

Das Merkblatt ist als Hilfe für den Verarbeiter nickellegierter Stähle für Tieftemperaturanwendungen gedacht. Es soll den aktuellen Wissensstand bei der schweißtechnischen Verarbeitung dieser Werkstoffgruppe in kurzgefaßter Form vermitteln. Es berücksichtigt nicht die in neuerer Zeit zur Anwendung kommenden Cr-Mo-Stähle, welche ebenfalls im Tieftemperaturbereich anwendbar sind.

Dieses Merkblatt ersetzt Merkblatt DVS 1501 „Empfehlungen für das Schweißen der kaltzähnen Nickelstähle“ (1974), 12-Ni 19 und X 8 Ni 9“ (Mai 1973).

#### Inhalt:

- 1 Allgemeines
- 2 Begriffsbestimmungen
- 3 Nickellegierte Grundwerkstoffe für die Tieftemperaturanwendung
- 4 Schweißzusätze für nickellegierte kaltzähne Stähle
- 4.1 Wichtige Einflußfaktoren beim Schweißen nickellegierter kaltzähner Stähle
- 4.2 Legierungsgruppen von Schweißzusätzen für die Tieftemperaturanwendung
- 5 Schweißtechnische Verarbeitung nickellegierter Stähle
- 5.1 Vorbereitung zum Schweißen
- 5.2 Empfehlungen zum Schweißen
- 5.2.1 Allgemeine Empfehlungen
- 5.2.2 Empfehlungen für Stähle mit 1 % bis 3,5 % Nickel
- 5.2.3 Empfehlungen für Stähle mit 5 % bis 9 % Nickel
- 6 Mischverbindungen mit nickellegierten kaltzähnen Stählen
- 7 Schrifttum
- 8 Anhang – Tabellen

### 1 Allgemeines

Gegenwärtig wird etwa 4mal soviel Erdgas gefunden und auch gefördert als verbraucht wird. Da Lagerstätten und Gasverarbeitungsanlagen oft sehr weit auseinander liegen (Lagerstätten z. B. Golfstaaten, Zentralasien, Alaska, Nordseeeshelf; Industriezentren in Europa, Japan, Nordamerika), muß das Gas über weite Entfernungen transportiert bzw. ein großer Teil des Gases zu kleinen Gaslagern gelagert werden. Um große Gasmengen auf kleinem Raum transportieren und lagern zu können, hat sich die Gasverflüssigung praktisch bewährt. Man macht sich bei dieser Technologie den Umstand zunutze, daß das Gas bei der Verflüssigung sein Volumen um mehr als 600 % verringert.

Doch es ist nicht nur Erdgas, das in flüssiger Form gelagert oder transportiert wird. In der Technik gibt es eine Vielzahl von Anwendungen, die tiefe Temperaturen erfordern. Welche Temperaturen erforderlich sind, um die verschiedenen Gase zu verflüssigen, und welche Stähle dazu bevorzugt Anwendung finden, zeigt Tabelle 1.

### 2 Begriffsbestimmungen

Für den Begriff der Kaltzähigkeit werden im aktuellen Regelwerk zwei Grenzwerte angegeben. So werden nach SEW 680 Stähle als kaltzäh bezeichnet, die an Temperaturen unterhalb  $-10^{\circ}\text{C}$  und tiefer noch eine Kerbschlagarbeit von mindestens 27 J aufweisen. Demgegenüber gibt DIN 17 280 als Grenzwert für die Kaltzähigkeit eine Temperatur von  $-60^{\circ}\text{C}$  an.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muß jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

Nickellegierte kaltzähne Stähle sind in den Normen DIN 17 280 „Kaltzähne Stähle; Technische Lieferbedingungen für Blech, Band, Breitflachstahl, Formstahl, Stabs- und Schmiedestücke“, Ausgabe Juli 1985, und DIN EN 1028-4 „Nickellegierte kaltzähne Stähle“, Ausgabe Mai 1992, sowie in den Stahl-Eisen-Werkstoffblättern SEW 680 und SEW 685 standardisiert.

### 3 Nickellegierte Grundwerkstoffe für die Tieftemperaturanwendung

Aus Tabelle 1 kann entnommen werden, daß für den Bau von Verflüssigungs- und Verampfanlagen, Lagertanks und Transporteinheiten Werkstoffe gefragt sind, die sich durch eine entsprechende Tieftemperatureignung, d. h. Tieftemperaturzähigkeit, auszeichnen.

Bisher wurden für solche Anwendungen hauptsächlich hochlegierte Stähle mit Sonderwerkstoffen eingesetzt. Dazu zählen

- austenitische Stähle
- Nickel und Nickellegierungen
- Aluminiumlegierungen
- Kupfer- und Kupferlegierungen

Da die Zahl der Anwendungen in der Tieftemperaturtechnik jedoch ständig steigt, o. g. Werkstoffe z. T. sehr teuer sind, galt es, um bzw. legierte Stähle zu entwickeln, die sich in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur durch unterschiedliche Nickelgehalte auszeichnen und den kaltzähnen Werkstoffen zugeordnet werden können.

Nickellegierte Stähle für Tieftemperaturanwendungen lassen sich entsprechend ihrem Nickelgehalt folgenden Legierungstypen zuordnen:

- Stähle mit etwa 1 % Nickel
- Stähle mit etwa 3,5 % Nickel
- Stähle mit etwa 5 % Nickel
- Stähle mit etwa 9 % Nickel

Durch Zulegieren von Nickel werden der Umwandlungsablauf und die Vergütbarkeit beeinflusst. Dadurch ergeben sich günstigere Gefügeeigenschaften, insbesondere ein feines Korn. Neben der daraus resultierenden Verbesserung der Zähigkeitseigenschaften können auch bei gleichen Gehalten der anderen in diesen Stählen vorhandenen Elemente, wie Kohlenstoff, Silizium und Mangan, die Festigkeitseigenschaften gesteigert werden (Mischkristallverfestigung).

Tabelle 2 gibt über die chemische Zusammensetzung bzw. über ausgewählte mechanische Eigenschaften nickellegierter Stähle für Tieftemperaturanwendungen Auskunft. Im Hinblick auf die Kaltzähigkeit besitzen diese Stähle eine hohe Reinheit, d. h. geringe Gehalte an Phosphor und Schwefel sowie genau aufeinander abgestimmte Gehalte der Legierungselemente.

**4 Schweißzusätze für nickellegierte kaltzähe Stähle**

**4.1 Wichtige Einflußfaktoren beim Schweißen nickellegierter kaltzäher Stähle**

Die erfolgreiche schweißtechnische Verarbeitung nickellegierter kaltzäher Stähle hängt von einer Reihe von Einflußfaktoren ab. Zu diesen zählen u. a.:

- Stahlsorte
- Herstellungsverfahren und Anlieferungszustand des Stahles
- Grundwerkstoffeigenschaften wie remanenter Magnetismus, Neigung zur Blaswirkung, Wärmeleitfähigkeit und Wärmeausdehnung
- Schweißprozeß
- Schweißzusatz
- Wärmeführung und Streckenenergie beim Schweißen
- Abkühlgeschwindigkeit = f (Vorwärm- und Zwischenlagentemperatur)

**4.2 Legierungsgruppen von Schweißzusätzen für die Tieftemperaturanwendung**

Beispiele von nickellegierten Schweißzusätzen, deren Schweißgut über eine ausreichende Tieftemperaturzähigkeit verfügt, enthalten die Tabellen 3 und 4.

**5 Schweißtechnische Verarbeitung nickellegierter Stähle**

**5.1 Vorbereitung zum Schweißen**

Die kaltzähen Nickelstähle, insbesondere X12Ni5 und X8Ni9, neigen zum Aufbau von remanentem Magnetismus, der das Schweißverhalten aufgrund von Blaswirkung beeinträchtigen kann. Sie müssen daher im entmagnetisierten Zustand geschweißt werden. Bei der Bestellung sollte neben dem üblichen Werkstoffnachweis nach DIN EN 10204 bzw. DIN 50 049 „Bescheinigungen über Werkstoffprüfungen“ eine Prüfbescheinigung über die magnetische Feldstärke bei der Abnahme des Halbzeugs vereinbart werden. Eine restliche magnetische Feldstärke von 1600 A/m (entsprechend 20 Oe) als Mittelwert sollte im Hinblick auf die störenden Magnetfelder beim Schweißen, insbesondere des Rohr- oder Mantelschusses, nicht wesentlich überschritten werden.

Beim Transport, bei der Lagerung und beim Weiterverarbeiten ist eine Magnetisierung der Werkstoffe zu vermeiden, die z. B. durch Runden auf Biegewalzen, Transport mit Magnetkette, thermisches Schneiden mit Magnetrollenführung, Beeinflussung durch stromführende Schweißkabel und ähnliches auftreten kann. Vor dem Schweißen sollen nach Möglichkeit die Magnetfelder zwischen den Stoßkanten kontrolliert werden. Werte bis zu einer Feldstärke von maximal 4800 A/m (60 Oe) beeinträchtigen das Schweißen noch nicht nennenswert. Stärkere Magnetfelder können gegebenenfalls durch die Lage des Gegenstands beeinflusst bzw. durch das Aufsetzen von Permanentmagneten oder durch das Aufbringen eines geschwächten Feldes abgeschwächt werden.

Auch das Anlegen eines Streifens aus unlegiertem Blech an die Rückseite der Naht verringert durch Verlagern der Feldlinien die Blaswirkung im Schweißspalt. Die Streifenstärke soll mindestens die Dicke, die Streifenbreite mindestens die vierfache Dicke des zu schweißenden Bleches betragen. Falls die genannten Maßnahmen nicht zum Erfolg führen, kann eine Verbesserung durch die folgende Vorgehensweise herbeigeführt werden:

- Schweißen mit sinuskurvenigem Wechselstrom
- Schweißen mit rechteckigem Wechselstrom („Square-Wave“-Stromquelle)
- Puffern der Nahtflanken mit dem vorgegebenen Schweißzusatz

Anpaß- und Richtarbeiten sollen im kalten Zustand des Werkstoffes vollzogen werden. Wo dieses nicht möglich ist, muß ein kontrolliertes Vorwärmen (maximal 30 bis 50 °C unter Spannungslühtemperatur bzw. Anlaßtemperatur des Vergütens) durchgeführt werden.

**5.2 Empfehlungen zum Schweißen**

**5.2.1 Allgemeine Empfehlungen**

Vor dem Schweißen ist die Säuberung der Fugenflanken in deren Umgebung von Rost und Zunder unbedingt erforderlich. In der Fugenflanke und im Schweißnahtbereich (vom Lichtbogen erwärmte Zone bzw. vom Schweißpulver abgedeckte Zone) sind auf der Ober- und auf der Unterseite der Bleche Glühzunder und Walzhaut durch Flammstrahlen und/oder Schleifen (festios) zu entfernen. Untergelegte Streifen sind sinngemäß zu behandeln.

Die Fugenflanken können sowohl mechanisch als auch durch thermisches Schneiden hergestellt werden. Hierzu kann DIN 8551 „Schweißnahtvorbereitung; Richtlinien für Fugenformen“ dienen. Bei thermisch geschnittene Kanten richtet sich die Nacharbeit nach der Güte des Schnittes (Tiefe der Riefen usw.). Zum Abschleifen flammgestrahlter, mechanisch oder thermisch geschnittener Flanken sind Schleifscheiben zu verwenden, wie sie auch für andere höherfesten, schweißgeeignete Baustähle Verwendung finden. Es ist darauf zu achten, daß Anlauffarben infolge zu hoher Anpreßdrücke beim Schleifen vermieden werden.

Um eine Wasserstoffaufnahme während des Schweißens zu verhindern, beispielsweise wenn sich Luftfeuchtigkeit auf den zu schweißenden Bauteilen niederschlägt, wird empfohlen, auf etwa 100 °C vorzuwärmen. Ein Vorwärmen auf 100 bis 150 °C ist im allgemeinen erst bei schweißenden Werkstückdicken über etwa 25 mm und bei großen neuen Schnittsänderungen erforderlich.

*Zusammenhang zwischen Art des Schweißzusatzes, Vorwärmtemperatur, Zwischenlagentemperatur und Streckenenergie beim Schweißen nickellegierter Stähle für Tieftemperaturanwendungen*

Art des Schweißzusatzes	Vorwärmtemperatur [°C]	Zwischenlagentemperatur [°C]	Streckenenergie [kJ/cm]
artähnlich	blechdickenabhängig ≥ 100	max. 200	max. 18
artfremd	blechdickenabhängig ≥ 100	max. 150	max. 15

**Hinweis:**

Bei ungeeigneten Schweißparametern können die Zähigkeitseigenschaften bei Betriebstemperatur negativ beeinflusst werden bzw. gänzlich verloren gehen.

Die Ausführung von Schweißarbeiten unterhalb Umgebungstemperaturen von 5 °C ist zu vermeiden.

Die Schweißzusätze müssen im trockenen Zustand verarbeitet werden, um die Wasserstoffaufnahme in niedrigen Grenzen zu halten. Insbesondere beim artähnlichen Schweißen mit Stabelektroden und beim Schweißen unter Pulver ist darauf zu achten, daß der diffusible Wasserstoffgehalt im Schweißgut Werte von 5 ml/100 g (gemessen nach DIN 8572-1 und -2) nicht übersteigt. Diesbezügliche Empfehlungen der Hersteller sind zu beachten. Es wird besonders darauf hingewiesen, daß die Angaben bezüglich der Nachtroknung von Elektroden und Schweißpulvern berücksichtigt werden müssen.

Das Zünden der Elektroden auf dem Bauteil ist unzulässig, dagegen auf den Fugenflanken zulässig. Unbeabsichtigte Zündstellen sind durch Schleifen zu entfernen und mit Hilfe von Eindringprüfverfahren (PT) auf Rißfreiheit zu untersuchen.

Zur schweißtechnischen Verarbeitung der in diesem Merkblatt beschriebenen Stähle können die in Tabelle 3 aufgeführten Schweißzusätze verwendet werden. Bei deren Auswahl ist darauf zu achten, daß sich in Zwangsposition geringere Kerbschlagarbeitswerte ergeben können. Es wird empfohlen, tiefste Einsatztemperatur und Anwendungsgrenzen durch Verfahrensprüfungen festzulegen.