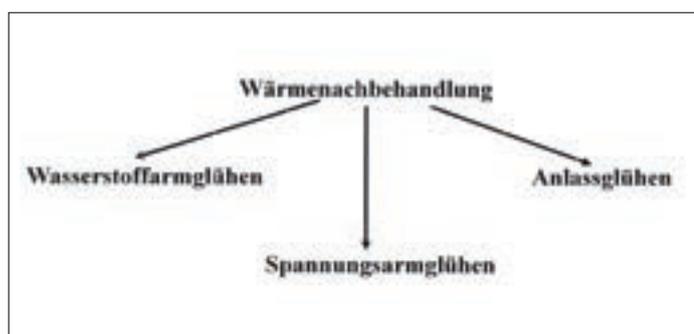


EMPFEHLUNGEN ZUM WÄRMENACHBEHANDeln VON SCHWEISSVERBINDUNGEN AN UN- UND NIEDRIGLEGIERTEN STÄHLEN

Vergleich der Festlegungen verschiedener Regelwerke

Ulrich Killing, Nerdlen

Die Wärmenachbehandlung einer Schweißnaht oder eines geschweißten Bauteils kann direkt nach dem Schweißen oder nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur und auf unterschiedliche Arten erfolgen. Der folgende Beitrag stellt verschiedene Wärmenachbehandlungsarten vor und beschreibt die wichtigsten Aufheizmethoden sowie die für das Wärmenachbehandeln relevanten Prozessparameter.



◀ Bild 1. Wärmenachbehandlungsarten für un- und niedriglegierte Stähle

Arten der Wärmenachbehandlung

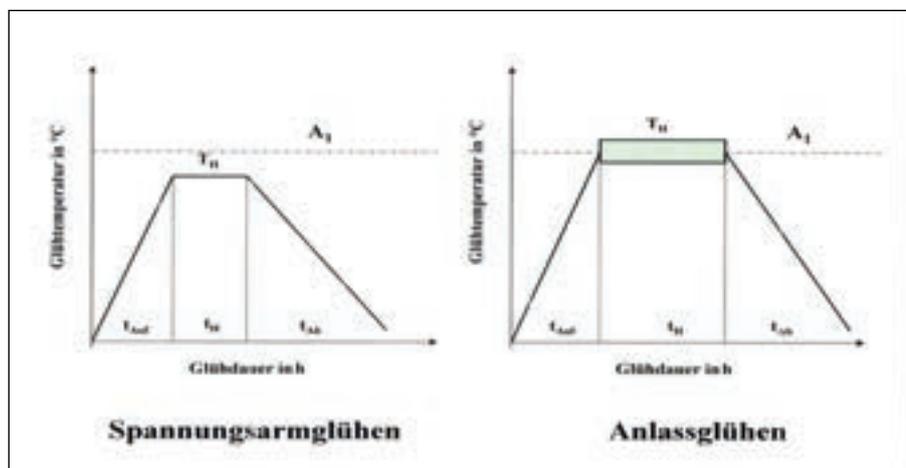
Im Wesentlichen werden nach dem Schweißen von un- und niedriglegierten Stählen drei Arten der Wärmenachbehandlung unterschieden (Bild 1).

Wasserstoffarmglühen

Wasserstoff gelangt entweder bei der Herstellung in den Stahl oder aber aus der Umhüllung von Stabelektroden bzw. aus dem Pulver bei der UP-Schweißung in das Schweißgut. Darüber hinaus kann Feuchtigkeit im Nahtbereich oder Luftfeuchtigkeit, die infolge einer falschen Brennerhaltung in das Schweißgut gelangt, zu einer Wasserstoffaufnahme des flüssigen Schweißguts führen. Wasserstoff hat eine versprödende Wirkung auf den Stahl. Erscheinungen wie „Flockenbildung“ oder „Fischaugen“ sind auf den Einfluss von Wasserstoff zurückzuführen. Besonders gefährlich sind die sogenannten „wasserstoffinduzierten Risse“, die teilweise erst Stunden oder Tage nach Beendigung der Schweißung entstehen. Ein Vorwärmen der Bauteile sowie das vorschriftsmäßige Trocknen der Stabelektroden bzw. des UP-Pulvers verringert die Gefahr, dass die genannten Fehlstellen im Stahl entstehen. Durch ein Wasserstoffarmglühen nach dem Schweißen wird die Diffusionsgeschwindigkeit des Wasserstoffs erhöht, sodass dieser vollständig aus dem Werkstoff entweichen kann. Die Glühtemperaturen sollten dabei zwischen 200 und 300°C betragen. Je nach Bauteildicke sind Glühzeiten zwischen 3 und 6 h einzuhalten [2]. Es empfiehlt sich, das Wasserstoffarmglühen direkt aus der Schweißwärme heraus vorzunehmen.

Der Begriff „Wärmenachbehandlung“, im englischen Sprachraum auch „Post weld heat treatment (PWHT)“ genannt, beschreibt das Erhitzen einer Schweißnaht oder eines geschweißten Bauteils nach Beendigung des Schweißprozesses. Das Erhitzen kann dabei unmittelbar nach dem Schweißen aus der Schweißwärme heraus oder aber nach dem Abkühlen der Naht bzw. des Bauteils auf Raumtemperatur erfolgen. In den folgenden

Ausführungen werden einige Arten der Wärmenachbehandlungen, die wichtigsten Aufheizmethoden sowie die für das Wärmenachbehandeln relevanten Prozessparameter vorgestellt. Die Ausführungen beziehen sich dabei auf Werkstoffe, wie sie beim Bau von Druckgeräten (Rohrleitungen, Apparate usw.) üblich sind. Schwerpunktmäßig werden dabei Stähle der Werkstoffgruppen 1.1, 1.2 und 5.1, 5.2 nach DIN CEN ISO/TR 15608 [1] betrachtet.



▲ Bild 2. Typische Glühverläufe für das Spannungsarm- und das Anlassglühen von Schweißnähten

Spannungsarmglühen

Das Spannungsarmglühen wird bei Temperaturen unterhalb des unteren Umwandlungspunkts A_1 durchgeführt. Ein typischer Temperaturverlauf ist in **Bild 2** wiedergegeben. Der Glühverlauf ist dabei durch eine Aufheiz(t_{Auf})-, eine Halte(t_{H})- und eine Abkühlphase (t_{Ab}) gekennzeichnet. Beim Spannungsarmglühen finden keine Gefügeumwandlungen statt, vielmehr erfolgt ein Abbau von etwaigen Schweißspannungen. Es erfolgt also keine wesentliche Änderung der vorliegenden Werkstoffeigenschaften.

Die Glühtemperaturen sind abhängig von dem jeweiligen Regelwerk, nach dem das Bauteil gefertigt wird. Beispiele für unlegierte Stähle sowie für normalgeglühte Feinkornbaustähle und 15Mo3/16Mo3 sind in **Tabelle 1** wiedergegeben. Abhängig vom jeweiligen Regelwerk bewegen sich die Temperaturen für das Spannungsarmglühen dieser Werkstoffe zwischen 520°C und 620°C. Empfehlungen für das Aufheizen und Abkühlen sind im Abschnitt „Glühparameter“ dieses Beitrags wiedergegeben.

Anlassglühen

Beim Anlassglühen wird eine Haltetemperatur knapp unter bzw. knapp oberhalb des unteren Umwandlungspunkts A_1 eingestellt (**Bild 2**). Diese Art der Wärmenachbehandlung wird unter anderem nach dem Schweißen von niedriglegierten, warmfesten CrMo-legierten Stählen angewendet. **Tabelle 2** enthält beispielhaft Glühtemperaturen, wie sie in verschiedenen Regelwerken enthalten sind.

Beim Anlassglühen werden nicht nur Schweißspannungen abgebaut, sondern es kommt auch zu komplexen Gefügeumwandlungen, beispielsweise Anlassvorgängen im Martensit- und Zwischenstufengefüge. Darüber hinaus können Ausscheidungsvorgänge von Karbiden im lösungsgeglühten Bereich der schmelzliniennahen Wärmeeinflusszone (WEZ) stattfinden. Durch das Anlassglühen kommt es zu einem Abbau der Werkstoffhärte in der WEZ. Ferner bewirkt das Ausscheiden von Karbiden ein verbessertes Werkstoffverhalten bei hohen Betriebstemperaturen. Allerdings darf nicht unerwähnt bleiben, dass die beschriebenen positiven Effekte nur dann erzielt werden können, wenn die Glühparameter Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit sowie die Haltezeit auf Glühtemperatur optimal aufeinander abgestimmt werden.

Glühverfahren

Örtliches Glühen

Im Allgemeinen versteht man unter örtlichem Glühen das Erhitzen von Werkstücken durch Lanzen- oder Ringbrenner, die mit Acetylen-Sauerstoff- oder Propan-/Butan-Flamme betrieben werden. Diese Verfahren werden fast ausnahmslos für die Wärmenachbehandlung von dünnwandigen Bauteilen verwendet. Weitere Möglichkeiten zur Erwärmung beim örtlichen Glühen stellen konduktive oder induktive Verfahren dar. Darüber hinaus kommen Prozesse zum Einsatz, die durch Widerstandserwärmung die notwendige Bauteiltemperatur erzeugen. Diese drei Verfahren werden auch für das örtliche Glühen von großen, dickwandigen Bauteilen eingesetzt, wobei sogenannte Glühgürtel oder Glühmatten verwendet werden. Bei der örtlichen Glühung mit Matten oder Gürteln ist darauf zu achten, dass eine ausreichend große Zone neben der Schweißnaht auf die geforderte Glühtemperatur erwärmt wird. Dabei muss die Schweißnaht möglichst in der Mitte der Glühzone liegen. Die notwendige Glühzonenbreite lässt sich nach der Faustformel $5\sqrt{R_w}$ ermitteln, wobei R der Innenradius des Bauteils und w

die Wanddicke des Bauteils ist. **Bild 3** zeigt den Rohrboden eines Rohrbündelwärmeaustauschers aus dem Werkstoff 12CrMo9-10, der mit Glühmatten eingepackt wurde. Hiermit wird das Werkstück auf Vorwärmtemperatur erwärmt bzw. die Zwischenlagentemperatur konstant gehalten, um dann nach dem Schweißen auf Anlasstemperatur erhitzt zu werden.

Letztlich darf nicht unerwähnt bleiben, dass zum Glühen von besonders großen Bauteilen, deren Transport sehr aufwendig und kostenintensiv ist, transportable Glühöfen benutzt werden, die in der Werkstatt um den Apparat errichtet werden, sodass dieser als Ganzes wärmebehandelt werden kann.

Stationäres Glühen

Beim stationären Glühen wird das Bauteil je nach Größe ganz oder teilweise in einen Ofen eingebracht und dort wärmebehandelt. Das Glühen kann dabei bei Umgebungsatmosphäre erfolgen. Sie sollte jedoch vorzugsweise unter Sauerstoffausschluss mit Stickstoff- bzw. Argonabdeckung durchgeführt werden. Manche Öfen bieten auch die Möglichkeit einer Glühung im Vakuum.

▼ Tabelle 1. Beispiele für Spannungsarmglühtemperaturen von Stählen der Werkstoffgruppen 1.1/1.2

| Stahlsorte | Glühtemperaturen in °C | | |
|--|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | VdTÜV Merkblatt 451 /3/ | DIN EN 13480 (Rohrleitungen) /4/ | DIN EN 13445 (Druckbehälter) /5/ |
| Unlegierter Stahl mit $R_{\text{m}} < 360$ MPa sowie normalisierte Feinkornbaustähle mit $R_{\text{m}} \leq 360$ MPa (z.B. P235GH, P265GH, P355NH) | 520-600 | 550-600 | 550-600 |
| C-Mo-Stahl (z.B. 15Mo3, 16Mo3) | 530-620 | 550-620 | 550-620 |

▼ Tabelle 2. Beispiele für Anlassglühtemperaturen von CrMo-legierten warmfesten Stählen

| Stahlsorte | Glühtemperaturen in °C | | |
|--|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | VdTÜV Merkblatt 451 /3/ | DIN EN 13480 (Rohrleitungen) /4/ | DIN EN 13445 (Druckbehälter) /5/ |
| CrMo-Stahl (z.B. 13CrMo4-5, 13CrMoSi5-5) | 600-700 | 630-700 | 620-680 |
| CrMo-Stahl (z.B. 10CrMo9-10, 12CrMo9-10) | 650-750 | 670-730 | 660-720 |

In der DIN EN 13445-4 werden einige interessante Festlegungen für das Ofenglühen getroffen. So soll das Bauteil im Ofen ausreichend unterstützt eingebracht werden, sodass temperaturinduzierte Verformungen vermieden werden. Bei einfachen Bauteilen erfolgt das Einbringen in den Ofen bzw. die Entnahme aus dem Ofen, wenn dieser auf etwa 400°C vorgeheizt bzw. abgekühlt ist. Bei komplizierten Geometrien oder Wanddicken >60 mm kann das Bauteil bei Erreichen einer Vorheiztemperatur von 300°C in den Ofen eingefahren werden. Die Entnahme erfolgt dann nach einer Abkühlung der Ofentemperatur auf etwa 300°C. Das eigentliche Aufheizen soll erst dann erfolgen, wenn das gesamte Bauteil auf 300°C/400°C erwärmt ist. Oberhalb einer Temperatur von 500°C dürfen die auf einer Bauteillänge von 4500 mm gemessenen Temperaturschwankungen während des Aufheizens und Abkühlens 100°C nicht überschreiten. Die vorgegebenen Temperaturen müssen mit einer ausreichenden Anzahl von Thermoelementen, die direkt mit der Werkstoffoberfläche in Kontakt stehen, gemessen werden. Die gemessenen Temperaturen sind kontinuierlich aufzuzeichnen.

Glühparameter

Grenzwanddicken für Wärmenachbehandlungen

Die Notwendigkeit, ab wann eine Wärmenachbehandlung des Bauteils erfolgen muss, hängt zum einen von der Wanddicke des Bauteils, zum anderen von der verwendeten Stahlsorte ab. Darüber hinaus unterscheiden sich die Grenzwanddicken in



▲ Bild 3. Arbeiten an einem Rohrbündelwärmeaustauscher aus dem Werkstoff 12CrMo9-10

Abhängigkeit vom jeweiligen technischen Regelwerk, nach dem das Bauteil gefertigt werden soll. In **Tabelle 3** sind die Grenzwanddicken für verschiedene Regelwerke wiedergegeben.

Die Festlegungen des deutschen AD2000-Regelwerks und der europäischen DIN-EN-Normen erscheinen auf den ersten Blick nahezu identisch. Die Unterschiede findet man jedoch im „Kleingedruckten“: den Anmerkungen zu den Festlegungen der DIN EN 13445 und DIN EN 13480. So kann gemäß DIN EN 13445-4 auf eine Wärmenachbehandlung nach dem Schweißen von Rohren der Werkstoffgruppe 5.1 (zum Beispiel 13CrMo4-4 oder

13CrMoSi5-5) verzichtet werden, wenn der Nenndurchmesser <120 mm und die Nennwanddicke <13 mm betragen. Für Rohre der Werkstoffgruppe 5.2 (zum Beispiel 10CrMo9-10 oder 11CrMo9-10) mit Nenndurchmesser <120 mm und Nennwanddicken <13 mm gelten ähnliche Erleichterungen, gleichwohl muss die Auslegungstemperatur des Bauteils dann >480°C betragen. Dagegen muss der ebenfalls zur Werkstoffgruppe gehörende Werkstoff 12CrMo9-10 immer wärmenachbehandelt werden.

Die Festlegungen der DIN EN 13480-4 besagen, dass nach dem Schweißen von Stählen der Werkstoffgruppen 5.1 und 5.2 auf eine Wärmenachbehandlung verzichtet werden kann, wenn die Rohrdurchmesser $d_a \leq 114,3$ mm und die Rohrwanddicke $\leq 7,1$ mm betragen. Ferner muss mit einer Vorwärmtemperatur von mindestens 200°C geschweißt werden, und für den Betrieb der Rohrleitung ist keine Wärmenachbehandlung erforderlich, das heißt zum Beispiel, es besteht keine Gefahr für das Auftreten von Spannungsrisskorrosion, oder eine Werkstoffgefährdung durch Wasserstoff ist nicht zu erwarten. Diese Festlegungen der beiden EN-Normen können bei der Fertigung erhebliche Erleichterungen darstellen, gelten leider jedoch nicht, wenn als Fertigungsstandard AD2000 gefordert wird.

Letztlich darf nicht unerwähnt bleiben, dass auch nach dem Schweißen von Stählen

▼ Tabelle 3. Regelwerksvergleich der Grenzwanddicken für Wärmenachbehandlung (* siehe Abschnitt „Grenzwanddicken für Wärmenachbehandlungen“ in diesem Beitrag)

| Stahlsorte | Grenzwanddicken für die Wärmenachbehandlung | |
|--|---|--|
| | AD2000-HP0 /6/ (Druckbehälter/Rohrleitungen) | DIN EN 13445/DIN EN 13480 (Druckbehälter/Rohrleitungen) |
| Werkstoffgruppe 1.1 und 1.2 (z.B. P235GH, P265GH, P355GH, 16Mo3) | > 38 mm | > 35 mm |
| Werkstoffgruppe 5.1 (z.B. 13CrMo4-5, 13CrMoSi5-5) | Wärmenachbehandlung immer erforderlich | Wärmenachbehandlung immer erforderlich* |
| Werkstoffgruppe 5.2 (z.B. 10CrMo9-10, 11CrMo9-10, 12CrMo9-10) | Wärmenachbehandlung immer erforderlich | Wärmenachbehandlung immer erforderlich* |

der Werkstoffgruppen 1.1 und 1.2 eine Wärmenachbehandlung von Bauteilen mit Wanddicken, die unterhalb der Grenzwanddicke liegen, sinnvoll sein kann. Als Beispiel sei hier ebenfalls auf das Verhindern von Spannungsrisskorrosion oder Wasserstoffversprödung hingewiesen.

Haltezeiten auf Glühtemperatur

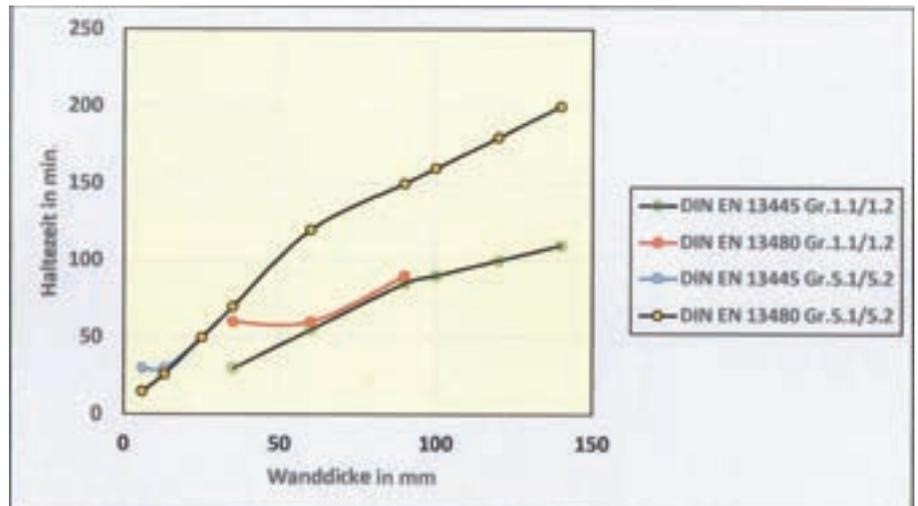
Dieser Parameter gibt an, wie lange ein Bauteil auf Glühtemperatur gehalten werden muss, bevor der Abkühlvorgang begonnen werden darf. Dieser Parameter wird im deutschen AD2000-Regelwerk nicht erwähnt. Dagegen finden sich abhängig von der Wanddicke des Bauteils detaillierte Angaben zu den notwendigen Haltezeiten in den DIN-EN-Normen 13445 und 13480 (**Bild 4**).

Der Auftragung in **Bild 4** ist zu entnehmen, dass Werkstoffe der Gruppen 5.1 und 5.2 deutlich länger auf Glühtemperatur gehalten werden müssen als die Stähle der Gruppen 1.1 und 1.2. Dabei sind die Haltezeiten für Werkstoffe der Gruppe 5.1 und 5.2 unabhängig von der Bauteilart (Rohr oder Behälter) gleich lang. Dagegen unterscheiden sich die Haltezeiten für Rohre und Behälter der Werkstoffgruppen 1.1 und 1.2 bei relativ dünnwandigen Bauteilen ($w < 60$ mm). In DIN EN 13480 enden die Vorgaben für Haltezeiten der Werkstoffgruppen 1.1 und 1.2 bei einer Rohrwanddicke von 90 mm. Dies hängt eventuell damit zusammen, dass dickwandigere Rohre der Werkstoffgruppe 1.1 und 1.2 auf dem Markt nicht verfügbar sind.

Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten

Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten werden sowohl in der DIN EN 13445 als auch in der DIN EN 13480 werkstoffunabhängig vorgegeben (**Bild 5**). Diese Parameter finden im deutschen AD2000-Regelwerk dagegen ebenfalls keine Erwähnung.

Im Vergleich zu Behältern werden für Rohre im Wanddickenbereich < 30 mm in der DIN EN 13480 höhere Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten zugelassen. Das Aufheizen bzw. Abkühlen darf jedoch $300^\circ\text{C}/\text{h}$ nicht überschreiten. Dagegen beträgt die maximale Geschwindigkeit für Apparate in diesem Wanddickenbereich lediglich $220^\circ\text{C}/\text{h}$. Im Wanddickenbereich ≥ 30 mm sind die zulässigen Aufheiz-/Abkühlraten für Rohre und Behälter identisch.



▲ Bild 4. Vergleich der Haltezeiten auf Glühtemperatur für Behälter- und Rohrschweißnähte

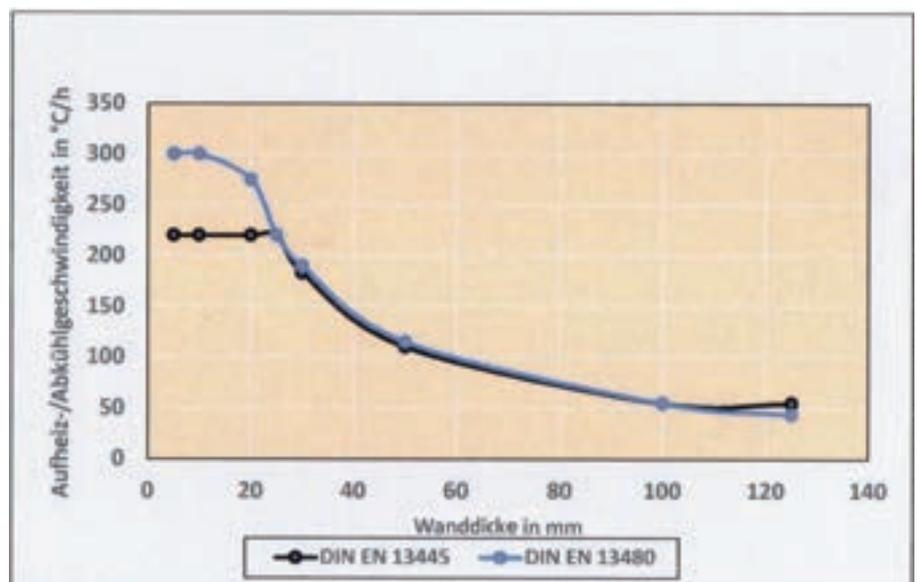
Wärmenachbehandeln von Mischverbindungen

Müssen zwei unterschiedliche Werkstoffe durch Schweißen verbunden werden, wird der Schweißzusatzwerkstoff in der Regel auf den niedriglegierten Stahl abgestimmt. Bei der Festlegung der Glühtemperatur für eine Wärmenachbehandlung der Werkstoffkombination muss dann jedoch ein Kompromiss gefunden werden, der zum einen verhindert, dass die mechanisch/technologischen Eigenschaften des niedriglegierten Werkstoffs unzulässig verändert werden. Zum anderen muss die Glühtemperatur hoch genug gewählt werden, um im Falle des höherlegierten Partners einen messbaren Anlasseneffekt zu erzielen. In **Tabelle 4** sind, basierend auf Festlegungen der DIN EN 13480,

beispielhaft für Kombinationen der Werkstoffgruppen 1.1, 1.2 und 5.1,5.2 geeignete Glühtemperaturen für Mischverbindungen aufgeführt.

Wärmenachbehandlung bei Werkstoffen mit stark abweichenden Glühtemperaturbereichen

Für den Fall, dass zwei Werkstoffe mit deutlich unterschiedlichen Glühtemperaturbereichen verschweißt werden müssen, sind spezielle Maßnahmen erforderlich, um eine brauchbare Schweißverbindung zu gewährleisten. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn eine druckbeanspruchte Schweißverbindung zwischen der Werkstoffgruppe 1.1 und einem Stahl der Werkstoffgruppe 5.2 (zum Beispiel 10CrMo9-10) hergestellt werden muss.



▲ Bild 5. Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten für die Wärmenachbehandlung von Stahlwerkstoffen

▼ Tabelle 4. Festlegungen der Glühtemperaturen für die Wärmenachbehandlung von Mischverbindungen

| Werkstoffe | P235GH, P265GH, P355GH | 15Mo3, 16Mo3 | 13CrMo4-5 | 10CrMo9-10, 12CrMo9-10 | CrNi-Stahl |
|---|---------------------------------|--------------|------------|---------------------------------|---|
| Temperaturen der Wärmenachbehandlung in °C | | | | | |
| P235GH, P265GH, P355GH | 550 - 600* | 580 - 600 | 580 - 600 | Sondermaßnahmen erforderlich | 550 |
| 15Mo3, 16Mo3 | 580 - 600 | 550 - 620* | 600 - 620 | 620 - 640 | 550 |
| 13CrMo4-5 | 580 - 600 | 600 - 620 | 630 - 700* | 670 - 700 | 630 |
| 10CrMo9-10, 12CrMo9-10 | Sondermaßnahmen erforderlich | 620 - 640 | 670 - 700 | 670 - 730* | 670 |
| CrNi-Stahl | 550 | 550 | 630 | 670 | Keine Wärmenachbe- handlung erforderlich |

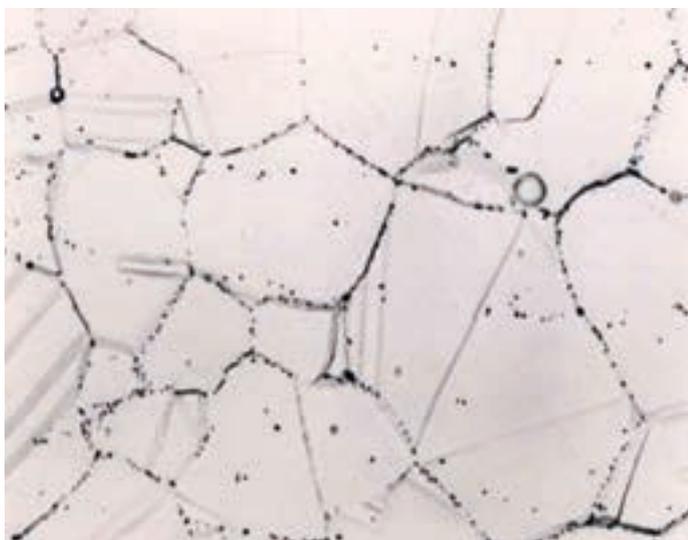
*Werte aus DIN EN 13480

Während für einen C-Mn-Stahl eine Glüh-temperatur von maximal 600°C angegeben wird, beginnt der Temperaturbereich für eine An-lasglühung des Werkstoffs 10CrMo9-10 bei 670°C. Gelöst werden kann dieses Problem beispielsweise durch das Verwenden eines geeigneten Zwischenwerkstoffs, der eine ge-wisse Annäherung der Glühtemperaturbe-reiche gewährleistet. Im gewählten Beispiel könnte ein Passstück aus 16Mo3 verwen-det werden, das mit einem Mo-legierten Zu-satzwerkstoff eingeschweißt werden könn-te. Die Verbindungsnaht zum 10CrMo9-10 würde dann mit einer Glühtemperatur von 640°C angelassen. Die Schweißnaht zwischen

dem C-Mn-Stahl und 16Mo3 wird anschlie-ßend bei 580°C geglüht, bzw. es kann letz-tere Wärmenachbehandlung entfallen, wenn die Wanddicke des Bauteils unterhalb der Grenzwalldicke für eine Nachbehand-lung der Werkstoffgruppe 1.1 liegt. Alternati-v zu der Verwendung eines Passstücks lässt sich das Problem durch Auftragschweißen der Schweißfugenfläche auf der 10CrMo9-10-Seite lösen. Hierbei wird bei ausreichen-der Vorwärmung eine mindestens dreilagi-ge Auftragschweißung mit einem Mo-legierten Schweißzusatzwerkstoff (ähnlich 16Mo3) hergestellt und anschließend der gepufferte Bereich bei etwa 640°C angelassen. Danach

folgt das Verbindungsschweißen an dem C-Mn-Stahl, das ebenfalls mit dem Mo-legierten Zusatzwerkstoff erfolgt. Falls die Grenz-wanddicke für den C-Mn-Stahl überschritten wird, erfolgt danach ein Spannungsarmglü-hen bei etwa 550 bis 580°C. Im geregelten Bereich muss die Eignung der vorgestellten Methoden durch Verfahrensprüfungen nach-gewiesen werden.

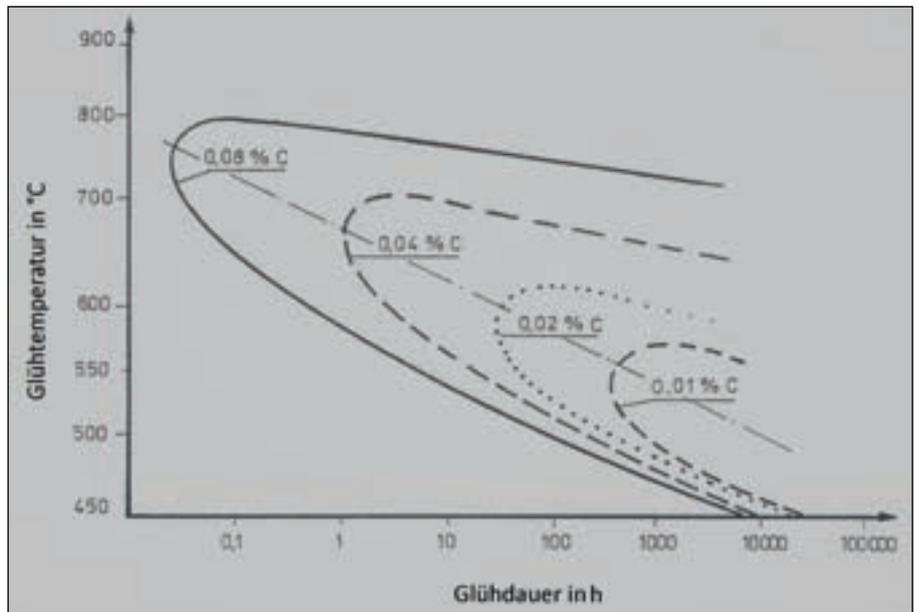
Anbauteile, wie Bühnen, Leitern, Gelän-der oder Pratten, werden in der Regel aus unlegierten, zum Teil verzinkten Baustäh-len gefertigt. Diese Komponenten dürfen nicht auf die drucktragende Apparatewan-dung angeschweißt werden. Da die Monta-ge dieser Bauteile immer nach der finalen Wärmenachbehandlung erfolgt, werden im Bereich der vorgesehenen Montagepunk-te sogenannte Verstärkungsbleche vor der Wärmenachbehandlung aufgeschweißt. Im Falle eines Behälters aus 10CrMo9-10 wäre der Stahl 16Mo3 als Werkstoff für die Ver-stärkungsbleche geeignet. Die Wanddicke der Verstärkungsbleche muss so bemessen sein, dass während des Anschweißens der Anbauteile keine nennenswerte Wärmebe-einflussung des Behälterwerkstoffs stattfin-det. Somit ist sichergestellt, dass keine wei-tere Wärmenachbehandlung erfolgen muss. In der Regel ist hierfür eine Wanddicke der Verstärkungsbleche von mindestens 10 mm ausreichend.



◀ Bild 6. CrNi-Stahl-gefüge mit Cr-Karbid-ausscheidungen an den Korngrenzen

Wärmenachbehandlung von Schwarz-Weiß-Verbindungen

Verbindungsschweißungen an un- und niedriglegierten Stählen zum Beispiel mit CrNi-Stählen können eine Wärmenachbehandlung des un- bzw. niedriglegierten Stahls erfordern, wenn die Wanddicke des Bauteils die Grenzwanddicke aus **Tabelle 3** überschreitet. Bei der Festlegung der Glühtemperaturen sowie der Glühdauern ist hierbei Vorsicht geboten, da viele CrNi-Stahlwerkstoffe in den für eine Wärmenachbehandlung erforderlichen Temperaturbereichen zur Ausscheidung von Cr-Karbiden an den Korngrenzen neigen (**Bild 6**), was schließlich die Gefahr zur Bildung von interkristalliner Korrosion (IK-Korrosion) im späteren Betrieb fördert. Dabei ist das Problem weniger bei den CrNi-Stahlgrundwerkstoffen zu suchen, da diese vergleichsweise geringe C-Gehalte aufweisen und je nach



▲ Bild 7. Kornzerfallschaubild für CrNi-Stähle mit unterschiedlichen Kohlenstoffgehalten (Bilder: [7] (7), Killing)

Anzeige

«GYS POWER SOURCES»



INVEST IN THE FUTURE

WIG-AC/DC-, MIG/MAG- & ELEKTRODENSCHWEISSEN, PLASMASCHNEIDEN & INDUKTION

Eine passt immer!








www.gys-schweissen.com

FRANZÖSISCHER HERSTELLER SEIT 1964