



**Werkstoffvergleich zwischen 1.4460 und 1.4462**

Qualitätslenkung, Entwicklung und Anwendungstechnik	Dr.-Ing. A. van Bennekom + 49 (0) 2151 3633 4139 <a href="mailto:andre.vanbennekom@dew-stahl.com">andre.vanbennekom@dew-stahl.com</a>  Dipl.-Ing. R. Mocek	Erstveröffentlichung:  11/04/2001  <b>Bericht 2001-2</b>
---	--	--

Für die Auswahl des optimalen Konstruktionswerkstoffes müssen viele Einflussgrößen, wie Korrosionsbeständigkeit, mechanische Eigenschaften, Schweißbarkeit, Bearbeitbarkeit und Kosten in Betracht gezogen werden. In vielen Fällen muss ein Kompromiss gefunden werden, beispielsweise kann eine reduzierte Korrosionsbeständigkeit akzeptiert werden, vorausgesetzt, der Werkstoff ist leicht zu bearbeiten oder zu schmieden. Der beste Werkstoff ist derjenige, der die meisten Anforderungen für eine spezifische Anwendung erfüllt.

Vom Gesichtspunkt der Korrosion aus betrachtet, muss daran erinnert werden, dass rostfreie Stähle allgemein selten von Korrosion betroffen sind, es sei denn, das Einsatzmedium enthält reduzierende Säuren. Sollten solche Bedingungen vorliegen, ist der Einsatz eines mit Molybdän legierten rostfreien Stahles, wie in **Abb. 1** dargestellt, vorzuziehen. Statt zu allgemeiner Korrosion, neigen rostfreie Stähle zu Lochfraß- und Spannungsrisskorrosion (die üblicherweise vom Grund von Lochfraßporen in stark verformten Bereichen ausgeht). Daher ist es wichtig, dass die Werte des Beständigkeitsäquivalentes (PRE) für rostfreie Stähle festgelegt werden, und obwohl diese Werte eine annähernde Einschätzung der rostfreien Stähle geben, werden nur die Auswirkungen von Chrom, Molybdän und Stickstoff in die Rechnung einbezogen.

Die Auswirkungen von nichtmetallischen Einschlüssen, zweiten Phasen, anderen Legierungselementen, Ausscheidungen etc. werden absolut ignoriert. Für einen Vergleich werden die in der Norm minimal und maximal zulässigen PRE-Werte in Tabelle 1 dargestellt. Diese Werte zeigen deutlich, dass die PRE-Werte des 1.4462 höher sind, als die des rostfreien Stahls 1.4460. Ein PRE-Wert von über 34 oder 35 ist üblicherweise für Anwendungen in Seewasser vorgeschrieben.

Werkstoff-Nr.	Cr	Ni	Mo	N	PRE min	PRE max
1.4460	25 – 28	4,5 – 6,0	1,3 – 2,0	0,05 – 0,20	30,09	37,80
1.4462	21 - 23	4,5 – 6,5	2,5 – 3,5	0,10 – 0,22	30,85	38,07

Tabelle 1: Vergleich der minimalen und maximalen PRE-Werte, die durch die Normen für 1.4460 und 1.4462 zulässig sind



Lochfraß ist ein temperaturabhängiger Vorgang und daher wird in der Literatur häufig eine sogenannte kritische Lochfraßtemperatur (CPT) angegeben. Für Stähle, die einer 3,5%igen Salzlösung (Seewasser) ausgesetzt wurden, ist eine empirische Gleichung entwickelt worden, die wie folgt lautet:

Kritische Lochfraßtemperatur, CPT, (°C) =  $10 + 7 \times (\%Mo)$

	<u>Min</u>	<u>max</u>
CPT (°C) 1.4460	19,2	24,0
CPT (°C) 1.4462	27,5	34,5

Die günstigen Auswirkungen von Molybdän im Anheben der Beständigkeit gegen Lochfraß können daher unterschätzt werden (vgl. **Abb. 2**). Wie zuvor erwähnt gehen Risse, die durch Spannungs-risskorrosion verursacht werden, üblicherweise vom Grund einer Lochfraßpore in stark verformten Bereichen aus, und durch die erwähnten höheren Molybdänzugaben wird ebenfalls eine erhöhte Beständigkeit gegen solche Risse erreicht.

$$\text{Cr-Äquivalent} = \%Cr + 2 \times (\%Si) + 1,5 \times (\%Mo)$$

$$\text{Ni-Äquivalent} = \%Ni + 0,5 \times (\%Mn) + 30 \times (\%C+N)$$

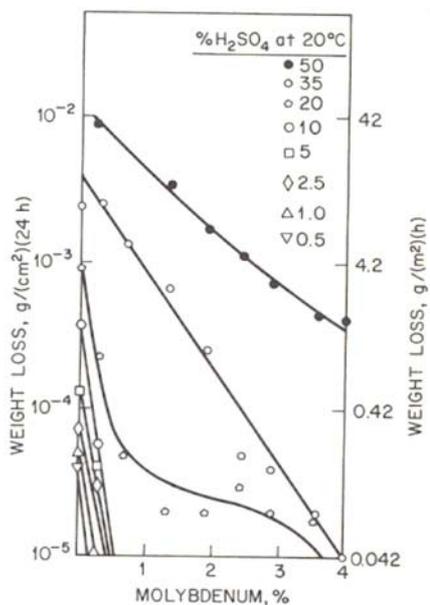


Abbildung 1  
Die Auswirkung des Molybdängehaltes auf die Korrosion in Schwefelsäurelösungen bei 20° C

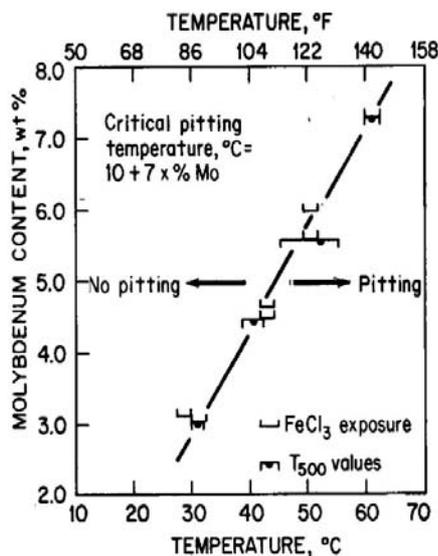


Abbildung 2  
Die kritische Lochfraßtemperatur als Funktion des Molybdängehaltes bei Versuchs- und Standardstählen. Die Proben wurden einer 3,5%igen NaCl-Lösung mit pH = 3 bei 500 mVs mit steigender Temperatur ausgesetzt, bis Lochfraß einsetzt.

Ein Vergleich der minimalen und maximalen Chrom- und Nickeläquivalente, die mit Legierungsvarianten erreicht werden können, die den Normen für 1.4460 und 1.4462 entsprechen, findet sich in Tabelle 2.

Werkstoff-Nr.	Cr-Äquivalent min	Cr-Äquivalent max	Ni-Äquivalent min	Ni-Äquivalent max
1.4460	26,95	31,00	6,00	12,00
1.4462	24,75	28,25	7,50	13,10

Tabelle 2: Vergleich der minimalen und maximalen Cr- und Nickeläquivalentwerte, die durch die in den Normen für 1.4460 und 1.4462 festgelegten Analysen, vgl. Tabelle 1, erreichbar sind.



Die Werte in dieser Tabelle zeigen deutlich, dass der rostfreie Stahl 1.4460 eine stärkere Tendenz zur Ferritbildung aufweist, z.B. höheres Chrom- und niedrigeres Nickeläquivalent als 1.4462. D.h. in der Praxis, dass der Werkstoff 1.4460 mehr als 50 % Ferrit enthalten kann. Daraus resultieren verringerte Kerbschlagwerte, speziell bei niedrigen Temperaturen, bei denen die prozentual erhöhte Ferritphase offensichtlicher wird.

Ein Vergleich zwischen den Kerbschlagwerten von 1.4460 und 1.4462 ist im SEW 400 gegeben, das die folgenden Werte enthält:

<b>Werkstoff-Nr.</b>	<b>Kerbschlagwerte (J) in Längsrichtung</b>	<b>Kerbschlagwerte (J) in Querrichtung</b>
1.4460	55	Nicht vorgegeben
1.4462	120	90

Es sollte festgehalten werden, dass ein erhöhter Anteil an Ferritphase die folgenden Auswirkungen haben kann:

- Reduzierte Beständigkeit gegen Spannungsrisskorrosion. Infolge einer gröberen Korngröße, die höhere Ferritphasenanteile begleitet, liegt eine niedrigere Korngrenzenoberfläche vor und dadurch eine geringe Fähigkeit zur Risspitzenabstumpfung.
- Erhöhte Neigung zur Ausscheidung von Chromkarbiden und –nitriden infolge einer sehr geringen Löslichkeit von Kohlenstoff und Stickstoff in der Ferritphase.
- Reduzierte Kerbschlagwerte bei niedrigen Temperaturen infolge eines höheren Ferritanteils, der einen Übergang von zäh zu spröde durchmacht.
- Reduzierte Kerbschlag- und Festigkeitswerte im geschweißten Zustand infolge eines extremen Kornwachstums der Ferritphase in der Wärmeeinflußzone.

Aus dem Obengenannten wird deutlich, dass der rostfreie DUPLEX-Stahl 1.4462 in vielen Aspekten dem 1.4460 überlegen ist. Trotz einer leicht besseren Zerspanbarkeit des DUPLEX-Stahls 1.4460 infolge der größeren Korngröße, werden die rostfreien Stähle üblicherweise basierend auf dem Verwendungszweck ausgesucht.

Da Stickstoff das effektivste mischkristallhärtende und -verfestigende Element im Stahl ist, hätte eine Reduzierung des Stickstoffgehaltes eine Abnahme der Härte bzw. Festigkeit des Stahls zur Folge. Dies kann bei der Güte 1.4462 problemlos erreicht werden, da sie mehr Nickel und weniger Chrom als 1.4460 enthält, was bedeutet, dass das 50:50 Phasenverhältnis aufrechterhalten werden kann, während die Härte abnimmt. Diese Beeinflussung der chemischen Zusammensetzung bewirkt eine verbesserte Zerspanbarkeit, während die geforderten Korrosions- und mechanischen Eigenschaften beibehalten werden und der Norm entsprechen.



Zum Schluss kann erwähnt werden, dass die Güte 1.4462 das beste Gesamteigenschaftsbild aufzeigt, wenn es mit dem Werkstoff 1.4460 verglichen wird. Diese Schlussfolgerung wird bestätigt durch die Tatsache, dass der Werkstoff 1.4462 der meist verwendete rostfreie Duplex-Stahl ist.

#### Quellennachweis:

Peckner and Bernstein, Handbook of Stainless Steels, McGraw-Hill Book Company, 1977.

R.A. Lula, Stainless Steel, American Society for Metals, 1986.

A.J. Sedriks, Corrosion of Stainless Steels, John Wiley and Sons, 1979.