

Schweißen warmfester und druckwasserstoffbeständiger Stähle

1. Warmfeste ferritische Stähle

In den letzten Jahrzehnten wurden die Betriebstemperaturen und -drücke zur Verbesserung des Wirkungsgrades von Anlagen in der Kraft- und Wärmewirtschaft ständig gesteigert. Temperaturen um 500 °C und höher, bei zusätzlicher Forderung von Zunderbeständigkeit, lassen sich jedoch nur mit warmfesten und hochwarmfesten Stählen beherrschen. Während bei den unlegierten Baustählen unter erhöhten Betriebstemperaturen die Festigkeitswerte erheblich abfallen, werden durch Zulegieren von Chrom, Molybdän, Vanadium und Wolfram die Warmfestigkeitseigenschaften wesentlich verbessert. Durch legierungstechnische Maßnahmen wird insbesondere den unter erhöhter Temperatur und Belastung in den Stählen auftretenden Kriech- und Fließvorgängen entgegengewirkt. Da diese Vorgänge zeitabhängig sind, ist es für den Einsatz eines Stahles nicht ausreichend, nur die mechanischen Eigenschaften aus dem Kurzzeitversuch zu berücksichtigen. Vielmehr muss die Zeitstandfestigkeit zur Bewertung herangezogen werden. Werte für die Zeitstandfestigkeit warmfester Stähle sind in Normen und Werkstoffblättern festgelegt.

2. Druckwasserstoffbeständige Stähle

In der chemischen Industrie werden Verfahren angewendet, bei denen Wasserstoff unter hohem Druck und hohen Temperaturen auftritt. Die Werkstoffe dieser Anlagen müssen im Legierungs- und Wärmebehandlungszustand so beschaffen sein, dass sie bei genügender Warmfestigkeit und Zähigkeit gegenüber einem Angriff von Druckwasserstoff beständig sind. Diese zusätzliche Forderung ergibt sich, weil hochgespannter Wasserstoff atomar in den unlegierten Stahl eindringt und ihn bei Temperaturen ab ca. 200 °C entkohlt, das Gefüge auflockert und die Festigkeit herabsetzt. Um das Verhalten gegenüber Druckwasserstoff zu verbessern, enthalten die Stähle üblicherweise bis zu 6% Chrom als Karbidbildner, außerdem Molybdän, das die Warmfestigkeit steigert und die Anlasssprödigkeit verhindert und in manchen Fällen Vanadium als zusätzlichen Carbidgebildner. Die Festigkeitseigenschaften erhalten die Stähle durch eine vergütende Wärmebehandlung.

3. Betriebstemperaturen typischer warmfester und druckwasserstoffbeständiger Stähle

Un- und Mn-legierte Kessel- und Röhrenstähle	P235GH	bis	500°C
	P355GH	bis	500°C
Warmfeste Sonderstähle	15NiCuMoNb5-6-4 (WB 36)	bis	550°C
	17MnMoV6-4 (WB 35)		
	20MnMoNi4-5		
Mo-legierter Stahl	16Mo3	bis	530°C
CrMo-legierte Stähle	13CrMo4-5	bis	570°C
	10CrMo9-10	bis	600°C
	X12CrMo5	bis	625°C
CrMoVNb-legierter Stahl	X10CrMoVNb 9-1	bis	650°C

Bei Temperaturen über 600 °C werden auch austenitische Chrom-Nickel-Stähle, z. B. vom Typ 16/13 verwendet. Steigt die Betriebstemperatur auf über 700 °C, weisen nur Sonderlegierungen auf Ni/Cr/Co-Basis eine ausreichende Warmfestigkeit auf.

4. Schweißen und Wärmebehandlung

Die niedriglegierten warmfesten und druckwasserbeständigen Stähle werden allgemein in vergütetem Zustand, die Stahlgüte 16Mo3 in normalgeglühtem Zustand geschweißt. Diese Stähle sind lufthärtend, dadurch entstehen beim Abkühlen aus der Schweißwärme in der wärmebeeinflussten Zone Aufhärtungen. Diese stellen im Zusammenhang mit den Schweißspannungen, eventuell erforderlichen Richtarbeiten und der Betriebsbelastung eine Rissgefahr dar. Deshalb ist die optimale Wärmebehandlung beim Schweißen zu gewährleisten. Insbesondere sind Vorwärmtemperatur (siehe hierzu SEW 086 und EN 1011-2), Zwischenlagentemperatur, Wärmenachbehandlung sowie geeignete Nahtform und Nahtfolge zu beachten.

Legierungstyp des Schweißzusatzes	Vorwärm- und Zwischenlagentemperatur (°C)	Wärmenachbehandlung	
		Glühentemperatur (°C)	Haltezeit (h)
Mo, MoL	< 250	570 – 620	> 0,5
CrMo1, CrMo1L	200 – 300	660 – 700	> 0,5
CrMo2, CrMo2L	200 – 350	690 – 750	> 0,5
CrMo5	300 – 350	730 – 760	> 1
CrMo91	200 – 300	750 – 770	> 2

5. Schweißzusätze, Vorschläge für warmfeste Werkstoffpaarungen:

Legierungstyp des Schweißzusatzes		Grundwerkstoff 2					
		16Mo3 (T/P1) G18Mo5 G20Mo5	13CrMo4-5 (T/P11) 13CrMoSi5-5 G17CrMo5-5 25CrMo4	10CrMo9-10 (T/P22) 11CrMo9-10 12CrMo9-10 G17CrMo9-10	X11CrMo5 (T/P5) X12CrMo5 X16CrMo5-1 GX15CrMo5	X11CrMo9-1 (T/P9) GX12CrMo10-1	X10CrMoVNb9-1 (T/P91)
Grundwerkstoff 1	Unlegierte Stähle, Abschnitte B und F, z.B. S235JR, P355GH, u.ä.	Typ Mo, MoL (Abschnitt B)	Typ Mo, MoL				
	16Mo3 (T/P1) G18Mo5 G20Mo5	Typ Mo, MoL	Typ Mo, MoL	Typ Mo, MoL	Typ CrMo1, CrMo1L	Typ CrMo2, CrMo2L	Typ CrMo2, CrMo2L
	13CrMo4-5 (T/P11) 13CrMoSi5-5 G17CrMo5-5 25CrMo4	Typ Mo, MoL	Typ CrMo1, CrMo1L	Typ CrMo1, CrMo1L	Typ CrMo2, CrMo2L	Typ CrMo2, CrMo2L	Typ CrMo2, CrMo2L
	10CrMo9-10 (T/P22) 11CrMo9-10 12CrMo9-10 G17CrMo9-10	Typ Mo, MoL	Typ CrMo1, CrMo1L	Typ CrMo2, CrMo2L	Typ CrMo2, CrMo2L	Typ CrMo5	Typ CrMo5
	X11CrMo5 (T/P5) X12CrMo5 X16CrMo5-1 GX15CrMo5	Typ CrMo1, CrMo1L	Typ CrMo2, CrMo2L	Typ CrMo2, CrMo2L	Typ CrMo5	Typ CrMo5	Typ CrMo5
	X11CrMo9-1 (T/P9) GX12CrMo10-1	Typ CrMo2, CrMo2L	Typ CrMo2, CrMo2L	Typ CrMo5	Typ CrMo5	Typ CrMo9, CrMo91	Typ CrMo91
	X10CrMoVNb9-1 (T/P91)	Typ CrMo2, CrMo2L	Typ CrMo2, CrMo2L	Typ CrMo5	Typ CrMo5	Typ CrMo91	Typ CrMo91

Die Art und Durchführung der Wärmenachbehandlung sowie die Anforderungen an die Schweißverbindung sind bei der Auswahl des Schweißzusatzes zu beachten. Für Rückfragen stehen die ESAB Fachberater zur Verfügung.

6. Literaturhinweise

Stahl-Eisen-Werkstoffblatt SEW 086:
Unlegierte und legierte warmfeste ferritische Stähle – Vorwärmen beim Schweißen

EN 1011: Schweißen – Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe –
Teil 1: Allgemeine Anleitungen für das Lichtbogenschweißen
Teil 2: Lichtbogenschweißen von ferritischen Stählen

EN 10028-2:
Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen –
Teil 2: Unlegierte und legierte Stähle mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen.
Enthält Hinweise zur Wärmenachbehandlung sowie zur Prüfung durch Stufenglühen („Step-Cooling-Test“).

EN 10213-1:
Technische Lieferbedingungen für Stahlguss für Druckbehälter –
Teil 1: Allgemeines, Anhang A: Schweißbedingungen.
Enthält Empfehlungen für die Vorwärmtemperatur, die maximale Zwischenlagentemperatur und die Wärmenachbehandlung, informativ für Stahlgussarten nach EN 10213-2: Stahlsorten für die Verwendung bei Raumtemperatur und erhöhten Temperaturen.