe von Ergebnissen nichtspezifischer Prüfungen	**2.2**	2.2
Werksprüfzeugnis Bescheinigung, in welcher der Hersteller bestätigt, dass die gelieferten Erzeugnisse den Anforderungen der Bestellung entsprechen, mit Angabe von Ergebnissen spezifischer Prüfungen	entfallen	2.3
Abnahmeprüfzeugnis Bescheinigung, herausgegeben vom Hersteller, in der er bestätigt, dass die gelieferten Erzeugnisse die in der Bestellung festgelegten Anforderungen erfüllen, mit Angabe der Prüfergebnisse. Die Bescheinigung wird bestätigt von einem von der Fertigungsabteilung unabhängigen Abnahmebeauftragten des Herstellers.	**3.1**	3.1.B
Abnahmeprüfzeugnis (alt: Abnahmeprüfprotokoll) Bescheinigung, in der sowohl von einem von der Fertigungsabteilung unabhängigen Abnahmebeauftragten des Herstellers als auch vom Abnahmebeauftragten des Bestellers oder dem in den amtlichen Vorschriften genannten Abnahmebeauftragten bestätigt wird, dass die gelieferten Erzeugnisse die in der Bestellung festgelegten Anforderungen erfüllen, mit Angabe der Prüfergebnisse.	**3.2**	3.1.A 3.1.C 3.2

Übersetzung der Bescheinigungen nach EN 10204 (DIN 50049)

deutsch	französisch	italienisch	englisch
Werksbescheinigung	*Attestation de conformité à la commande*	Attestato di conformità all'ordinazione	Declaration of compliance with the order
Werkszeugnis	*Relevé de contrôle*	Attestato di controllo	Test report
Werksprüfzeugnis	*Relevé de contrôle spécifique*	Dichiarazione di conformità	Specific report
Abnahmeprüfzeugnis	*Certificat de réception*	Certificato di collaudo	Inspection certificate
Abnahmeprüfprotokoll	*Procès-verbal de réception*	Verbale di collaudo	Inspection report

© KOHLER 2021

7.13 Gewichtstabelle von Rund-, Vierkant- und Sechskantstahl

Gewicht in Kilogramm pro Meter [kg/m], berechnet mit einer Dichte von 7,85 g/cm3

Dicke mm	●	■	⬢
0,5	0,002	0,002	0,002
1	0,006	0,008	0,006
1,5	0,014	0,018	0,014
2	0,025	0,031	0,025
2,5	0,039	0,049	0,039
3	0,06	0,07	0,06
3,5	0,08	0,10	0,08
4	0,10	0,12	0,10
4,5	0,13	0,20	0,14
5	0,15	0,23	0,17
6	0,22	0,28	0,25
7	0,30	0,39	0,33
8	0,39	0,50	0,44
9	0,50	0,64	0,55
10	0,62	0,79	0,68
11	0,75	0,95	0,82
12	0,89	1,13	0,98
13	1,04	1,33	1,15
14	1,21	1,54	1,33
15	1,39	1,77	1,53
16	1,58	2,01	1,74
17	1,78	2,27	1,97
18	2,00	2,54	2,20
19	2,23	2,83	2,45
20	2,47	3,14	2,80
21	2,72	3,46	3,00
22	2,98	3,80	3,29
23	3,26	4,15	3,60
24	3,55	4,52	3,91
25	3,85	4,91	4,25
26	4,17	5,31	4,60
27	4,50	5,72	4,96
28	4,83	6,15	5,33
29	5,19	6,60	5,72
30	5,55	7,77	6,12
32	6,31	8,04	6,96
34	7,13	9,08	7,86
36	8,00	10,17	8,81
38	8,90	11,34	9,81
40	9,87	12,56	10,88
41	10,30	13,20	11,38
42	10,88	13,85	12,00
44	11,94	15,20	13,16
46	13,05	16,61	14,39
48	14,21	18,09	15,66
50	15,41	19,63	17,00
52	16,67	21,23	18,83
54	17,98	22,89	19,82
55	18,65	23,48	20,57
56	19,34	24,62	21,32
58	20,74	26,41	21,47
60	22,20	28,26	24,47
62	23,70	30,17	26,13
64	25,25	32,15	27,85
65	26,05	33,16	28,72
66	26,86	34,20	29,61
68	28,51	36,30	31,44
70	30,21	38,47	33,31
72	31,96	40,69	35,24
74	33,76	42,99	37,23
75	34,68	44,13	38,24
76	35,61	45,34	39,27
78	37,51	47,76	41,36
80	39,46	50,24	43,51
85	44,45	56,72	49,12
90	49,95	63,59	55,07
95	55,64	70,85	61,46

Dicke mm	●	■	⬢
100	61,65	78,50	67,98
105	67,97	86,55	74,95
110	74,60	94,99	82,26
115	81,54	103,82	89,91
120	88,78	113,04	97,90
125	96,33	122,66	106,22
130	104,20	132,66	114,90
135	112,36	143,07	123,90
140	120,84	153,86	133,25
145	129,63	165,04	142,93
150	138,7	176,6	153,0
155	148,1	188,6	163,8
160	157,8	201,0	174,0
165	167,9	213,7	185,1
170	178,2	226,9	196,5
175	188,8	240,4	208,2
180	199,8	254,3	220,3
185	211,0	268,7	232,6
190	222,6	283,4	245,4
195	234,4	298,4	258,5
200	246,6	314,0	272,0
205	259,1	329,9	288,9
210	271,9	346,2	299,8
215	285,0	362,9	314,3
220	298,4	380,0	329,0
225	312,1	397,4	344,2
230	326,1	415,3	359,6
235	340,5	433,5	375,4
240	355,1	452,2	391,6
245	370,1	471,2	408,1
250	385,3	490,6	424,9
255	400,9	510,4	442,1
260	416,8	530,7	459,6
265	433,0	551,3	483,4
270	449,5	572,3	495,6
275	466,3	593,7	514,0
280	483,4	615,4	533,0
285	500,8	637,6	555,2
290	518,6	660,2	571,7
295	536,5	683,1	591,6
300	554,9	706,5	611,9
305	573,5	730,2	632,4
310	592,5	754,4	653,3
315	611,8	778,9	674,6
320	631,3	803,4	696,2
325	651,2	829,2	718,0
330	671,4	854,9	740,3
335	692,0	881,0	763,0
340	712,7	907,5	786,9
345	733,8	934,3	809,2
350	755,3	961,6	833,8
360	799,0	1017,4	875,0
370	844,0	1074,7	925,0
380	890,3	1133,5	975,0
390	937,8	1194,0	1030,0
400	986,5	1256,0	1080,0
410	1036,4	1319,6	1135,0
420	1087,6	1384,7	1190,0
430	1140,0	1451,5	1250,0
440	1193,6	1519,8	1305,0
450	1248,5	1589,6	1370,0
460	1304,6	1661,1	1430,0
470	1361,9	1734,1	1495,0
480	1420,5	1808,6	1555,0
490	1480,3	1884,3	1620,0
500	1541,3	1962,5	1685,0

© KOHLER 2021

7.14 Gewichtstabelle von Flachstahl

Gewicht in Kilogramm pro Meter [kg/m], berechnet mit einer Dichte von 7,85 g/cm3

Breite	Dicke mm																								Breite
mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	25	30	35	40	45	50	mm
10	0,08	0,16	0,24	0,31	0,39	0,47	0,55	0,63	0,71	0,79															10
15	0,12	0,24	0,35	0,47	0,59	0,71	0,82	0,94	1,06	1,18	1,30	1,41	1,53	1,65	1,77										15
20	0,16	0,31	0,47	0,63	0,79	0,94	1,10	1,26	1,41	1,57	1,73	1,88	2,04	2,20	2,36	2,51	2,83	3,14							20
25	0,20	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96	2,16	2,36	2,55	2,75	2,94	3,14	3,53	3,93							25
30	0,24	0,47	0,71	0,94	1,18	1,41	1,65	1,88	2,12	2,36	2,59	2,83	3,06	3,30	3,53	3,77	4,24	4,71	5,89						30
35	0,28	0,55	0,82	1,10	1,37	1,65	1,92	2,20	2,48	2,75	3,02	3,30	3,57	3,85	4,12	4,40	4,95	5,50	6,87	8,24					35
40	0,31	0,63	0,94	1,26	1,57	1,88	2,20	2,51	2,83	3,14	3,45	3,77	4,08	4,40	4,71	5,02	5,65	6,28	7,86	9,42	10,99				40
45	0,35	0,71	1,06	1,41	1,77	2,12	2,47	2,83	3,18	3,53	3,89	4,24	4,59	4,95	5,30	5,65	6,36	7,07	8,83	10,60	12,36	14,13			45
50	0,39	0,79	1,18	1,57	1,96	2,36	2,75	3,14	3,53	3,93	4,32	4,71	5,10	5,50	5,89	6,28	7,07	7,85	9,81	11,78	13,74	15,70	17,66		50
55	0,43	0,86	1,30	1,73	2,16	2,59	3,02	3,45	3,89	4,32	4,75	5,18	5,61	6,05	6,48	6,91	7,77	8,64	10,79	12,95	15,11	17,27	19,43	21,59	55
60	0,47	0,94	1,41	1,88	2,36	2,83	3,30	3,77	4,24	4,71	5,18	5,65	6,12	6,59	7,07	7,54	8,48	9,42	11,78	14,13	16,49	18,84	21,20	23,55	60
65	0,51	1,02	1,53	2,05	2,55	3,06	3,57	4,08	4,59	5,10	5,61	6,12	6,63	7,14	7,65	8,16	9,19	10,21	12,76	15,31	17,86	20,41	22,96	25,51	65
70	0,55	1,10	1,65	2,20	2,75	3,30	3,85	4,40	4,95	5,50	6,04	6,59	7,14	7,69	8,24	8,79	9,89	10,99	13,74	16,49	19,23	21,98	24,73	27,48	70
75	0,59	1,18	1,77	2,36	2,94	3,53	4,12	4,71	5,30	5,89	6,48	7,07	7,65	8,24	8,83	9,42	10,60	11,78	14,72	17,66	20,61	23,55	26,49	29,44	75
80	0,63	1,26	1,88	2,51	3,14	3,77	4,40	5,02	5,65	6,28	6,91	7,54	8,16	8,79	9,42	10,05	11,30	12,56	15,70	18,84	21,98	25,12	28,26	31,40	80
85	0,67	1,34	2,00	2,67	3,34	4,00	4,67	5,34	6,02	6,67	7,34	8,01	8,67	9,34	10,01	10,68	12,01	13,35	16,68	20,02	23,35	26,69	30,03	33,36	85
90	0,71	1,41	2,12	2,83	3,53	4,24	4,95	5,65	6,36	7,07	7,77	8,48	9,18	9,89	10,60	11,30	12,72	14,13	17,66	21,20	24,73	28,26	31,79	35,33	90
95	0,75	1,49	2,24	2,98	3,73	4,47	5,22	5,97	6,71	7,46	8,20	8,95	9,70	10,44	11,19	11,93	13,42	14,92	18,64	22,37	26,10	29,83	33,56	37,29	95
100	0,78	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85	8,64	9,42	10,20	10,99	11,78	12,56	14,13	15,70	19,63	23,55	27,48	31,40	35,33	39,25	100
105	0,82	1,65	2,47	3,30	4,12	4,95	5,77	6,59	7,42	8,24	9,06	9,89	10,72	11,54	12,36	13,19	14,84	16,49	20,61	24,73	28,85	32,97	37,09	41,21	105
110	0,86	1,73	2,59	3,45	4,32	5,18	6,05	6,91	7,77	8,64	9,50	10,36	11,23	12,09	12,95	13,82	15,54	17,27	21,59	25,90	30,22	34,54	38,86	43,18	110
120	0,94	1,81	2,83	3,77	4,71	5,65	6,60	7,54	8,48	9,42	10,36	11,30	12,25	13,19	14,13	15,07	16,96	18,84	23,55	28,26	32,97	37,68	42,39	47,10	120
130	1,02	2,04	3,06	4,08	5,10	6,12	7,14	8,16	9,19	10,21	11,23	12,25	13,27	14,29	15,31	16,33	18,37	20,41	25,51	30,61	35,72	40,82	45,92	51,02	130
140	1,10	2,20	3,30	4,40	5,50	6,59	7,69	8,79	9,89	10,99	12,09	13,19	14,29	15,39	16,49	17,58	19,78	21,98	27,48	32,97	38,47	43,96	49,46	54,95	140
150	1,18	2,36	3,53	4,71	5,89	7,07	8,24	9,42	10,60	11,78	12,95	14,13	15,31	16,49	17,66	18,84	21,20	23,55	29,44	35,33	41,21	47,10	52,99	58,88	150
160	1,26	2,52	3,77	5,02	6,28	7,54	8,79	10,05	11,30	12,56	13,82	15,08	16,33	17,58	18,84	20,10	22,60	25,12	31,40	37,68	43,96	50,24	56,52	62,80	160
170	1,34	2,67	4,00	5,34	6,67	8,01	9,34	10,99	12,01	13,35	14,70	16,02	17,35	18,68	20,02	21,38	24,02	26,69	33,36	40,03	46,71	53,38	60,05	66,72	170
180	1,41	2,83	4,24	5,65	7,07	8,48	9,89	11,30	12,72	14,13	15,56	16,96	18,37	19,78	21,20	22,60	25,43	28,26	35,33	42,39	49,46	56,52	63,59	70,65	180
190	1,49	2,98	4,48	5,97	7,46	8,95	10,44	11,93	13,42	14,91	16,41	17,90	19,39	20,88	22,37	23,86	26,85	29,83	37,29	44,74	52,20	59,66	67,12	74,57	190
200	1,57	3,14	4,71	6,28	7,85	9,42	10,99	12,56	14,13	15,70	17,27	18,84	20,41	21,98	23,55	25,12	28,26	31,40	39,25	47,10	54,95	62,80	70,65	78,50	200
210				6,59	8,24	9,89	11,54	13,19	14,84	16,49	18,13	19,78	21,43	23,08	24,73	26,38	29,67	32,97	41,21	49,46	57,70	65,94	74,18	82,42	210
220				6,91	8,64	10,36	12,09	13,81	15,54	17,27	18,99	20,72	22,45	24,18	25,90	27,62	31,09	34,54	43,18	51,81	60,45	69,08	77,72	86,35	220
230				7,22	9,03	10,83	12,64	14,44	16,25	18,06	19,86	21,67	23,47	25,28	27,08	28,89	32,50	36,11	45,18	54,17	63,19	72,22	81,25	90,28	230
240				7,54	9,42	11,30	13,19	15,07	16,96	18,84	20,72	22,60	24,49	26,38	28,26	30,14	33,91	37,68	47,10	56,52	65,94	75,36	84,78	94,20	240
250				7,84	9,81	11,77	13,73	15,70	17,66	19,62	21,57	23,53	25,51	27,46	29,42	31,38	35,33	39,25	49,05	58,88	68,69	78,50	88,31	98,13	250
260				8,16	10,21	12,25	14,29	16,33	18,38	20,41	22,47	24,50	26,53	28,58	30,62	32,66	36,74	40,82	51,03	61,23	71,44	81,64	91,85	102,10	260
270				8,48	10,60	12,72	14,84	16,96	19,08	21,19	23,31	25,43	27,55	29,67	31,79	33,91	38,15	42,39	52,99	63,58	74,18	84,78	95,38	105,97	270
280				8,79	10,99	13,19	15,39	17,28	19,78	21,98	24,18	26,38	28,57	30,78	32,97	35,16	39,56	43,96	54,95	65,94	76,93	87,92	98,91	109,90	280
290				9,11	11,38	13,66	15,94	18,21	20,49	22,76	25,04	27,32	29,59	31,87	34,15	36,42	40,98	45,53	56,91	68,29	79,68	91,06	102,44	113,82	290
300				9,42	11,78	14,13	16,48	18,84	21,20	23,55	25,91	28,26	30,61	32,96	35,33	37,68	42,39	47,11	58,88	70,65	82,43	94,20	106,00	117,80	300

HANS KOHLER SA, Claridenstrasse 20, case postale, CH-8022 Zurich, téléphone 044 207 11 11, fax 044 207 11 10

© KOHLER 2021