

Workshop Flammrichten

Grundlagen und Vortrag

Frank Steller
Gas und Engineering Linde AG
Fangdieckstraße 75
22547 Hamburg

Vortrag und die Unterlagen wurden erstellt durch die Linde AG.
Verwendung und/oder Veröffentlichung nur mit Genehmigung.

Inhalt:

Hinweise
Einführung
Das Prinzip des Flammrichtens
Maßnahmen zur Behinderung der Ausdehnung
Wie wird gerichtet
Einstellung der geeigneten Flamme
Arten der Wärmeeinbringung
Ausrüstung
Brenner und Brennereinsätze
Gase
Flammrichten von verschiedenen Werkstoffen
Un- und niedriglegierte Stähle
Austenitische Stähle
Regeln für das Flammrichten von CrNi – Stählen
Aluminium und Aluminiumlegierungen
Regeln für das Flammrichten von Aluminium
Kupfer und Kupferlegierungen

Vortrag zur Veranstaltung



Magdeburger Schweißtechnik GmbH
An der Sülze 6 · 39179 Barleben
Tel. 039203-75193 · Fax 039203-751940
info@mss-schweisstechnik.de · www.mss-schweisstechnik.de

MUNK GMBH
SCHWEISSEN SCHNEIDEN UMWELTTECHNIK
Ahornstraße 3b · 06246 Bad Lauchstädt
Tel: 034635-22022 · Fax: 034635-22025
info@munk-online.de · www.munk-online.de

Anwendungszentrum

Allgemeines zu den Veranstaltungen

Teilnehmeranzahl	10–20 je Gruppe bei Workshops, max. 200 bei Vortragsveranstaltungen
Sprache	deutsch oder nach Vereinbarung
Schulungsort	MSS GMBH/MUNK GMBH Anwendungszentrum in der Schweißtechnische Lehranstalt Magdeburg GmbH An der Sülze 7, 39179 Barleben
Beginn und Ende	13.00 – 17.00 Uhr bei Workshops oder wie angegeben
Unterlagen	<p>Erhalten Sie als Vortragsmappe und/oder CD-Rom.</p> <p>Die Veranstaltungen enthalten auch praktische Anwendungen bezogen auf den Veranstaltungsinhalt. Persönliche Schutzausrüstung, soweit möglich, bitte mitbringen.</p> <p>Sie finden alle Unterlagen, Arbeitshilfen und Videos zu Verfahren und Anwendungen auf unseren Seiten im Internet. Wenn Sie Videos als DVD oder CD erhalten möchten, senden Sie uns bitte eine Nachricht.</p> <p>Die Teilnahme an unseren Veranstaltungen sind kostenfrei, Übernachtungs und Reisekosten sind von den Teilnehmern selbst zu tragen.</p>

Einführung

Die beim Schweißen in den Werkstoff eingebrachte Wärme verursacht der Schweißkonstruktion Schrumpfungen und Spannungen. Es ist nicht möglich, Verzug- und spannungsfreie Schweißkonstruktionen herzustellen.

Auch andere Fertigungsverfahren, wie z.B. Walzen, Stanzen und Ziehen können weitere Spannungen im Material hervorrufen und den Spannungszustand weiter erhöhen.

Das Flammrichten hat sich über Jahrzehnte als ein sehr effektives Verfahren zum Beseitigen von Schrumpfungen und Beulen bewährt. Ein häufiger Anwendungsfall ist das Richten von Blech- oder Plattenfeldern, wie z.B. im Schiffbau (Bild 1).

Flammrichten ist eine weitaus preiswertere Lösung als das Erstellen von neuen Bauteilen. Ein Beispiel dafür wird in Bild 2a und 2b gezeigt, in dem ein verzogener Stahlschornstein gerichtet wird. Dieser 45 Meter hohe Schornstein wurde in zwei Teilen angeliefert und in einer Höhe von 25 Metern verschweißt. Dies führte zu Verzug mit dem Resultat eines „schiefen Turmes“. Nach dem Kürzen der längeren Seite durch Flammrichten konnte der Verzug von 45 mm korrigiert werden. Ein weiteres Beispiel des Flammrichtens wird in den Bildern 3a und 3b dargestellt. Ein Behälterboden aus rostfreiem Stahl wies nach dem Schweißen einen erheblichen Verzug auf. Für die Korrektur wurden von der Innenseite Wärmepunkte gesetzt. Die Ausdehnung wurde durch Profile und Spannvorrichtungen beim Erwärmen behindert. Die Verformung wurde von anfänglich 70 mm auf 5-7 mm korrigiert.

Flammrichten kann auch zum Erstellen von bestimmten geometrischen Formen genutzt werden. Die Fotoserie in Abbildung 4 a-e zeigt wie eine Stahlbrücke durch Flammrichten gebogen und in die gewünschte Form gebracht wird. Zwei Doppel T-Träger wurden um einen Wert von 4,12 m im Scheitelpunkt durchgebogen. Dies stellt jedoch einen Sonderfall dar.



Bild 1. Flammrichten eines Schiffdecks

Bild 2a und 2b. Flammrichten eines gekrümmten Stahlschornsteins



Bild 3a und 3b. Flammrichten eines Behälterbodens aus austenitischem CrNi-Stahl

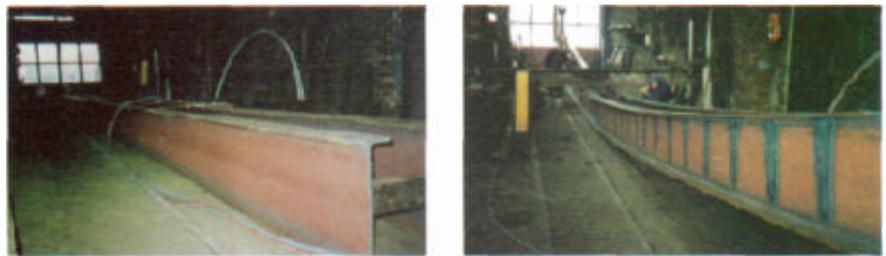
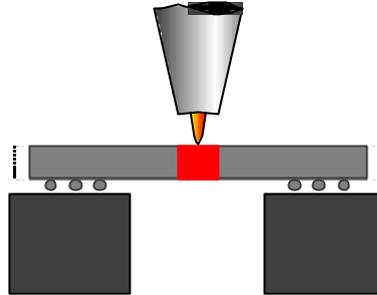


Bild 4a - 4e. Krümmen einer Stahlbrücke durch das Flammrichten. Die Durchbiegung der Profile beträgt 4,12 Meter.



Das Prinzip des Flammrichtens

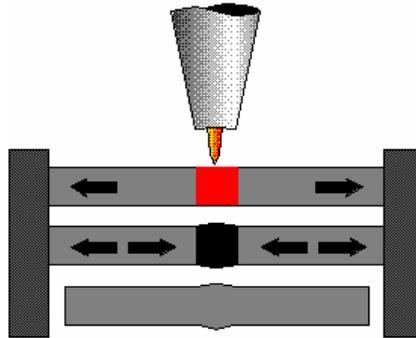
Bild 5: Erwärmung eines frei beweglichen Metallstabes. Bei der anschließenden Abkühlung schrumpft der Metallstab wieder auf Ursprungslänge.



Ist ein Metallstab in seiner Umgebung fest eingespannt, ist er nicht in der Lage, sich bei einer Erwärmung in Längsrichtung auszudehnen. Dadurch entstehen im Stab Druckkräfte, die mit steigender Temperatur zunehmen. Beim Erreichen des plastischen Bereiches kommt es zu einer Stauchung infolge der vorhandenen Druckkräfte. Der Metallstab hat sich verkürzt.

Bild 6: Wärmewirkung beim Flammrichten

- örtlich scharf begrenztes Erwärmen
- Stauchen der erwärmten Zone durch behinderte Wärmedehnung
- Schrumpfen, Verkürzen nach Abkühlen



Beim Flammrichten wird die Autogenflamme zum Erwärmen eines genau bestimmten Bereiches des Werkstückes eingesetzt. Die Temperatur, bei der eine plastische Verformung beginnt, liegt bei normalem Stahl bei etwa 550° C. Bei Aluminium und dessen Legierungen liegt die Temperatur bei etwa 350° - 400°C.

Daher ist es sehr wichtig, das Werkstück schnell und örtlich scharf begrenzt zu erwärmen, um einen Wärmeverlust in das umgebende Material gering zu halten. In dem Bereich, wo das Material erwärmt wird, erfolgt eine Ausdehnung, die durch das umgebende kalte Material behindert wird. Dieses verursacht Zugspannungen, die das Material schrumpfen lassen. Beim Abkühlen zieht sich der Werkstoff mehr zusammen als er sich bei der Erwärmung ausdehnen konnte. Auf diesem Wege können verformte Bauteile, Komponenten oder Bereiche gerichtet werden.

Flammrichten kann mit oder ohne äußere Hilfsmittel durchgeführt werden. Die Absicht solcher Hilfsmittel ist die Verstärkung des Richteffektes durch Fixieren der kalten Bereiche des Werkstückes, da diese sich beim Erwärmen der zu richtenden Stelle bewegen könnten.

Das Endresultat des Flammrichtvorganges wird nicht vor dem Abkühlen des Bauteiles auf Raumtemperatur sichtbar. Normalerweise findet das Abkühlen an der Luft statt, doch die Abkühlgeschwindigkeit kann in vielen Fällen durch Kühlen mit Druckluft oder Wasser beeinflusst werden. (Der Flammrichteffekt ist der gleiche, nur die Abkühlzeit verringert sich.)

Maßnahmen zur Behinderung der Ausdehnung

Es ist sehr wichtig, die Wärmeausdehnung an dem Punkt, wo die Wärme einbringung in das Bauteil erfolgt, zu verhindern. Es gibt viele Möglichkeiten wie man dies erreichen kann. Die Wahl der Möglichkeiten ist abhängig von der Materialdicke und der Form des Bauteiles. Einige Beispiele werden nachstehend dargestellt.

Bild 7: Verschiedene Möglichkeiten von Ausdehnungsbehinderungen

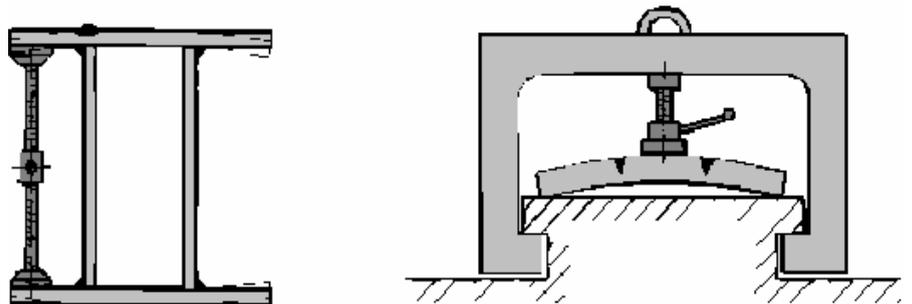
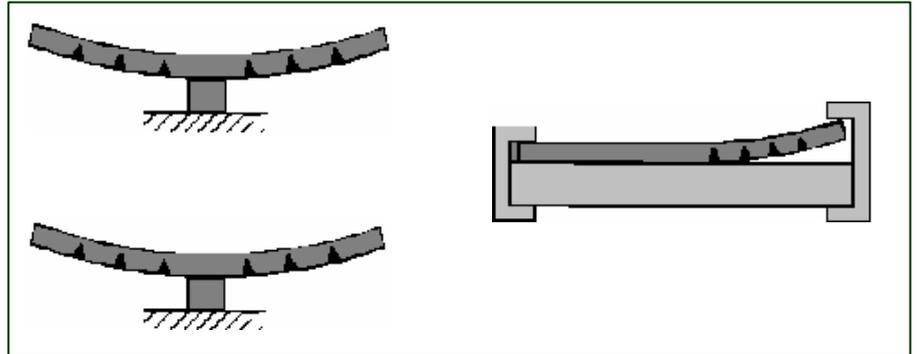


Bild 8: Zwei weitere Möglichkeiten von Ausdehnungsbehinderung beim Flammrichten

Das Richten von Bauteilen im Dünoblechbereich kann unter Zuhilfenahme von Lochplatten erfolgen. Hierbei erfolgt die Ausdehnungsbehinderung durch das Verspannen des Bauteils zwischen einer Lochplatte und einer Gegenplatte. Die Bohrungen in der Lochplatte geben den Abstand zwischen den einzelnen Wärmepunkten vor.

Bild 9: Flammrichten mit Lochplatten



Wie wird gerichtet?

Einstellen der geeigneten Flamme

In Abhängigkeit des Mischungsverhältnisses von Sauerstoff und Brenngas (Acetylen) kann die Flammeneinstellung neutral oxydierend oder reduzierend sein. Verschiedene Anwendungen benötigen unterschiedliche Flammeneinstellungen. Beim Flammrichten von allgemeinen Baustählen ist eine oxydierende Flamme (sauerstoffüberschüssig) zu bevorzugen, da mit dieser eine schnellere Erwärmung möglich ist.

Die nachstehende Tabelle 1 gibt eine Übersicht über Werkstoffe und die dazugehörige Flammeneinstellung.

Tabelle 1: Empfohlene Flammeneinstellung

Werkstoff	Flammeinstellung		
	Neutral	Sauerstoffüberschuss	Geringer Acetylenüberschuss
Baustahl	geeignet	meist vorteilhaft	ungeeignet
Nichtrostende Stähle	geeignet	geringer Überschuss empfehlenswert	ungeeignet
Nickelwerkstoffe	geeignet	geringer Überschuss empfehlenswert	ungeeignet
Aluminium und Aluminiumlegierungen	geeignet	ungeeignet	empfohlen
Kupfer	geeignet	ungeeignet	ungeeignet
Messing	geeignet	geeignet	ungeeignet
Titan und Titanlegierungen	empfohlen	ungeeignet	ungeeignet



Bild 10: Unterschiedliche Flammeneinstellungen.

Arten der Wärme- einbringung

In Abhängigkeit des zu richtenden Bauteiles kann die Wärme in unterschiedlichen Varianten wie zum Beispiel als Punkte, Striche, Keile oder Ovale, oder auch eine Kombination aus mehreren Wärmefiguren in das Bauteil eingebracht werden.

Punkte

Wärmepunkte werden zum Richten von Verwerfungen auf Blechfeldern, Rohren und Wellen eingesetzt. Um ein gutes Ergebnis zu erzielen, muß der Punkt so klein wie möglich gehalten werden. Gewärmt wird vom äußeren Bereich zur Mitte hin.

Wärmestrich

Der Wärmestrich dient zum Beheben von Winkelverzug, zum Beispiel zum Gegenwärmen von Kehlnähten. Der erwärmte Bereich darf höchstens bis zu einem Drittel in die Blechtiefe hineinreichen. Um eine geringere Richtwirkung zu erzielen, können auch Wärmepunkte entlang einer Linie eingebracht werden. Wärmepunkte haben eine geringere Richtwirkung als ein Wärmestrich.

Wärmekeile

Wenn eine starke Verbiegung erforderlich ist, werden Wärmekeile, wie z. B. an Lamellen oder Profilen, eingesetzt. Der Wärmekeil sollte lang und schmal sein. Er wird von der Spitze ausgehend bis zur Grundfläche hin gleichmäßig auf Richttemperatur erwärmt.

Wärmeovale

Das Wärmeoval wird zum Richten von Rohren, zum Beispiel nach dem Anschweißen von Stutzen, verwendet. Das Wärmeoval wird auf der gegenüberliegenden Seite in Längsrichtung zur Rohrachse eingebracht und durchgewärmt.

Je nach Form der Bauteile kann auch eine Kombination der Erwärmungsarten sinnvoll sein.

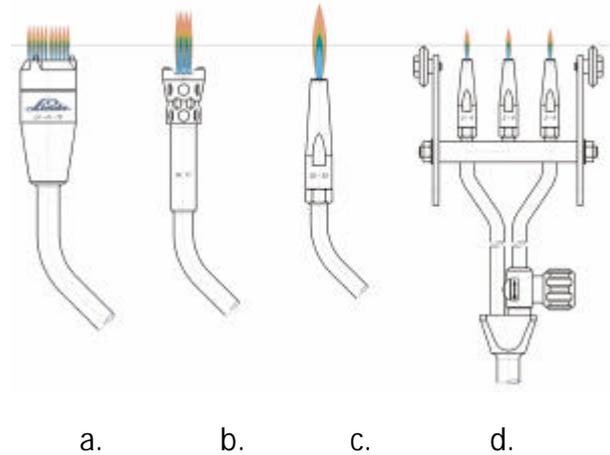
Ausrüstung

Brenner und Brennereinsätze

Die Wahl des geeigneten Brenners ist im Wesentlichen abhängig vom Anwendungsfall, vom Werkstoff und der Materialdicke. Normalerweise können Werkstücke bis zu einer Materialdicke von 15 mm mit herkömmlichen Schweißensätzen, die in den meisten Werkstätten vorhanden sind, gerichtet werden. Durch die Verwendung von unterschiedlichen Brennereinsätzen und -größen kann eine genaue Anpassung an den Anwendungsfall erfolgen, siehe Bild 11.

Bild 11:

- a. Sonderbrenner,
- b. Mehrflammenbrenner,
- c. Einflammenbrenner,
- d. Flammrichtbrenner - umschaltbar



Einflammenbrenner können mit einem Sauerstoffverbrauch von 100 bis zu 7500 Liter pro Stunde eingesetzt werden. Der Einflammenbrenner erzeugt eine Flamme mit einer sehr hohen Wärmekonzentration, die zum Erstellen von formgenauen Wärmefiguren notwendig ist.

Mehrflammenbrenner haben einen Ring von Bohrungen in der Düse, was ein Flammenbild erzeugt, das flächig wärmt. Dies verringert das Risiko einer lokalen Überhitzung bei Gebrauch von großen Einsätzen an empfindlichen Werkstoffen. Er eignet sich auch bei der Erstellung von großen Wärmefiguren, zum Beispiel an dicken Werkstücken, und ermöglicht so ein wirtschaftliches Wärmen.

Der Brausekopfbrenner erzeugt durch viele kleine Bohrungen ein Flammenbündel mit einer großen Anwärmeleistung und einem guten Wärmeübergang. Dieser ist zum Richten von dicken Werkstücken erforderlich. Daher wird der Brausekopfbrenner zum Richten im großen Dickenbereich eingesetzt und steht in verschiedenen Größen zur Verfügung. Zum Richten großer Platten, wie zum Beispiel Decks oder Deckaufbauten, werden Zwei- bzw. Dreidüsenbrenner verwendet, siehe Bild 11 d. Einen optimalen Richterfolg erzielt man wenn die Wärme in mehreren konzentrierten Wärmebahnen in das Werkstück eingebracht wird. Diese Einsätze sind umschaltbar, so dass ein Dreidüsenbrenner auch als Zweidüsenbrenner verwendet werden kann. Der Abstand der Düsen zur Werkstückoberfläche wird mit Abstandhaltern, an denen sich kleine Räder befinden, eingestellt. Dies ermöglicht bei genauer Einstellung einen guten Wärmeübergang in das Bauteil.

Weiterhin gibt es noch Sonderbrenner mit einem großen Wärmeangebot für den Einsatz bei besonderen Flammrichtanwendungen. Ein Beispiel wird in Bild 12 gezeigt. Dieser Brenner hat einen Sauerstoffverbrauch von bis zu 10.000 Liter pro Stunde.

Bild 12: Gasemischender Brenner



Bei diesem Sonderbrenner werden Sauerstoff und Brenngas (Acetylen) in der Düse gemischt. Der Vorteil dabei besteht darin, dass das Volumen des Gasgemisches sehr klein ist. Dies verringert das Risiko einer Rück-

zündung oder eines Flammenrückschlages. Dieses ist wichtig bei allen Anwendungen, bei denen große Volumen von Gasen benötigt werden.

Die Wahl eines geeigneten Flammrichtbrenners wird im Wesentlichen durch die Werkstoffart und die Materialdicke bestimmt. Bei Blechdicken bis 3mm wird die Brennergröße wie zum Schweißen gewählt. Bei Blechstärken oberhalb 3mm kann an Hand einer kleinen Berechnung der geeignete Brenner bestimmt werden. Hierzu wird die Blechstärke „S“ mit dem Faktor 2,0 - 2,5 multipliziert. Der errechnete Wert gibt eine Aussage über die zu verwendende Brennergröße.

Beispiel

:

Materialdicke S = 10mm

Brennergröße = S x 2,5 = 10 x 2,5 = 25mm

Für diesen Anwendungsfall wäre eine Brennergröße für 20 - 30mm zu wählen.

Gase

Die zum Flammrichten benötigten Gase sind Sauerstoff und ein Brenngas. Um einen schnellen Wärmeübergang zu erreichen, wird ein Brenngas mit hoher Flammentemperatur und Flammenleistung benötigt. Die nachstehenden Diagramme zeigen, dass nur Acetylen das geeignete Brenngas zum Flammrichten sein kann.

Bild 13: Flammenintensität in der Primärflamme als Funktion des Mischungsverhältnisses für unterschiedliche Brenngase.

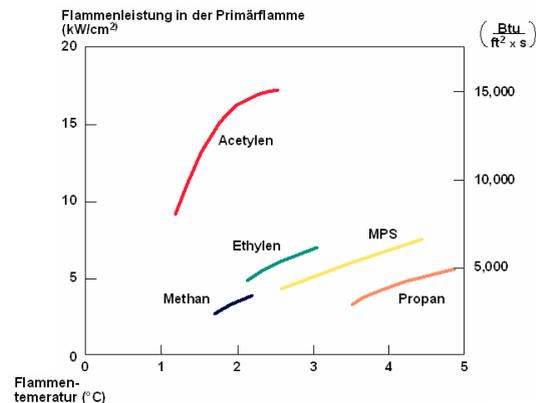
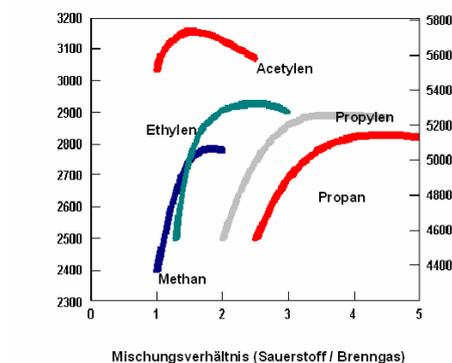


Bild 14: Flammentemperatur in der Primärflamme als Funktion des Mischungsverhältnisses für unterschiedliche Brenngase.



Flammentemperatur und Flammenintensität werden stark vom Mischungsverhältnis des Sauerstoffes zum Brenngas beeinflusst. Um eine optimale Flammentemperatur zu erhalten, muss der Flamme mehr Sauerstoff zugegeben werden als für eine neutrale Flammeneinstellung benötigt wird. Bei der Acetylen/Sauerstoff-Flamme erreicht man die höchste Flammentemperatur bei einem Mischungsverhältnis von 1 : 1,5.

Flammrichten von verschiedenen Werkstoffen

Die meisten metallischen Werkstoffe sind flammrichtgeeignet. Für unterschiedliche Werkstoffe werden unterschiedliche Vorgehensweisen benötigt. Dies ist begründet durch ihre unterschiedlichen Ausdehnungsfaktoren, andere Wärmeleitfähigkeiten und Oberflächenbeschaffenheiten, sowie die unterschiedlichen metallurgischen und mechanischen Güterwerte. Parameter, die zum Flammrichten betrachtet werden müssen, sind die Flammrichttemperatur des Bauteiles, die Art der Abkühlung, die Brennergröße sowie die geeignete Flammeneinstellung.

In der Tabelle 2 werden die Ausdehnungskoeffizienten sowie auch die Schrumpfmaßverhältnisse für die unterschiedlichen Werkstoffe aufgelistet. Die Größe der Schrumpfung und die damit zu erwartende Richtwirkung wird im Wesentlichen durch den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Werkstoffes bestimmt. Im Vergleich zu der Gruppe I ist die Wärmeausdehnung in der Gruppe II um ca. 50% größer und in Gruppe IV nahezu 200% größer. Das Schrumpfmaß wird für Baustahl und niedrig legierte Stähle mit I festgelegt. Bei Aluminium, das sich um das 2-fache ausdehnt, mit etwa 2 angegeben.

Tabelle 2:
Die Beziehung zwischen Ausdehnungskoeffizient und Richtwirkung

Gruppe	Werkstoff	Ausdehnungskoeffizient in mm/m °C	Schrumpfungs-faktor
I	unlegierte und niedriglegierte Stähle	0,011 ... 0,014	1,0
	Nickel	0,010 ... 0,014	ca. 1,0
	Titan	0,010	ca. 1,0
II	nichtrostende austenitische Stähle	0,016 ... 0,019	ca. 1,5
III	Kupfer und Kupferlegierungen	0,018 ... 0,019	ca. 1,8
IV	Aluminium und -legierungen	0,024 ... 0,027	ca. 2,0

In der nachstehenden Tabelle 3 werden die empfohlenen Flammrichttemperaturen dargestellt sowie die Temperaturen, bei denen die unterschiedlichen Werkstoffe ihre Festigkeit zu verlieren beginnen. Um beim Flammrichten einen guten Erfolg zu haben, muss der Werkstoff bis zu einer Temperatur erwärmt werden, wo er in den plastischen Zustand übergeht. Je höher die Temperatur ist, desto plastischer wird der Werkstoff und desto besser ist der Richteffekt. Die Erwärmung wird aber durch die metallurgischen Eigenschaften begrenzt, da ein Überhitzen des Werkstoffes zu einer Veränderung der werkstofflichen Eigenschaften führen könnte, womit der Werkstoff für eine weitere Verarbeitung nicht mehr geeignet wäre. Das heißt, die Temperatur darf unter keinen Umständen die Schmelztemperatur erreichen.

Tabelle 3:
Gegenüberstellung von Flammrichttemperaturen und Schmelzpunkten.

Werkstoff	Beginnender Festigkeitsabfall bei °C	Erweichungspunkt plastischer Zustand bei °C	empfohlene Flammrichttemperatur bei °C	Schmelzpunkt bei °C
Baustahl	400-500	=600	600-800	1536
Feinkombustähle	400-500	=600	600-700	1536
Titan	350	=550	500-600	1800
Kupfer und-legierungen	450	=600	600-800	1083
Aluminium und -legierungen	150-200	250-350	150-450	575-658

Un- und niedrig legierte Stähle

An normalem Baustahl wird schon seit Jahren erfolgreich gerichtet. Der erfahrene Flammrichter weiß genau, dass er den Stahl bis zu einer Dunkelrot-Färbung erwärmen kann, was einer Temperatur ca. 600 - 700°C entspricht. Es sollte nur Acetylen verwendet werden, da andere Brenngase zu viel Feuchtigkeit in der Flamme produzieren.

Dies ist besonders wichtig für Richtarbeiten an hochfesten Stählen, die empfindlich für den im Wasser enthaltenen Wasserstoff sind.

Erst in den letzten Jahren wurde eine Summe von Stählen mit einer hohen Streckgrenze von 355 bis zu 960 MPa/mm² entwickelt. Diese Stähle sind feinkörnig und thermomechanisch (TM) gewalzt und/oder abgeschreckt. Stähle mit einer Streckgrenze über 500 MPa werden als hochfeste Stähle bezeichnet. Sie finden eine immer größere Anwendung beim Bau von großen Konstruktionen wie im Kran-, Maschinen-, Brückenbau und ähnlichen Anwendungen. Da diese Stähle ihre hohe Festigkeit durch eine Wärmebehandlung erhalten haben, wird oft gedacht, dass diese Stähle empfindlicher auf Flammrichten reagieren als ein normaler Baustahl. Zahlreiche Untersuchungen bestätigen die Flammrichteignung dieser Stähle, wenn die Flammrichttemperatur unter 700°C liegt.

SEW 088 Ausgabe Oktober 1993 macht folgende Aussage:

Auswirkung des Flammrichtens auf die Werkstoffeigenschaften.

SEW 088

Bei Flammrichttemperaturen bis 700°C erfolgt noch keine Austenitisierung des Werkstoffes. Solange die Flammrichttemperatur 700°C nicht überschreitet, ist eine Beeinträchtigung der Werkstoffeigenschaften durch den Flammrichtvorgang nicht zu erwarten. Bei vergüteten Feinkornbaustählen gilt dies oberhalb der Anlasstemperatur nur bei kurzfristiger Erwärmung.

Austenitische Stähle

Moderne austenitische Stähle zeigen im Allgemeinen sehr gute Schweiß Eigenschaften. Das heißt, dass diese Werkstoffe natürlich auch flamm-richtgeeignet sind, selbst wenn es zu einer gewissen Oxydation an der Oberfläche kommen sollte. Es ist aber notwendig, den hier nachfolgend beschriebenen Arbeitsregeln zu folgen.

Das Risiko der Chromkarbidbildung und der interkristallinen Korrosion muß immer beachtet werden, wenn austenitische Stähle geschweißt oder gewärmt werden. Bei einer Erwärmung dieser Stähle auf einen Temperaturbereich von 500 bis 800°C kommt es zu einer Bildung von Chromkarbiden an ihren Korngrenzen. Die Folge ist eine Chromverarmung in diesem Bereich, so dass die interkristalline Korrosion entsteht.

Heutzutage ist dies ein geringeres Problem, da die meisten austenitischen Stähle einen Kohlenstoffgehalt unter 0,05 % haben. Es gibt auch austenitische Stähle mit einem höheren Kohlenstoffgehalt, diese sind aber durch Zugabe von Niob oder Titan stabilisiert worden. Das Diagramm zeigt die Zeit-Temperatur-Abhängigkeit für die interkristalline Korrosion. Je geringer der Kohlenstoffgehalt im Stahl ist, umso länger kann der Stahl gewärmt werden, bevor es zu einer Korngrenzenausscheidung kommt. Als Faustregel beim Flammrichten von austenitischen Stählen gilt: Das Anwärmen und Abkühlen sollte so schnell wie möglich erfolgen. Höhere C-Gehalte verkürzen die Erwärmungszeit.

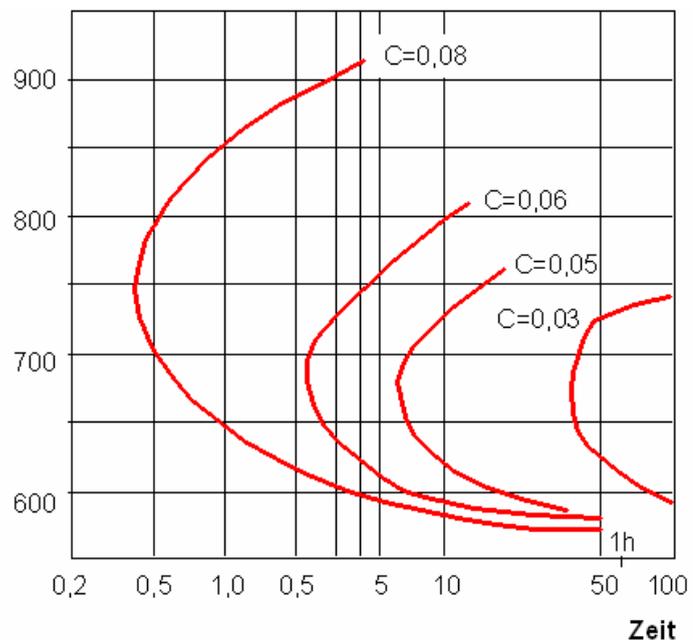


Bild 15. Das Zeit-Temperatur-Diagramm zeigt die Abhängigkeit der Erwärmungszeit auf den Kornzerfall bei unterschiedlichen Kohlenstoffgehalten

Regeln für das Flammrichten von CrNi - Stählen

- Reinigen der Oberfläche

Es sollten sich auf der Oberfläche keine Verunreinigungen oder Farbreste befinden, da diese in die Oberfläche eingebrannt werden könnten.

- Wärmeausdehnung behindern

Dies ist besonders wichtig beim Richten von austenitischen Stählen, da diese eine hohe Wärmeausdehnung besitzen und daher beim Anwärmen eine wesentlich größere Formänderung aufweisen.

- Kleinere Brenneinsatzgröße verwenden

Da austenitische Stähle eine geringe Wärmeleitfähigkeit haben, sollte ein Überhitzen der Richtstelle durch Verwendung eines kleineren Brenners vermieden werden.

- Neutrale oder gering sauerstoffüberschüssige Flamme einstellen

Eine Acetylen-überschüssige Flamme sollte zum Richten dieses Materials nie verwendet werden, da dies das Risiko einer Korngrenzenausscheidung und der interkristallinen Korrosion steigert.

— Schnelles Anwärmen

Durch langes Anwärmen kann es im Werkstoff zu einem Kornwachstum^{**} kommen. Anstatt einer großen Wärmefigur sollten lieber mehrere kleine eingebracht werden.

- Temperaturbereich einhalten

Gefügeveränderungen erfolgen in Zusammenarbeit von Haltezeit und Temperatur. Je niedriger die Maximaltemperatur ist, umso kürzer ist die Abkühlzeit und somit die Zeit, in der sich das Gefüge verändern kann. Die empfohlene Flammrichttemperatur liegt zwischen 650° - 800°C.

- Schnelles Abkühlen jeder Richtstelle

Auch bei intensiver Abkühlung besteht kein Risiko von Aufhärtungen des Werkstoffes. Zum schnellen Abkühlen kann Wasser verwendet werden. Wenn dies aus gewissen Gründen nicht möglich ist, kann eine beschleunigte Abkühlung auch mit Druckluft erfolgen. Beim Arbeiten mit einer Lochplatte kann der Abkühleffekt auch durch eine dicke Gegenhalterplatte erzielt werden.

- Entfernen der Zunderschicht und der Anlauffarben

Die Oberflächenqualität muss an der Richtstelle durch Beizen, Strahlen • mit Glasperlen oder Schleifen wieder hergestellt werden. Im Allgemeinen wird auch die Rückseite der Richtstelle gesäubert. Bei Nichtzugänglichkeit der Rückseite der zu richtenden Stelle empfiehlt sich das Formieren des Bauteiles.

- Nur Werkzeuge aus nichtrostendem Stahl mit verchromter Oberfläche oder austenitischem Material verwenden.

Aluminium und Aluminium- legierungen

Der Wärmeausdehnungskoeffizient ist bei Aluminiumwerkstoffen zweimal so groß wie bei Stahl. Daher ist an diesem Werkstoff der Verzug besonders groß. Bei Aluminium und einigen weichen Aluminiumlegierungen kann dieser durch Strecken der Schweißnaht oder durch Pressen behoben werden.

- Günstige Eigenschaften des Aluminiums zum Flammrichten sind:

- größere Richtwirkung im Vergleich zu Stahl
- geringe Empfindlichkeit der Oberfläche gegenüber der Flamme
- Eignung zur schnellen Abkühlung

- Folgende Eigenschaften erschweren das Flammrichten:
- Aluminium zeigt keine Glühfarben, was ein Erkennen der Arbeitstemperatur erschwert.
- Der Bereich zwischen Flammrichttemperatur und Schmelzpunkt ist sehr eng.
- Eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit macht den Gebrauch von größeren Brenneinsätzen erforderlich.

Regeln für das Flammrichten von Aluminium

- Oberflächen säubern

- Wärmeausdehnung behindern

Aluminium hat einen doppelt so hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten wie normaler Baustahl.

— Größeren Brenneinsatz verwenden

Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit wird der Gebrauch eines größeren Brenneinsatzes notwendig.

Im Allgemeinen wird ab 3 mm Blechdicke ein um eine Nummer größerer Brenneinsatz verwendet als bei unlegiertem Stahl üblich ist.

- Flammeneinstellung dem Werkstück anpassen

Normalerweise ist eine neutrale Flammeneinstellung üblich. Zum Richten dünner Bleche (1,5 mm) wird eine Flamme mit einem Acetylenüberschuss verwendet. Bei größeren Blechstärken ist eine neutrale Flammeneinstellung notwendig.

- Schnelles Anwärmen auf die richtige Temperatur

Bei Aluminium Werkstoffen erfolgt ohne Hilfsmittel keine Aussage zu der Flammrichttemperatur. Da keine Farbänderung an der Oberfläche auftritt, kann es zu einem schnellen Anschmelzen der Oberfläche kommen. Hilfsmittel zum Erkennen der Temperatur im Arbeitsbereich sind: Holzkeil, Thermostift und Wärmestaster, aber auch Lötflussmittel mit einer bestimmten Wirktemperatur.

- Einhalten der richtigen Temperatur

Die Flammrichttemperatur ist abhängig von der Art der Aluminiumlegierung. Der Temperaturbereich liegt zwischen 150°-450°C.

Kupfer und Kupferlegierungen

Bauteile und Konstruktionen aus Kupfer oder Kupferlegierungen können flammgerichtet werden. Die wichtigste Eigenschaft von Kupfer ist das große Wärmeleitvermögen, das sechsmal höher ist als bei Stahl. Damit beim Flammrichten möglichst wenig Wärme in das umgebende Material wandert, muss mit großen Anwärmeinsätzen gewärmt werden. Die Wärmeausdehnung ist im Vergleich zu Stahl wesentlich größer. Dies erfordert eine sorgfältige Behinderung der Richtstelle.

Der Temperaturbereich für das Flammrichten von Kupfer liegt bei 600° - 800°C. Die Einstellung der Brennerflamme ist neutral, kein Sauerstoffüberschuss. Die Richtstelle wird nach dem Anwärmen mit Wasser gekühlt. Die Oxydschicht ist gegebenenfalls zu entfernen

Grundlagen des Flammrichtens

Linde Gas

Linde

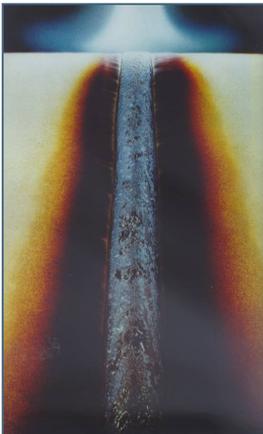
Frank Steller
Hamburg, 25. Februar 2007

Auswirkung des Schweißens auf den CrNi - Stahl

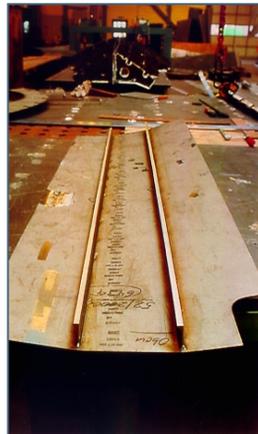
Linde Gas

Linde

Oberfläche



Verzug



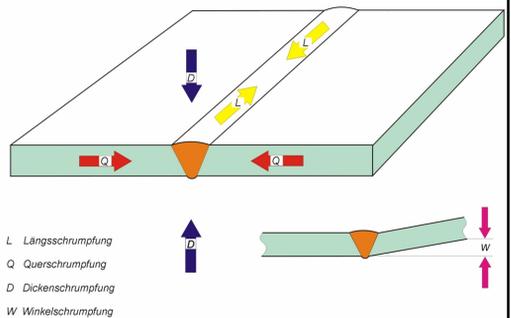
Eigenschaft	Allgemeiner Baustahl	Chrom-Nickel-Stahl	Aluminium
Farbe	„schwarz“	„weiß“	„weiß“
Wärmeleitung	100 %	50 %	500 %
Wärmedehnung	100 %	150 %	200 %
magnetisierbar	ja	nein	nein
härtbar	ja	nein	ja/nein
brennschneidbar	ja	nein	nein
korrosionsbeständig	nein	ja	ja

Arten der Schrumpfungen

Mit dem Flammrichten können auftretende Schweißspannungen schnell und werkstoffschonend beseitigt werden.

Auf die Nahtachse bezogen unterscheidet man:

- Querschrumpfungen
- Winkelschrumpfungen
- Längsschrumpfungen



Wirken Querspannungen und Längsspannungen gleichzeitig auf das Werkstück ein, entsteht ein zweiachsiger Spannungszustand.

Flammrichten - Grundlehrgang

Linde Gas

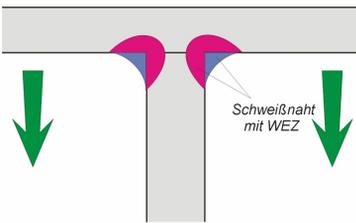
Linde

Frank Steller
Hamburg, 10. Mai 2006

Wirkung der Wärme im Bauteil

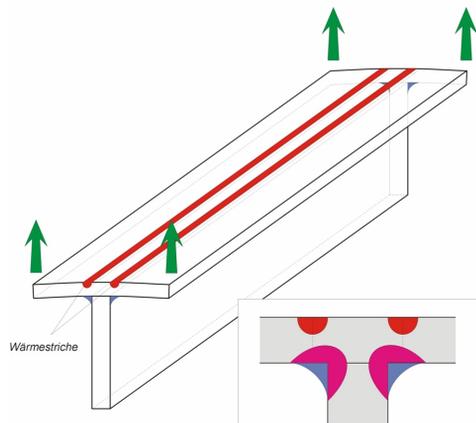
Linde Gas

Linde

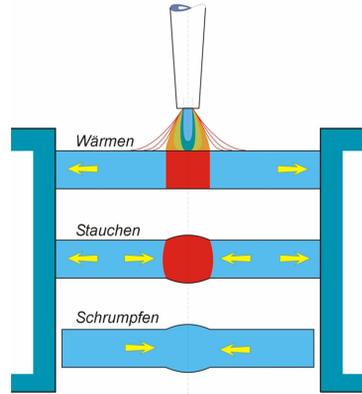


Flammgerichteter T - Stoss

Geschweißter T - Stoss



Das Prinzip des Flammrichtens beruht auf einer schnellen örtlich begrenzten Wärmeeinbringung, wobei die Ausdehnung des Werkstückes behindert werden muss.



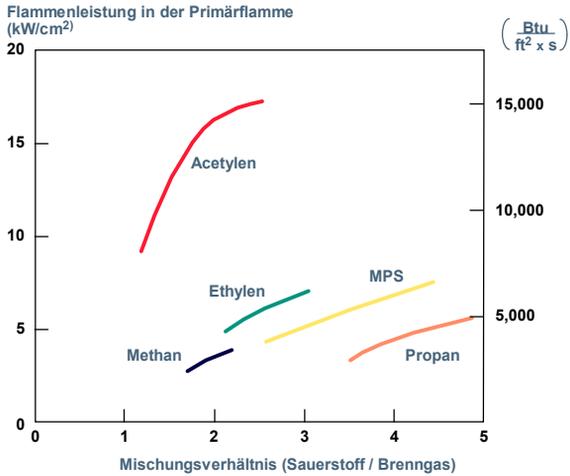
Werkstoffe	neu	[alt]	Flammrichttemperatur °C
Baustahl		S 235 J S 355 J0 St 37 St 52	600 ... 800
Kesselstahl		P265 GH 15 CrMo 4-5	
Feinkornbaustahl		S 355 N S 890 Q1	550 ... 700
TM - Stahl		S 555 M S 460 M	
Nickelwerkstoff		NiCu30Fe NiMo30 NiMo16Cr	650 ... 800
Austenitischer CrNi - Stahl		X2CrNi18-9 X10CrNiTi18-9 X10CrNiMoNb18-10	650 ... 800
Aluminium	Rein Aluminium		150 .. 450
	Nichtaushärtbare schweißgeeignete Knetlegierungen	AlMn AlMg3 AlMg4.5Mn	Welch (w) Hart (h)
		AlMgSi0.8F20 AlMgSi1F32	
	Aushärtbare schweißgeeignete Knetlegierungen	AlZnMg1 AlZn4.5Mg	150 ... 200 150 .. 350
Kupfer			600 ... 800

Flammenleistung

für unterschiedliche Brenngase in Abhängigkeit zum Mischungsverhältnis

Linde Gas

Linde



25.02.2007

9

Brenner zum Flammrichten

Linde Gas

Linde

Die Wahl des geeigneten Flammrichtbrenners ist abhängig von:

- Anwendungsfall
- Materialdicke
- Werkstoff

Verwendet werden schwerpunktmäßig:

- Einflammenbrenner einer normalen Schweißausrüstung
- Mehrflammen-Wärmeeinsatz für Materialdicken über 20 mm
- Sonderbrenner
- Umschaltbare Drei- und Fünf-Flammenbrenner
- Großleistungsbrenner mit Brausekopfeinsatz

25.02.2007

10

Brenner zum Flammrichten

Einflammenbrenner

Sie sind die gebräuchlichen Brenner zum Richten mit Wärmepunkten, -strichen, -keilen oder ovalen.

Mehrflammenbrenner

Sie werden zum Richten mit Wärmestrichen, -keilen und -ovalen an Werkstücken ab etwa 20 mm Wanddicke eingesetzt.

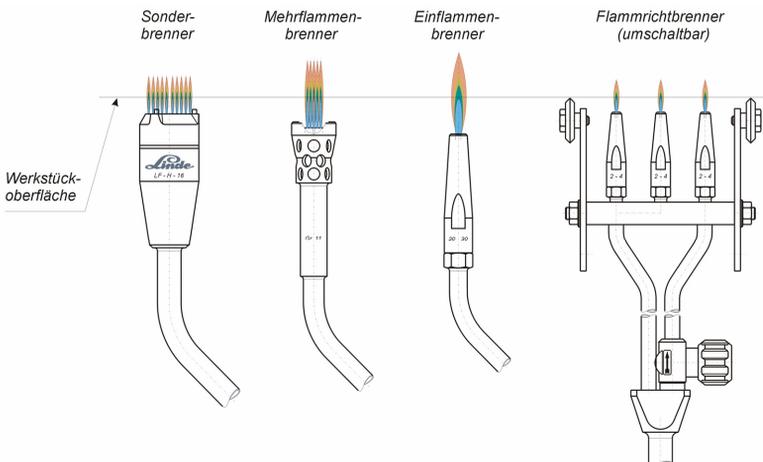
Umschaltbare Flammrichtbrenner (Flammrichtharke)

Sie werden zum Beseitigen von Winkelverzug, zum Richten von Beplankungen im Schiffbau und von Blechkonstruktionen eingesetzt.

Sonderbrenner

Sie werden in Form und Leistung für die jeweilige Flammrichtaufgabe ausgelegt und kommen zum Beispiel beim Richten von Großrohren oder dickwandigen Werkstücken zum Einsatz.

Brenner zum Flammrichten



Flammeneinstellung beim Flammrichten



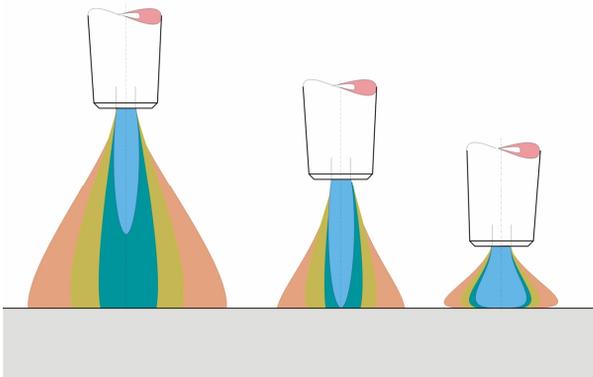
sauerstoffüberschüssig

neutral

acetylenüberschüssig

Hinweis: Prinzipiell wird eine hart brennende Acetylen – Sauerstoffflamme verwendet.

Flammenführung beim Flammrichten



Flammkegel
abstehend

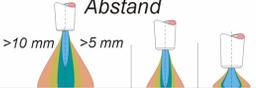
**! Tiefer liegende
Werkstoffbereiche**

Flammkegel
aufgesetzt

**! z.B. CrNi – keine
Aufkohlung**

Flammkegel
eingetaucht

! Anschmelzungen

Werkstoff	Flammeneinstellung				Flammenführung			
	C_2H_2 < 1%	neutral	O_2 30%	O_2 50%	Flammenkegel-Werkstück-Abstand			
- Baustahl - Feinkornbaustahl - TM - Stahl - Kesselblech	-	0	+	++				
					Erwärmung der Randzone -- - + ++			
- Cr-Ni - Stahl - Duplex - Stahl	--	-	0	++	+	++	-	--
					Erwärmung tiefer liegender Bereiche ++ - --			
- Aluminium - Aluminium-legierungen	++	-	--	--	++	+	-	--

- unzulässig
- ungeeignet
- 0 möglich
- + akzeptabel
- ++ sachgerecht

Es gilt immer:

Die Werkstückdicke ist das Kriterium für die Wahl des Brenners, ihr wird die entsprechende Brennergröße zugeordnet.

Bau-, Feinkornbau- und TM – Stähle

Es wird ein Schweißensatz gewählt, der ein bis zwei Brennergrößen größer ist als der Brenneinsatz, der zum Gasschmelzschweißen der flammzurichtenden Werkstoffe einzusetzen wäre.

Beispiel: Blechdicke 12 mm
Brennergröße 14 – 20 oder 20 – 30

Chrom – Nickel – Stähle (geringe Wärmeleitung)

Es wird ein Schweißensatz gewählt, der die gleiche oder eine Brennergrößen kleiner ist als der Brenneinsatz, der zum Gasschmelzschweißen der flammzurichtenden Werkstoffe einzusetzen wäre.

Beispiel: Blechdicke 12 mm
Brennergröße 6 – 9 oder 9 – 14

Aluminium und Aluminiumlegierungen

Es wird ein Schweißensatz gewählt, der mindestens zwei Brennergrößen größer ist als der Brenneinsatz, der zum Gasschmelzschweißen der flammzurichtenden Werkstoffe einzusetzen wäre.

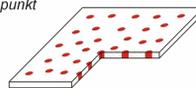
Beispiel: Blechdicke 15 mm
Brennergröße 20 – 30 oder 30 – 50

Wärmefiguren beim Flammrichten

- Wärmepunkte
- Wärmeovale
- Wärmestriche/ Wärmeringe
- Wärmekeile

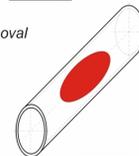
Je nach Verformung und Bauteilform ist eine Kombination der Erwärmungsarten sinnvoll.

Wärmepunkt



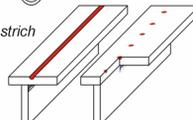
z.B.:
Bleche und Verbeulungen
richten

Wärmeoval



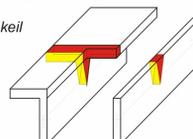
z.B.:
Rohre richten

Wärmestrich



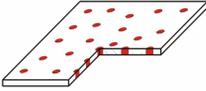
z.B.:
Verbiegungen und ein-
seitige Aufschweißungen
richten

Wärmekeil

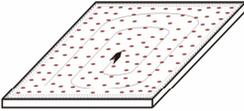


z.B.:
Profile und Lamellen
richten

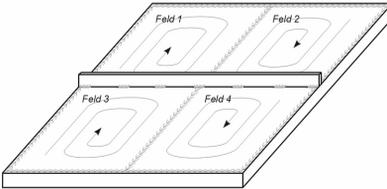
Durchwärmung



Einspannung



Feldbegrenzung

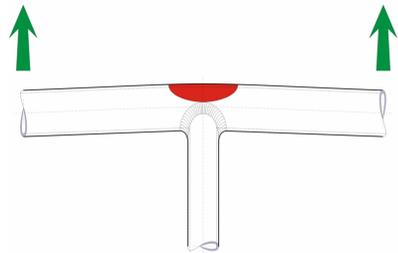
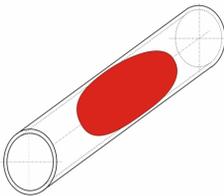


Ausführung

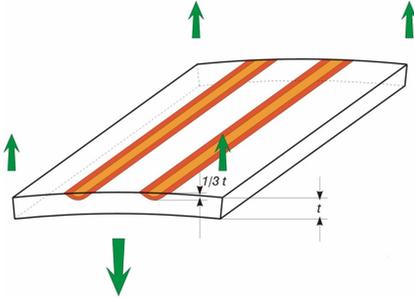
Kleine Punkte durchgewärmt, wenn möglich mit Gegenhalten und Einstäuchen

*Ausdehnungsbehinderung durch geschlossene Einspannung
Durchpunkten von der Einspannung kreisförmig zum Zentrum*

*Aufteilen zu großer Felder in mehrere kleinere Felder
Jede Schweiß- oder Heftnaht zählt als Feldbegrenzung
Evtl. zusätzliche Steifen aufbringen
Felder werden einzeln bearbeitet*



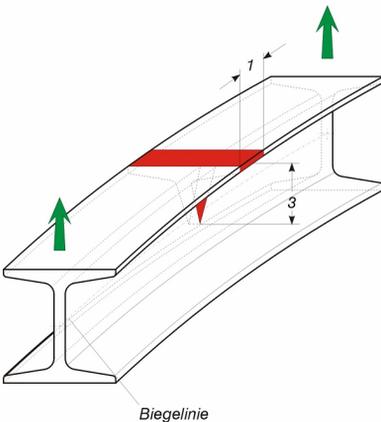
Die lange Seite des Wärmeovals wird auf der gegenüberliegenden Seite in Längsrichtung zur Rohrachse eingebracht und durchgewärmt.



Wärmestrich zur Beseitigung des Winkelverzuges



Ein Wärmestrich ist dann besonders wirkungsvoll, wenn nur $\frac{1}{3}$ der Werkstückdicke auf Flammrichttemperatur erwärmt wird.



Wärmekeil

Der Wärmekeil wird vorwiegend an Profilen und hochkantstehenden Lamellen eingesetzt.

Immer von der Keilspitze ausgehend bis zur Grundlinie gleichmäßig durchwärmen.

Wärmekeil muss scharf begrenzt, spitz und lang sein.

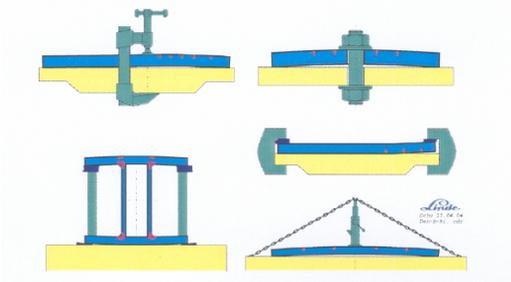
Das Längenverhältnis Grundlinie zur Höhe des Keils sollte 1 : 3 nicht übersteigen

TIP: Form des Wärmekeils beidseitig am Bauteil anzeichnen, um symmetrisch zu wärmen.

Spannwerkzeuge zur Ausdehnungsbehinderung bei Blechen, Rohren und Profilen

Linde Gas

Linde



- Geeignete Hilfsmittel sind: Schlosserschraubzwingen
Keile (Stahl) und Knacken
Ketten
Hubzüge und Stockwinden
- Ungeeignete Hilfsmittel sind: normale Schraubzwingen
hydraulische Hubwerkzeuge
Seile
Gewichte
alles was nachgeben kann

25.02.2007

23

Abkühlen nach dem Richten

Linde Gas

Linde

1. Ob und welchem Medium gekühlt wird ist werkstoffabhängig
2. Kühlmedien können sein: - Wasser - Druckluft -
3. Keine Steigerung des Richtefolges, aber schnellere Arbeitsweise möglich
4. Kühlen der Randzonen verstärkt den Richteffekt (Aufstauchen)



25.02.2007

24

1. Oberfläche der Richtstelle säubern
2. Wärmeausdehnung behindern
3. Kleinere Brennergröße verwenden
4. Sauerstoffüberschüssige Flamme einstellen.
5. Schnelles Anwärmen
6. Temperaturbereich einhalten
7. Richtstelle möglichst schnell mit Wasser abkühlen
8. Anlauffarben, Oxidhäute und Zunder vollständig entfernen
9. Schlag- und Versatzwerkzeuge mit nicht rostender Oberfläche verwenden.
10. Flammrichtarbeiten von ausgebildeten Personen ausführen lassen

Arbeitsregeln für das Flammrichten feuerverzinkter Konstruktionen

- Feuerverzinkte Bauteile lassen sich ohne Beeinträchtigung des Korrosionsschutzes Flammrichten durch die Zinkschicht hindurch flammrichten
- Die günstigste Flammrichttemperatur liegt bei „Dunkelrot“.
- Diese ist bei feuerverzinkten Bauteilen nicht zu erkennen. Arbeitserleichterung bringt die Verwendung eines Hartlotflussmittels, Typ F – SH 1.
- Es ist wegen seiner Wirktemperatur ein sehr guter Indikator für das Erreichen der Flammrichttemperatur und schützt gleichzeitig die Oberfläche vor Oxidation.



Flussmittel für Hartlot, Typ F
– SH 1

Hinweis: - nur geringe Ausströmgeschwindigkeit der Acetylen/ Sauerstoffflamme einstellen

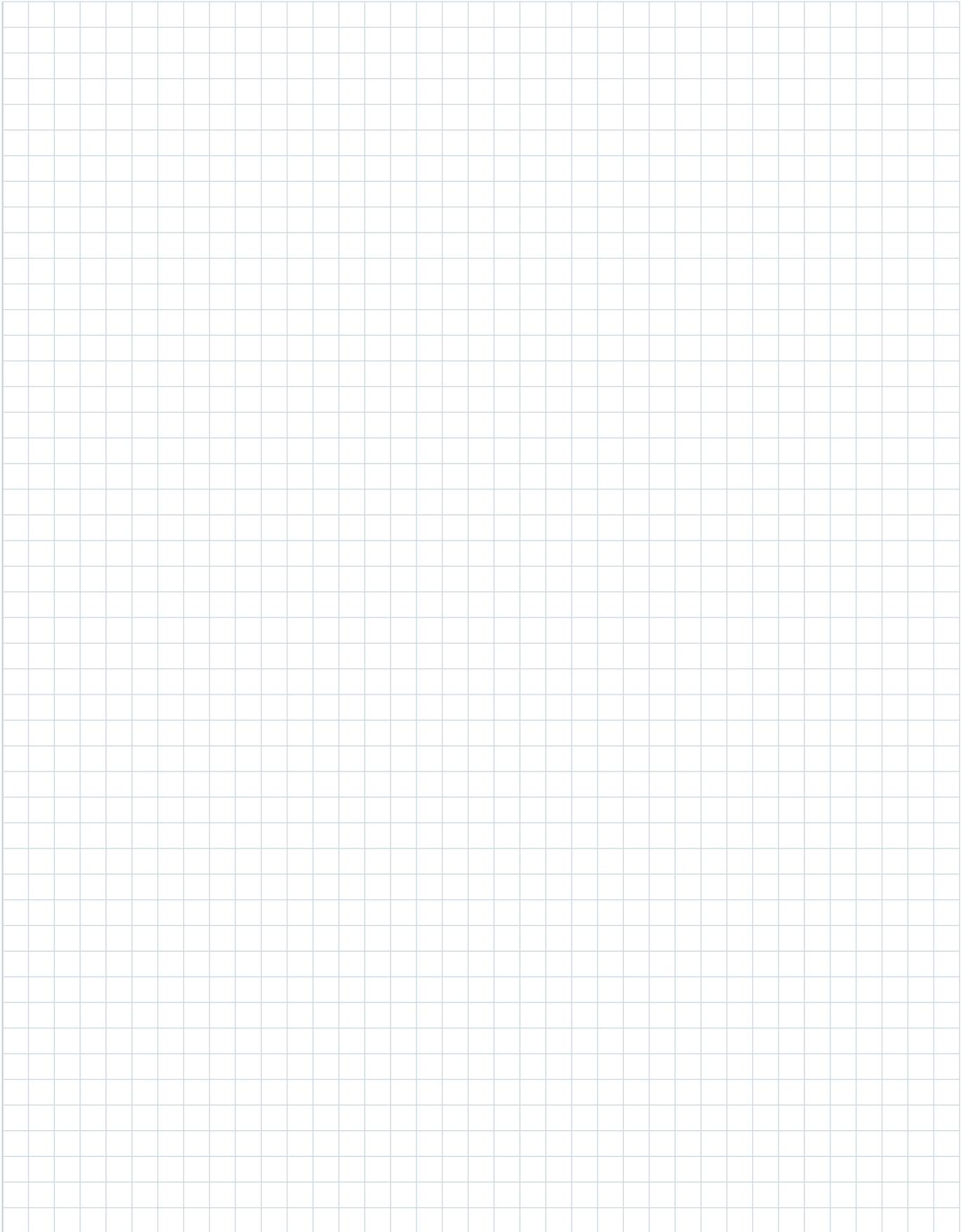
- Es wird mit neutraler oder bei dünnen Materialstärken ($t < 3 \text{ mm}$) mit leicht acetylenüberschüssiger Flamme gearbeitet.
- Wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit wird mit größeren Brenneinsätzen als beim Flammrichten von unlegierten Stählen gearbeitet.
- Die Wärmeausdehnung ist doppelt so groß wie bei Stahl. Aus diesem Grund ist die Wahl der richtigen Dehnungsbehinderung von besonderer Bedeutung.
- In vielen Fällen wird daher die Ausdehnung während des Wärmens mit mechanischen Mitteln behindert.
- Die Richttemperatur liegt je nach Legierungstyp – und art zwischen $350 \text{ }^\circ\text{C}$ und $400 \text{ }^\circ\text{C}$. Diese kann schnell und einfach mit einem Fichtenholzspan auf der Oberfläche bzw. einem entsprechend der Temperatur ausgewählten Thermocolorstift kontrolliert werden.

Herzlichen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

Linde Gas



Frank Steller
Hamburg, 10.05.2005





Schweißtechnische Lehranstalt Magdeburg
Gemeinnützige GmbH

Anerkannt als Ausbildungsstätte und Prüfstelle für
Schweißtechnik und Herstellerqualifikationen
zertifiziert nach DIN EN ISO 9001 : 2000
akkreditiert nach DIN EN ISO 17025

Schweißen will gelernt sein!

Sichern Sie sich Ihren Wettbewerbsvorteil durch schweißtechnisches Know how



Wir sind Ihr kompetenter Partner

- für** Schweißerausbildung im MAG-Schweißen, E-Schweißen,
- WIG-Schweißen, Gas-Schweißen und UP-Schweißen
- für** Fortbildungs- und Umschulungsmaßnahmen, die mit
- Prüfungen nach DIN EN 287, Druckgeräterichtlinie EG
- 97/23 und anderen geltenden Vorschriften abschließen
- für** Qualifikationen zum Schweißfachmann und zum Schweiß-
- güteprüfer mit international anerkanntem Abschluss
- für** Erteilung von Herstellerqualifikationen



Wir sind Ihr autorisierter Dienstleister

- für** Werkstoff- und Schweißnahtprüfung mit den Prüfdienst-
- leistungen: Durchstrahlungsprüfungen, Ultraschallprüf-
- ungen, Oberflächenrissprüfungen, metallografische
- Untersuchungen und mobilen Spektralanalysen
- für** Verfahrensprüfungen nach EN 288-3 und -4
- für** Aufschweißbiegeversuche
- für** Zugversuche in Dickenrichtung (Z-Güten)
- für** Nachtestierungen 3.1C sowie 3.1A für alle Abnahme-
- organisationen



Wir sind für Sie da und beraten Sie gern!

Schweißtechnische Lehranstalt Magdeburg

An der Sülze 7, 39179 Barleben

Telefon: 03 92 03 / 7 61- 0

Telefax: 03 92 03 / 7 61- 55

E-Mail: info@sl-magdeburg.de

Internet: www.sl-magdeburg.de

Geschäftsbereich Dardesheim

Kleiner Knick 311 B, 38836 Dardesheim

Telefon: 03 94 22 / 9 56 9- 0

Telefax: 03 94 22 / 9 56 9- 25