

Überblick

Diese Arbeitshilfe ist zusammen mit der Arbeitshilfe A.1.3 zu verwenden.

Unter Einhaltung der allgemeinen Regeln der Schweißtechnik sind die heutigen Stahlsorten nach DIN EN 10025 für alle manuellen, mechanisierten, voll-mechanisierten und automatischen Prozesse geeignet. Hierbei ist eine passende Auslegung folgender Parameter erforderlich:

- Wärmeeinbringung
- Schweißverfahren
- Materialdickenkombination
- Vorwärmtemperatur

Zu ausgewählten Aspekten der schweißtechnischen Verarbeitung allgemeiner Baustähle bis S355 gibt diese Arbeitshilfe eine Orientierung.

Schweißignung und Vorwärmen

Die Schweißignung eines Stahls wird u.a. mithilfe von Kohlenstoffäquivalentwerten (CEV, CET) beschrieben. Der Wert des CEV kann dem Abnahmeprüfzeugnis des Herstellers entnommen werden. Die folgende Tabelle 1 liefert Anhaltswerte, bis zu deren Grenze in der Regel keine Vorwärmung nötig ist.

Kohlenstoffäquivalent CEV _{max} [%]	Kohlenstoffäquivalent CET _{max} [%]	Grenzdicke t _{max} [mm]
0,40	0,26	40
	0,31	30
	0,34	20
	0,38	12
	0,40	8

Tabelle 1 - Anhaltswerte der Grenzdicke für das Vorwärmen (vgl. SEW 088 [1]; DIN EN 1011-2 [2])

Bei einem CEV bis 0,40 % und einer Nenndicke bis 30 mm ist ein Vorwärmen vor dem Schweißen nicht erforderlich.

Ziel des Vorwärmens ist es, die Abkühlgeschwindigkeit direkt nach dem Schweißen so weit herabzusetzen, dass die Rissbildung vermieden wird.

Falls erforderlich kann das durch Vorwärmen erreicht werden, wenn z. B. die Verarbeitungstemperatur unter 0°C liegt, Elektroden mit hohem Wasserstoffgehalt (über 10 ml / 100 g) verwendet werden, eine starke Schrumpfbinderung vorliegt oder das Schweißen mit geringer Wärmeeinbringung erfolgt (wie beim Reparaturschweißen, beim Heften oder beim Einlagenschweißen auf dickem Material).

Man unterscheidet Kaltrisse infolge Schweißens in:

- Aufhängungsrisse
- wasserstoffunterstützte Risse

Tabelle A1 im Anhang gibt eine detaillierte Hilfestellung zur Ermittlung der richtigen minimalen Vorwärmtemperatur.

Grundlagen zum Kohlenstoffäquivalent

Das Kohlenstoffäquivalent CEV wurde als Indikator für die Bildung von Aufhängungsrisse entwickelt und das Kohlenstoffäquivalent CET als Indikator zur Entstehung von wasserstoffunterstützten Rissen. Die Berechnungsansätze der beiden Kohlenstoffäquivalente berücksichtigen die Wirkung von Legierungselementen im Stahl bezogen auf das Element Kohlenstoff mit unterschiedlicher Gewichtung. Das CEV wird nach folgender Formel berechnet (z. B. DIN EN 10025-1 [3]):

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Das CET wird gemäß folgender Formel errechnet (z. B. SEW 088):

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40}$$

Aufgrund der unterschiedlichen Gewichtung der Legierungselemente in den Berechnungsformeln ist der CET-Wert etwa um den Betrag von 0,10 - 0,15 % kleiner als der CEV-Wert.

Das CEV ist für Baustähle nach DIN EN 10025 Teile 2 [4], 3 [5] und 4 [6] genormt und enthält Grenzwerte für die verschiedenen Festigkeits- und Zähigkeitsklassen abhängig von den Nenndicken des Materials.

Das CET ist weitgehend unregelt. Hierbei ist zu beachten, dass zur Auslegung der Vorwärmtemperatur das CET des Grundwerkstoffes herangezogen wird. Dies gilt allerdings nur, sofern das CET des Schweißgutes um 0,03 % niedriger liegt als das CET des Grundwerkstoffes. Andernfalls ist die Vorwärmtemperatur gemäß SEW 088 nach dem CET des Schweißgutes auszurichten, dem noch ein Sicherheitszuschlag von 0,03 % hinzuzufügen ist.

Schweißerprüfungen

Für die Werkstoffe S235 und S355 gelten identische Bedingungen für Schweißerprüfungen. Der Geltungsbereich der Schweißerprüfung in Bezug auf den Werkstoff ergibt sich aus dem Gültigkeitsbereich des in der Prüfung verwendeten Schweißzusatzes. Die zum Schweißen von allgemeinen Baustählen wie S235 und S355 verwendeten Schweißzusätze sind in der Werkstoffgruppe „FM1“ nach DIN EN ISO 9606-1 [7] zusammengefasst, welche das Schweißen von unlegierten Baustählen und Feinkornbaustählen umfasst. Bei der Qualifizierung von Schweißerprüfungen sind die Geltungsbereiche zu beachten. Da S355 im Vergleich zu S235 allerdings in höheren Zähigkeitsklassen verfügbar ist, werden häufig basische Elektroden beim Prozess 111 oder ggf. Fülldrahtelektroden mit basischer Füllung beim

Arbeitshilfe A.1.4 | Schweißen und Vorwärmen von Baustählen

Prozess 138 eingesetzt. Die Qualifikation des Schweißers ist auf den Prozess und den Schweißzusatz anzupassen (siehe Tabelle 2 aus DIN EN ISO 9606-1).

Schweißprozess	Umhüllung, die bei der Prüfung verwendet wurde ^a	Geltungsbereich		
		A, RA, RB, RC, RR, R 03, 13, 14, 19, 20, 24, 27	B 15, 16, 18, 28, 45, 48	C 10, 11
111	A, RA, RB, RC, RR, R 03, 13, 14, 19, 20, 24, 27	X	—	—
	B 15, 16, 18, 28, 45, 48	X	X	—
	C 10, 11	—	—	X

X bezeichnet die Schweißzusätze, für die der Schweißer qualifiziert ist.
— bezeichnet die Schweißzusätze, für die der Schweißer nicht qualifiziert ist.

^a Die Art der Umhüllung, die der Schweißerprüfung für die Wurzellage ohne Badsicherung (ss nb) verwendet wurde, ist die Umhüllung, die in der Produktion für das Schweißen der Wurzellage ohne Badsicherung (ss nb) qualifiziert ist.

Tabelle 2 - Geltungsbereich für umhüllte Elektroden nach DIN EN ISO 9606-1

Verfahrensprüfungen und Anwendungsbereich

Häufig werden Verfahrensprüfungen nach DIN EN ISO 15614 [8] zur Reduzierung der nötigen Anzahl an Qualifizierungsvorgängen so ausgelegt, dass sie einen möglichst großen Geltungsbereich in Hinsicht auf Materialdicken und Werkstoffe abdecken.

Individuell kann die entsprechende Grenzdicke der Materialien für das Schweißen ohne Vorwärmen in Betracht gezogen werden. Eine Verfahrensprüfung für einen Werkstoff S355 qualifiziert alle Baustähle geringerer Streckgrenze mit.

Schweißaufsicht

Die Anforderungen an das Schweißaufsichtspersonal in der Verarbeitung allgemeiner Baustähle werden lediglich bei größeren Materialstärken und steigenden Ausführungsklassen höher angesetzt. Es wird keine Unterscheidung innerhalb der Werkstoffgruppe von S235 bis S355 vorgenommen (Tabelle 3, vgl. DIN EN 1090-2 [9]).

Darin bedeuten:

- B - Basiskennnisse
- S – Spezielle technische Kennnisse
- C – Umfassende technische Kennnisse

Die konkreten Anforderungen sind in der DIN EN ISO 14731 [10] beschrieben.

EXC	Stähle (Gruppe)	Bezugsnormen	Dicke [mm]		
			t ≤ 25 ^a	t > 25 t ≤ 50 ^b	t > 50
EXC2	S235 bis S355 (1.1, 1.2, 1.4)	EN 10025-2, EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-5, EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10210-1, EN 10219-1	B	S	C ^c
	S420 bis S700 (1.3, 2, 3)	EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-6, EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10210-1, EN 10219-1	S	C ^d	C
EXC3	S235 bis S355 (1.1, 1.2, 1.4)	EN 10025-2, EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-5, EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10210-1, EN 10219-1	S	C	C
	S420 bis S700 (1.3, 2, 3)	EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-6, EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10210-1, EN 10219-1	C	C	C
EXC4	alle	alle	C	C	C

^a Stützenfußplatten und Stirnbleche ≤ 50 mm
^b Stützenfußplatten und Stirnbleche ≤ 75 mm
^c Für Stähle bis einschließlich S275 ist Kenntnisstufe S ausreichend.
^d Für Stähle N, NL, M und ML ist Kenntnisstufe S ausreichend.

Tabelle 3 - Technische Kenntnisse des Schweißaufsichtspersonals für Baustähle nach DIN EN 1090-2

Literatur

- [1] SEW 088: Schweißgeeignete un- und niedriglegierte Stähle. Empfehlungen für die Verarbeitung, besonders für das Schmelzschweißen, 5. Ausgabe, Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf, 2017-10
- [2] DIN EN 1011-2, Schweißen Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe - Teil 2: Lichtbogenschweißen von ferritischen Stählen
- [3] DIN EN 10025-1, Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 1: Allgemeine technische Lieferbedingungen
- [4] DIN EN 10025-2, Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle
- [5] DIN EN 10025-3, Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle
- [6] DIN EN 10025-4, Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 4: Technische Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle
- [7] DIN EN ISO 9606-1:2017-12, Prüfung von Schweißern-Schmelzschweißen - Teil 1: Stähle (ISO 9606-1:2012, einschließlich Cor 1:2012 und Cor 2:2013)
- [8] DIN EN ISO 15614-1, Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe- Schweißverfahrensprüfung - Teil 1: Lichtbogen- und Gasschweißen von Stählen und Lichtbogenschweißen von Nickel und Nickellegierungen (ISO 15614-1:2017 + Amd 1:2019)
- [9] DIN EN 1090-2, Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken
- [10] DIN EN ISO 14731, Schweißaufsicht - Aufgaben und Verantwortung (ISO 14731:2019)

Anhang

Mit den folgenden Algorithmen werden sowohl die Anfälligkeit gegen Aufhängungs- als auch gegen wasserstoffunterstützte Risse erfasst. Sie beruhen auf den Abhängigkeiten in SEW 088 bzw. DIN EN 1011-2 und berücksichtigen werkstoffspezifische Parameter (chemische Zusammensetzung, Blechdicke, $t_{8/5}$ -Zeit, diffusibler Wasserstoff) als auch das Wärmeeinbringen.

Prävention potenzieller Risserscheinungen in Baustählen (ausführlich)	
Kaltrisse vom Typ Aufhängungsris „Abkühlzeitkonzept“ („ T_0 -Konzept“)	Kaltrisse vom Typ wasserstoffunterstützter Riss „Wasserstoffrisiskonzept“ („ T_P -Konzept“)
Ermitteln der Notwendigkeit einer Vorwärmung	
Berechnung von Kohlenstoffäquivalenten CEV	Berechnung von Kohlenstoffäquivalenten CET
$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$	$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40}$
CEV-Angaben nach Abnahmeprüfzeugnis	Vergleich der CET-Angaben mit Grenzblechdicken nach SEW 088
bei Überschreitung von $CEV \geq 0,40\%$ ist eine Vorwärmung empfehlenswert	bei Überschreitung von CET in Abhängigkeit von der Grenzblechdicke ist eine Vorwärmung empfehlenswert
Berechnung der minimalen Vorwärmtemperatur	
Lösung 1 - für T_0 (vergleichsweise dicke Bleche) $T_{03} = 113,64 \cdot \ln \left(\frac{198,6 \cdot t_{8/5} \cdot v_s}{F_3 \cdot U \cdot I \cdot k} - 5,3126 \right)$	Berechnen des Wärmeeinbringens $Q = k \cdot \left(\frac{U \cdot I}{v} \right) \cdot 10^{-3}$
Lösung 2 - für T_0 (vergleichsweise dünne Bleche) $T_{02} = 81,3 \cdot \ln \left(\frac{187,1 \cdot t_{8/5} \cdot d^2 \cdot v_s^2}{F_2 \cdot U^2 \cdot I^2 \cdot k^2} - 6,8943 \right)$	Berechnen von T_P $T_P = 700 \cdot CET + 160 \cdot \tanh \left(\frac{d}{35} \right) + 62 \cdot HD^{0,35} + (53 \cdot CET - 32) \cdot Q - 330$
Es gilt der jeweils höhere Wert von T_0	Bewerten der Höhe von T_P
wenn $T_0 > T_P$ gilt T_0, wenn $T_0 < T_P$ gilt T_P jedoch nicht höher als 220 °C	
Mit: $t_{8/5}$ Abkühlzeit zwischen 800 und 500 °C (s) k relativer thermischer Wirkungsgrad (bezogen auf UP) F_2 Nahtfaktor für die sogenannte zweidimensionale Wärmeableitung F_3 Nahtfaktor für die sogenannte dreidimensionale Wärmeableitung HD diffusibler Wasserstoff in ml/100 g Schweißgut	U Lichtbogenspannung (V) I Schweißspannung (A) v_s Schweißgeschwindigkeit (mm/s) d Blechdicke (mm) Q Wärmeeinbringen in kJ/cm