

BEHANDLUNG VON WERKZEUGSTÄHLEN



# SCHWEIßEN VON WERKZEUGSTAHL



 **UDDEHOLM**

Überall, wo Werkzeuge hergestellt  
und verwendet werden

---

# Inhalt

Einleitung .....	3
Allgemeine Informationen über das Schweißen von Werkzeugstählen .....	3
Schweißverfahren für Werkzeugstähle .....	4
Die Schweißwerkstatt .....	5
Eigenschaften der Schweißzusatzwerkstoffe .....	6
Achtung vor Wasserstoffaufnahme! .....	9
Vorwärmen .....	10
Schweißvorgang .....	11
Schweißempfehlungen für Uddeholm Werkzeugstähle:	
Reparaturschweißungen an	
– Warmarbeitsstählen .....	14
– Kunststoffformenstählen .....	15
– Kaltarbeitsstählen .....	16

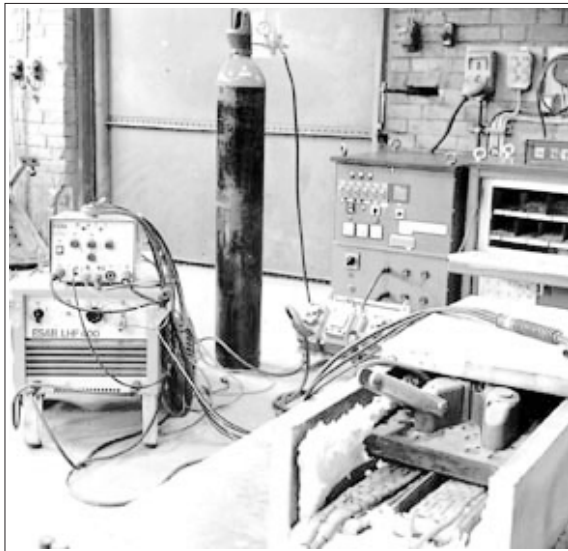
---

Die Angaben in dieser Broschüre basieren auf unserem gegenwärtigen Wissenstand und vermitteln nur allgemeine Informationen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten. Sie können nicht als Garantie ausgelegt werden weder für die spezifischen Eigenschaften der beschriebenen Produkte noch für die Eignung für die als Beispiel genannten Anwendungsmöglichkeiten.

## Einleitung

Bei Stählen mit mehr als 0,2% Kohlenstoff spricht man normalerweise von einer schlechten Schweißbarkeit. Werkzeugstähle mit 0,3–2,5% Kohlenstoff gehören zu den nur schwer schweißbaren Stählen. Daher raten viele Werkzeugstahllieferanten vom Schweißen ab. Qualitätsverbesserungen der Schweißzusatzwerkstoffe, verbesserte Schweißanlagen, Entwicklungen in der Schweißtechnik und nicht zuletzt Verbesserungen der Werkzeugstahlqualitäten haben jedoch dazu geführt, daß das Schweißen von Werkzeugstahl durchaus im Rahmen des Möglichen liegt. Und das kann beachtliche wirtschaftliche Folgen haben.

Uddeholm hat erkannt, daß Werkzeugstähle oft geschweißt werden müssen. Dies trifft besonders bei teuren Werkzeugen zu wie z.B. Druckgußformen, großen Schmiedegesenken, Kunststoffformen, Karosseriewerkzeugen und Schneid- und Umformwerkzeugen. Gerade hier sind Reparaturen und Korrekturarbeiten mittels Schweißens eine sehr attraktive, wirtschaftliche Alternative, verglichen mit den Kosten für die Herstellung eines neuen Werkzeuges.



*Die Schweißwerkstatt.*

## Allgemeine Informationen über das Schweißen von Werkzeugstahl

Werkzeugstähle enthalten sowohl 0,3–2,5% Kohlenstoff als auch Legierungszusätze wie Mangan, Chrom, Molybdän, Wolfram, Vanadium und Nickel. Das Hauptproblem beim Schweißen von Werkzeugstählen liegt in deren hoher Härbarkeit. Die geschweißte Stelle kühlt schnell ab, sobald die Energiequelle einmal entfernt wird, und die Schweißnaht und ein Teil der wärmebeeinflussten Zone werden gehärtet. Diese Umwandlung führt zu Spannungen, da die geschweißte Zone durch das umliegende kalte Gefüge eingezwängt ist. Daher können Risse entstehen, und große Vorsicht ist geboten, um diese zu vermeiden.

Auf den folgenden Seiten befinden sich Hinweise auf Schweißanlagen, Schweißvorgänge und Schweißzusatzwerkstoffe, die für das erfolgreiche Schweißen von Werkzeugstählen beachtet werden sollen. Selbstverständlich hängt ein zufriedenstellendes Ergebnis auch sehr von der Geschicklichkeit und Erfahrung des Schweißers ab. Bei ausreichender Sorgfalt ist es durchaus möglich, Reparatur- und Korrekturschweißungen so gut durchzuführen, daß die geschweißten Werkzeuge fast die gleiche Leistung erbringen wie die ungeschweißten.

Das Schweißen von Werkzeugen kann für folgendes notwendig sein:

- Ausbessern und Reparatur von gerissenen bzw. verschlissenen Werkzeugen
- Aufarbeiten von verschlissenen bzw. ausgebrochenen Schnittkanten, z.B. bei Schneidwerkzeugen
- Korrekturarbeiten nach Herstellungsfehlern
- Designänderungen.

# Schweißverfahren für Werkzeugstähle

## LICHTBOGENHANDSCHWEIßEN

### Prinzip

Ein elektrischer Lichtbogen wird zwischen einer umhüllten, stabähnlichen Elektrode und dem Werkstück gezündet (Abb. 1). Für die Herstellung des Lichtbogens wird ein Gleichstrom- bzw. Wechselstromgenerator eingesetzt.

Die Elektroden bestehen normalerweise aus einem kohlenstoffarmen Stahldraht, umhüllt mit einem Mantel aus gepreßtem Pulver. Die Zusammensetzung dieses Mantels ist komplex und enthält Eisenpulver, pulverisierte Ferrolegierungen, Schlackenbildner und ein geeignetes Bindemittel. Die Elektrodenspitze wird durch die Einwirkung des Lichtbogens während des Schweißens geschmolzen und tropfenförmig auf das Werkstück übertragen. Der in die Schweißnaht übergehende flüssige Werkstoff und das Schweißbad selbst müssen vor dem schädlichen Einfluß der Luft geschützt werden. Die Elektrodenumhüllung bildet eine Schlackendecke und einen Gasstrom. Auf diese Weise werden das Schweißbad und die erstarrte Schweißnaht und die von der Elektrode zum Werkstück übergehenden Tropfen vor der Luft geschützt.

Die Zusammensetzung des Schweißgutes wird durch die Zusatzstoffe in der Elektrodenumhüllung bestimmt.

### Schweißgenerator

Beim Lichtbogenhandschweißen können sowohl Wechselstrom- als auch Gleichstromgeneratoren eingesetzt werden. Unabhängig davon müssen aber auf jeden Fall für die ausgewählte Elektrode

kompatible Spannungs-/Stromverhältnisse eingestellt werden. Normale Schweißspannungen sind:

- für Normalleistungselektroden: 20–20 V
- für Hochleistungselektroden: 30–50 V

Uddeholm-Elektroden sind Normalleistungselektroden. Ein geeigneter Generator für diese Elektroden ist ein Gleichstromgenerator mit einer Leerlaufspannung von 70 V, der gleichzeitig 250 A/30 V liefern kann mit einer Einschaltdauer von 35%.

## WOLFRAM – INERTGAS- (WIG-) SCHWEIßEN

### Prinzip

Beim Lichtbogenhandschweißen wird die Elektrode während des Schweißvorganges verbraucht.

Beim WIG-Schweißen werden die Elektroden aus Wolfram oder einer Wolframlegierung hergestellt. Diese haben einen sehr hohen Schmelzpunkt (ca. 3 300°C) und werden daher während des Schweißvorganges nicht verbraucht (Abb. 2).

Der Lichtbogen wird durch das Anlegen einer Hochfrequenzspannung zwischen der Elektrode und dem Werkstück gezündet. Diese Spannung ionisiert das Gas zwischen Elektrode und Werkstück und macht den Kontakt zwischen Elektrode und Werkstück überflüssig. Die Wolframelektrode wird immer an den negativen Pol eines Gleichstromgenerators angeschlossen, um die Wärmeentwicklung zu minimieren und dadurch ein mögliches Schmelzen der Elektrode zu vermeiden. Der Strom wird der Elektrode durch einen Kontakt im Schweißbrenner zugeführt. Notwendige Schweißzusatzwerkstoffe werden als Stab bzw. Draht schräg in den Lichtbogen geführt. Eine Oxydation des Schweißgutes wird durch eine Inertgashülle, die aus dem Schweißbrenner ausströmt, verhindert.

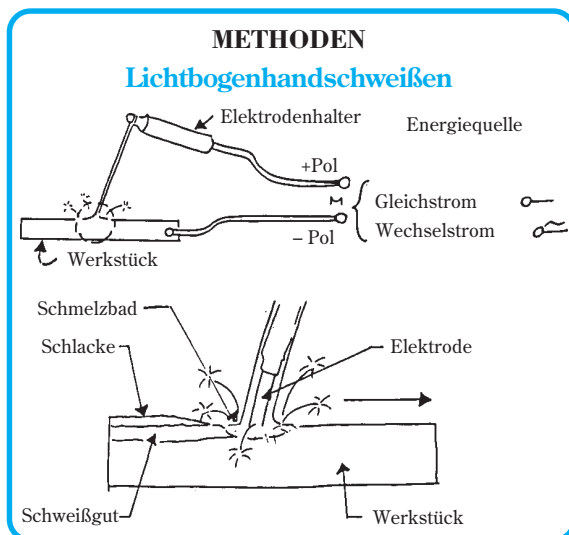


Abb. 1

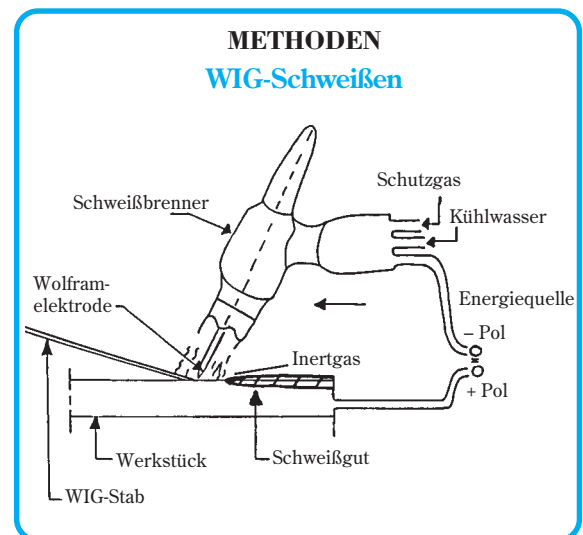


Abb. 2

### Schweißgenerator

Das WIG-Schweißen kann mit einem normalen Generator für das Lichtbogenhandschweißen ausgeführt werden, wenn dieser mit einem Zusatzregler für das WIG-Schweißen ausgestattet ist. Der Schweißbrenner muß wassergekühlt sein und für eine max. Stromstärke von 250 A bei 100% Einschaltdauer ausgelegt sein. Wünschenswert ist auch eine Gaslinse für eine optimale Schutzwirkung des Inertgases. Das Schweißen wird erleichtert durch die Möglichkeit einer von Null bis zum maximalen Wert stufenlosen Stromregulierung.

## Die Schweißwerkstatt

Für ein erfolgreiches Schweißen von Werkzeugstahl gehört neben den eigentlichen Schweißanlagen folgendes zur Minimalausrüstung:

### TROCKENSCHRANK

Die Mantelelektroden für das Lichtbogenhandschweißen sind stark hygroskopisch und dürfen daher nur mit trockener Luft in Berührung kommen. Andernfalls besteht die Gefahr einer Wasseraufnahme während des Schweißens (siehe S. 9). Daher ist es unerlässlich, daß die Schweißwerkstatt mit einem Trockenschrank für die Aufbewahrung der Elektroden ausgerüstet ist. Der Schrank soll über eine thermostatische Regelung im Bereich 50–150°C verfügen. Die Schweißelektroden sollten unverpackt im Trockenschrank aufbewahrt werden.



Trockenschrank zur Aufbewahrung der Schweißelektroden.

Für Schweißarbeiten außerhalb der Schweißwerkstatt ist ein tragbarer, beheizbarer Behälter für die Aufbewahrung der Elektroden von Nutzen.

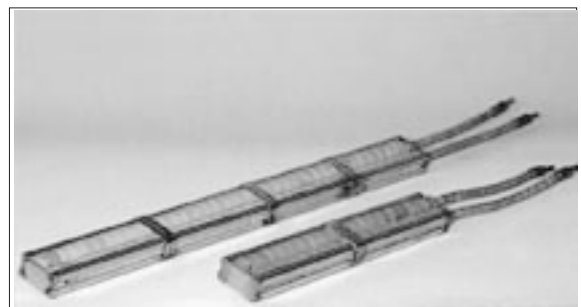
### WERKBANK

Gerade bei schwierigen Schweißarbeiten, wie beispielsweise beim Werkzeugstahl, ist es sehr wichtig, daß der Schweißer möglichst bequeme Arbeitsbedingungen hat. Daher benötigt er eine stabile Werkbank in der richtigen Höhe mit einer möglichst waagerechten Arbeitsfläche, damit das zu schweißende Werkzeug sicher und genau gelagert werden kann. Weiterhin ist es von Vorteil, daß die Werkbank dreh- und höhenverstellbar ist.

### VORWÄRMVORRICHTUNG

Werkzeugstähle können nicht bei Raumtemperatur geschweißt werden, da dann das Risiko einer Rißbildung besonders hoch ist. Im allgemeinen ist es notwendig, daß das Werkstück vorgewärmt werden muß, bevor mit dem Schweißen begonnen werden kann (siehe S. 10). Obwohl es sicherlich möglich ist, Werkzeuge nach einem vorherigen Vorwärmen in einem Ofen erfolgreich zu schweißen, ist es leider sehr wahrscheinlich, daß die Temperatur des Werkzeuges vor der Beendigung des Schweißvorganges viel zu stark abfällt. Es wird jedoch unbedingt empfohlen, das zu schweißende Werkzeug während des gesamten Schweißvorganges konstant auf der notwendigen Temperatur zu halten. Dazu eignet sich ein gleichstromregulierter Heizkasten. Solch ein Heizkasten bietet außerdem den Vorteil des gleichmäßigen, kontrollierten Aufwärmens.

Für kleinere Reparaturen bzw. Korrekturen kann das Vorwärmen mit einem Propangasbrenner erfolgen. Aus diesem Grunde sollte ein gewisser Vorrat an Propangasflaschen in der Schweißwerkstatt vorhanden sein.



Elektrische Heizelemente für einen Heizkasten.

### SCHLEIFMASCHINEN

Folgende Möglichkeiten sollten zur Verfügung stehen:

- Scheibenschleifmaschinen mit einer Scheibe ab 180 Ø x 6 mm für die Vorbereitung der Schleifstelle und das Ausschleifen von Defekten, die während des Schweißvorganges auftauchen können.
- Flachsleifmaschine mit mindestens 25 000 U/Min. für das Abschleifen von kleineren Defekten und der fertigen Schweißnaht.
- Wenn eine geschweißte Form anschließend poliert oder fotogeätzt werden muß, benötigt man normalerweise ein Schleifgerät, das eine ausreichend fein geschliffene Oberfläche erzielt.

## Eigenschaften des Schweißzusatz- werkstoffs

Die chemische Zusammensetzung des Schweißguts wird durch die Zusammensetzung des Schweißzusatzwerkstoffs, des Grundwerkstoffs und die Menge des während des Schweißvorgangs geschmolzenen Grundwerkstoffs bestimmt. Die Schweißelektrode bzw. der Schweißdraht sollten sich leicht mit dem geschmolzenen Grundwerkstoff legieren, damit eine Schweißverbindung entsteht

- mit gleichmäßiger Zusammensetzung, Härte und Härbarkeit,
- frei von nichtmetallischen Einschlüssen, Porosität und Rissen,
- mit geeigneten Eigenschaften für die in Frage kommenden Werkzeuganwendungen.

Da die Schweißstellen an Werkzeugen eine hohe Härte haben, sind sie besonders anfällig für Rißbildung, die von Schlackenpartikeln oder Poren ausgeht. Der verwendete Schweißzusatzwerkstoff muß deshalb ein sauberes, porenfreies Schweißgut ermöglichen. Die Zusatzwerkstoffe müssen auch mit sehr engen Analysentoleranzen hergestellt werden, damit die Härte nach dem Schweißen und das Härteverhalten bei jeder Charge reproduzierbar sind.

Schweißzusatzwerkstoffe hoher Qualität sind unerlässlich, wenn die Form nach dem Schweißen poliert oder fotogeätzt werden soll. Die Uddeholm-Schweißzusatzwerkstoffe erfüllen alle diese Anforderungen.

WIG-Schweißstäbe werden normalerweise aus elektroschlackeumgeschmolzenen Stählen hergestellt. Für das Handschweißen werden basische Elektroden genommen, da diese im Vergleich zu den Rutil-Elektroden ein wesentlich sauberes Schweißgut ergeben. Ein weiterer Vorteil der basischen Elektroden ist ein geringerer Wasserstoffgehalt im Schweißgut.

Im allgemeinen sollte der Schweißzusatzwerkstoff eine ähnliche Zusammensetzung wie der Grundwerkstoff haben. Wenn ein weichgeglühter



Uddeholm-Schweißzusatzwerkstoffe für das Lichtbogenhandschweißen.

Stahl geschweißt werden muß, wenn z.B. eine Form oder ein Werkzeug während der Herstellung geändert werden muß, ist es unbedingt notwendig, daß der Zusatzwerkstoff die gleichen Wärmebehandlungseigenschaften hat wie der Grundwerkstoff. Andernfalls wird die Schweißstelle in dem gehärteten Werkzeug eine andere Härte aufweisen. Außerdem sind größere Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung mit einer erhöhten Rißbildungsgefahr während des Härtens verbunden.

Die Zusammensetzungen der Uddeholm-Schweißzusatzwerkstoffe sind so gewählt, daß sie mit den entsprechenden Werkzeugstahlorten übereinstimmen, unabhängig davon, ob der Grundwerkstoff im weichgeglühten oder gehärteten und angelassenen Zustand ist. Für alle Uddeholm-Warmarbeitsstähle werden QRO 90 WELD und QRO 90 TIG-WELD empfohlen.

Natürlich muß die Schweißstelle für die verschiedenen Anwendungsfälle unterschiedliche Eigenschaften aufweisen.

Die wichtigen Eigenschaften der Schweißstelle für die drei Hauptanwendungssegmente für Werkzeugstähle – Kaltarbeit, Warmarbeit und Kunststoffformen – sind:

#### Kaltarbeit

- Härte
- Zähigkeit
- Verschleißfestigkeit.

#### Warmarbeit

- Härte
- Anlaßbeständigkeit
- Zähigkeit
- Verschleißfestigkeit
- Beständigkeit gegen Warmrißbildung.

#### Kunststoffformen

- Härte
- Verschleißfestigkeit
- Polierbarkeit
- Fotoätzbarkeit.

Diese Eigenschaften werden im folgenden kurz erläutert.

### HÄRTE

Wenn die Form oder das Werkzeug im gehärteten und angelassenen Zustand geschweißt werden muß, ist es wichtig, daß die Schweißstelle dieselbe Härte wie der Grundwerkstoff im gehärteten und angelassenen Zustand aufweist. Wenn das der Fall ist, können kleinere Schweißungen ausgeführt werden, ohne daß das Werkzeug anschließend nochmals angelassen werden muß. Alle Schweißzusatzwerkstoffe von Uddeholm erfüllen diese Bedingung (Abb. 3).

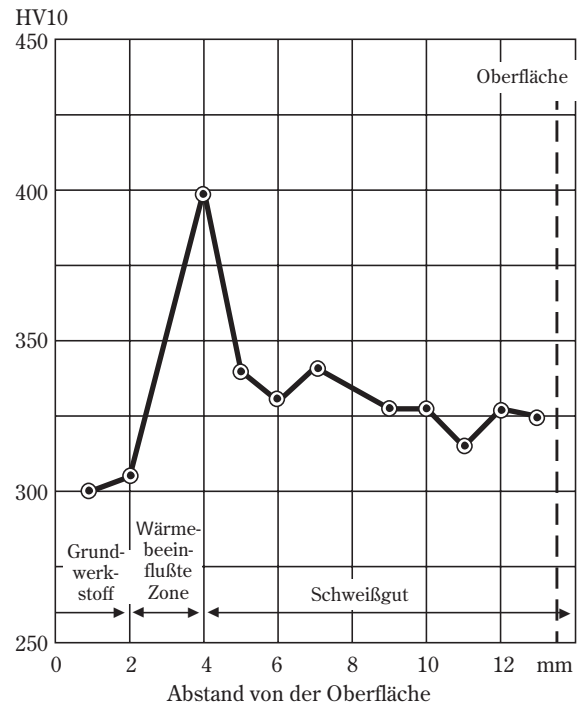


Abb. 3. Härteverlauf einer Schweißstelle an IMPAX SUPREME (Lichtbogenhandschweißen mit IMPAX WELD-Elektroden). Beachten Sie den gleichmäßigen Härteverlauf, nur geringfügig höher als die Härte des Grundwerkstoffs, und die sehr enge wärmebeeinflusste Zone mit einem nur geringfügigen Härteanstieg in der Schmelzzone.

### ANLABBESTÄNDIGKEIT

Wenn die Form oder das Werkzeug nach dem Schweißen wärmebehandelt werden soll (Grundwerkstoff im weichgeglühten Zustand), ist es wichtig, daß die Härte- und Anlaßeigenschaften des Schweißguts ähnlich denen des Grundwerkstoffs sind, damit dieselbe Härte erreicht wird (Abb. 4).

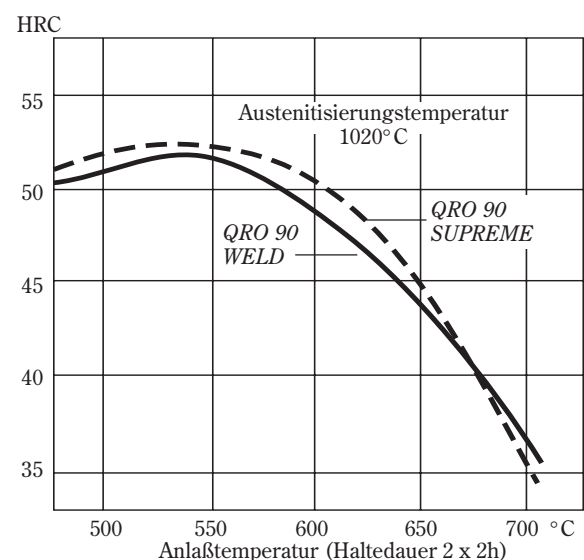


Abb. 4. Vergleich der Anlaßkurven für QRO 90 SUPREME und für das Schweißgut, hergestellt durch das Lichtbogenhandschweißen mit QRO 90 WELD-Elektroden.

### ZÄHIGKEIT

Trotz der Tatsache, daß wir es im Endeffekt mit einem „gegossenen“ Material zu tun haben, kann die Schweißverbindung an einem Werkzeugstahl erstaunlicherweise zäh sein. Das liegt an der ziemlich feinen Mikrostruktur, erreicht durch eine hohe Erstarrungsgeschwindigkeit. Im allgemeinen wird die Härte jedoch durch eine anschließende Wärmebehandlung verbessert. Daher sollten größere Schweißreparaturen an durchgehärteten Werkzeugstählen stets nach dem Schweißen nochmals angelassen werden, selbst dann, wenn das Schweißgut nach dem Schweißen dieselbe Härte wie der Grundwerkstoff aufweist.

Kaltarbeitswerkzeugstähle werden normalerweise mit einer hohen Härte eingesetzt. Hier ist es ratsam, für die ersten Lagen eine weiche Elektrode zu benutzen und anschließend die Schweißung mit einer harten Elektrode zu beenden. Diese Arbeitsweise führt dann zu einer zäheren Schweißstelle, als wenn man nur mit einer harten Elektrode arbeitet.

### VERSCHLEIBFESTIGKEIT

Die Verschleißfestigkeit des Schweißguts steigt mit der Härte und dem Legierungsgehalt ebenso wie die eines Werkzeugstahls. Die Zusammensetzungen der Uddeholm-Schweißzusatzwerkstoffe sind so gewählt, daß das Schweißgut dieselbe Verschleißfestigkeit wie der Grundwerkstoff hat.

### BESTÄNDIGKEIT GEGEN WARMRIßBILDUNG

Wegen der schlechteren Warmfestigkeit, Anlaßbeständigkeit oder Zähigkeit (Duktilität) findet bei Warmarbeitswerkzeugstählen normalerweise Warmrißbildung eher an den geschweißten Stellen statt. Wenn ein Schweißzusatzwerkstoff jedoch zu einem Schweißgut mit besserer Warmfestigkeit und Warmhärte führt, ist der Widerstand gegen Warmrißbildung im Schweißgut gleich oder sogar besser als im Grundwerkstoff.

Mit QRO 90 WELD und TIG-WELD hat das Schweißgut einen sehr guten Widerstand gegen Warmrißbildung (Abb. 5).

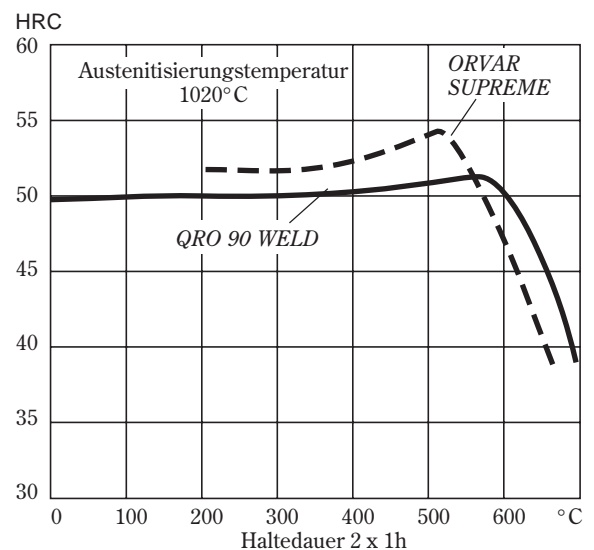


Abb. 5. QRO 90 WELD zeigt wesentlich bessere Anlaßbeständigkeit als ORVAR SUPREME.



STAVAX WELD/TIG-WELD und IMPAX WELD/TIG-WELD sind ganz genau auf ihre entsprechenden Werkzeugstahlqualitäten abgestimmt. Eine geschweißte Stelle kann daher genauso gut wie der Grundwerkstoff poliert oder fotogeätzt werden.

**POLIERBARKEIT**

Für Kunststoffformen, die nach dem Schweißen poliert werden müssen, ist es unerlässlich, daß das Schweißgut eine sehr ähnliche Zusammensetzung oder Härte wie der Grundwerkstoff aufweist. Sonst wird die Schweißstelle durch Reliefpolieren sichtbar, selbstverständlich auch an den Formteilen.

*IMPAX SUPREME* und *STAVAX ESU*, die mit *IMPAX* und *STAVAX WELD* (bzw. TIG-WELD) Elektroden geschweißt wurden, führen, wenn richtig geschweißt wird, normalerweise zu so guten Schweißstellen, daß sie nach dem Polieren fast überhaupt nicht mehr zu erkennen sind.

**FOTOÄTZBARKEIT**

Wenn eine geschweißte Form fotogeätzt werden muß, müssen das Schweißgut und der Grundwerkstoff ebenfalls eine sehr ähnliche Zusammensetzung haben. Wenn dies nicht der Fall ist, wird die Ätzstruktur an der geschweißten Stelle und an dem Grundwerkstoff unterschiedlich sein. Dies wird sich dann an den gefertigten Teilen bemerkbar machen. Geschweißte Stellen an *IMPAX SUPREME* und *STAVAX ESU*, die mit *IMPAX* oder *STAVAX WELD* (TIG-WELD) geschweißt wurden, sind normalerweise nach dem Fotoätzen nicht mehr zu erkennen.

# Achtung vor Wasserstoffaufnahme!

Schweißstellen an Werkzeugstählen haben eine hohe Härte und neigen daher besonders zu Rißbildung, wenn während des Schweißens Wasserstoff aufgenommen wird. In vielen Fällen kommt dieser Wasserstoff aus dem in der Elektrodenummantelung absorbierten Wasser (Abb. 6).

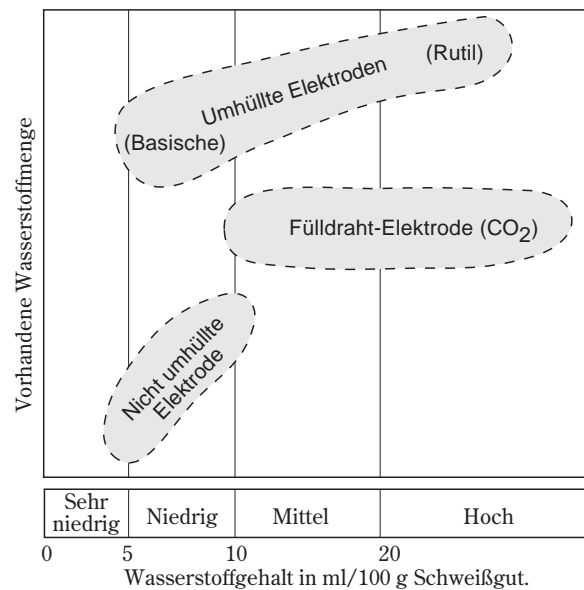


Abb. 6. Typisch vorhandene Wasserstoffmengen und Wasserstoffgehalt im Schweißgut für verschiedene Schweißverfahren und Elektrodentypen.

Die Neigung zu Rißbildung durch Wasserstoffversprödung ist abhängig von:

- dem Gefüge des Schweißguts (verschiedene Gefüge sind unterschiedlich wasserstoffempfindlich)
- der Härte des Stahls (je größer die Härte, desto höher die Empfindlichkeit)
- den Schweißspannungen
- der Menge des aufgenommenen Wasserstoffs.

**GEFÜGE/HÄRTE**

Die typischen Gefüge, die zu einer hohen Härte in der wärmebeeinflussten Zone und im Schweißgut führen, d.h. Martensit und Bainit, neigen besonders zur Wasserstoffversprödung. Diese Versprödung kann durch ein Anlassen geringfügig herabgesetzt werden.

### SCHWEIBSPANNUNGEN

Es gibt drei Ursachen für Schweißspannungen:

- Schrumpfung während der Erstarrung des flüssigen Schweißguts.
- Temperaturunterschiede zwischen der Schweißnaht, der wärmebeeinflussten Zone und dem Grundwerkstoff.
- Umwandlungsspannungen, wenn das Schweißgut und die wärmebeeinflusste Zone durch das Abkühlen gehärtet werden.

Im allgemeinen haben diese Spannungen in der Umgebung der Schweißnaht die gleiche Größenordnung wie die Streckgrenze des Grundwerkstoffs – und diese ist für gehärtete Stähle sehr hoch. Diese hohen Spannungen sind nicht vermeidbar. Die Spannungsverhältnisse können jedoch ein wenig vermindert werden durch eine richtige Auslegung der Nahtform. Falls allerdings das Schweißgut durch Wasserstoff sehr verunreinigt ist, nutzt auch dies nichts.

### WASSERSTOFFGEHALT

Gegen Wasserstoffversprödung kann man sehr leicht etwas unternehmen. Die Wasserstoffaufnahme während des Schweißens kann erheblich herabgesetzt werden, wenn folgende Vorsichtsmaßnahmen beachtet werden:

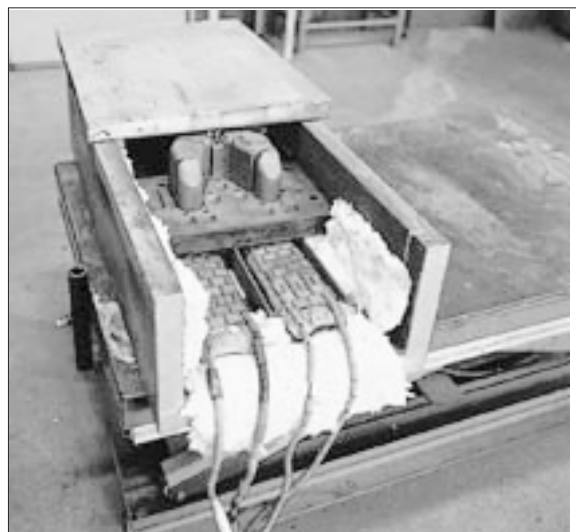
- Nach dem Öffnen der Verpackung sollten umhüllte Elektroden prinzipiell in einem beheizten Trockenschrank bzw. beheizten Behälter aufbewahrt werden (siehe S. 5).
- Verunreinigungen – wie z.B. Öl, Rost, Lack – an der zu schweißenden Stelle und an der umliegenden Oberfläche des Werkzeugs sind eine potentielle Wasserstoffquelle. Daher sollten diese Flächen immer vor dem Schweißen gründlich bis auf das blanke Metall abgeschliffen werden.
- Wenn ein Vorwärmen mit einem Propangasbrenner durchgeführt wird, sollte man daran denken, daß dies zur Bildung von Feuchtigkeit an den Flächen führen kann, die nicht direkt von der Flamme berührt werden.

## Vorwärmen

Der Hauptgrund für das Schweißen von Werkzeugstahl unter erhöhten Temperaturen liegt in der hohen Härbarkeit und daraus abzuleitenden Rißempfindlichkeit des Schweißguts und der wärmebeeinflussten Zone. Wenn ein nicht vorgewärmtes Werkzeug geschweißt wird, werden das Schweißgut und die wärmebeeinflusste Zone sehr schnell abgekühlt. Die daraus resultierende Umwandlung in sprödes Martensit führt zu einem erhöhten Risiko der Rißbildung. Risse, die sich in der Schweißstelle gebildet haben, können sich durchaus durch das ganze Werkzeug fortsetzen, wenn das Werkzeug kalt ist. Daher sollten die Form oder das Werkzeug während des Schweißens immer bei 50–100°C über der  $M_s$ -Temperatur (der Beginn der Austenit-Martensit-Umwandlung) des zu schweißenden Stahls gehalten werden. Genau genommen ist die kritische Temperatur die  $M_s$ -Temperatur des Schweißguts, die nicht unbedingt die gleiche ist wie die des Grundwerkstoffs.

Manchmal kommt es vor, daß der durchgehärtete Grundwerkstoff bei einer Temperatur unter der der  $M_s$ -Temperatur angelassen worden ist. In diesem Fall führt ein Vorwärmen zu einem Härteabfall. Dies geschieht z.B. bei den meisten Kaltarbeitsstählen, die im niedrigen Temperaturbereich (ca. 200°C) angelassen werden. Dieser Härteabfall muß jedoch zugunsten des Vorwärmens und der Verminderung der Rißbildungsgefahr in Kauf genommen werden.

Wenn bei einem bei richtiger Temperatur vorgewärmten Werkzeug mehrlagig geschweißt wird, wird der größte Teil des Schweißguts während des gesamten Schweißvorganges im austenitischen Zustand bleiben und sich langsam während des Abkühlens des Werkzeugs umwandeln. Dadurch werden im gesamten Schweißgut eine



*Vorwärmen in einem wärmeisolierten Heizkasten.*

gleichbleibende Härte und ein gleichbleibendes Gefüge erzielt. Dies steht im Gegensatz zu dem Fall, wo sich jede aufgelegte Lage in Martensit umwandelt – ganz abgesehen von dem Risiko der Rißbildung.

Daraus ergibt sich die Schlußfolgerung, daß der gesamte Schweißvorgang immer im vorgewärzten Zustand durchgeführt werden soll. Es ist nicht zu empfehlen, zuerst nur einen Teil des Schweißvorganges durchzuführen, das Werkzeug abkühlen zu lassen und erst später vorzuwärmen, um den Schweißvorgang zu beenden, da dann ein erhebliches Risiko besteht, daß das Werkzeug durchreißt.

Es ist natürlich möglich, das Werkzeug in einem Ofen vorzuwärmen. Dabei können zwei Probleme auftreten:

- Die Temperatur im Ofen ist nicht unbedingt gleichmäßig (Spannungen können entstehen).
- Die Temperatur kann zu weit abfallen, bevor der Schweißvorgang beendet ist (besonders bei kleinen Werkzeugen).

Am besten geschieht ein Vorwärmen des Werkzeugs und Halten auf der gewünschten Temperatur während des gesamten Schweißvorganges immer in einem wärmeisolierten Kasten mit elektrisch beheizbaren Wandelementen (siehe S. 10).

Abb. 7 zeigt die Härteprofile von Schweißstellen an Werkzeugen mit Vorwärmen in einem Ofen und dem eben beschriebenen Heizkasten. Es ist deutlich zu sehen, daß durch ein Vorwärmen in einem Ofen eine wesentlich größere Streuung der Härtewerte erfolgt.

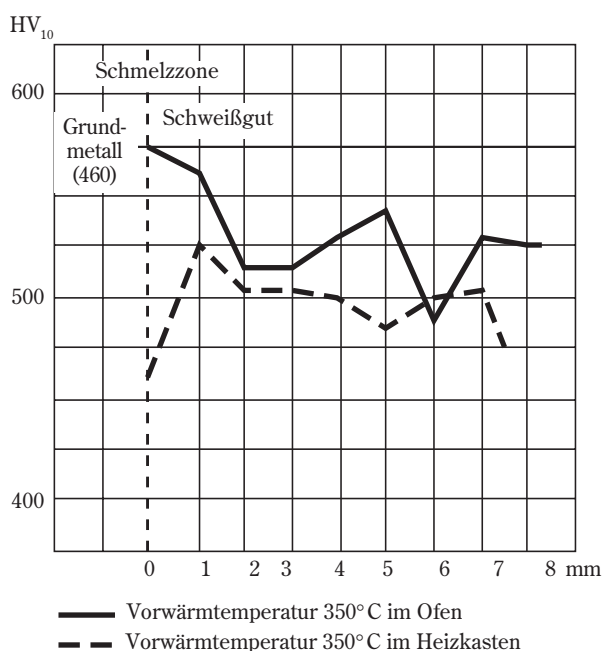


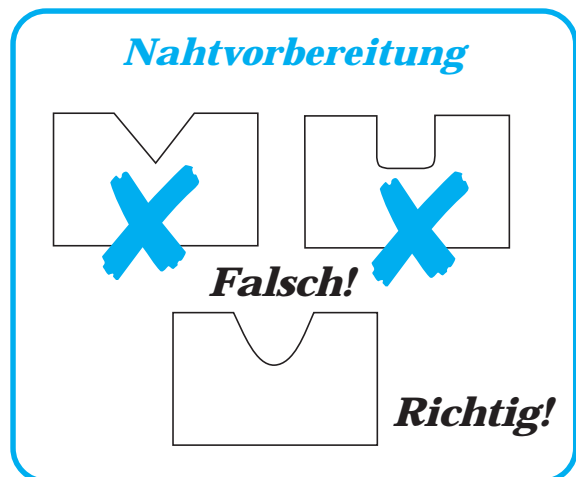
Abb. 7. Härteverlauf an einer Schweißstelle mit QRO 90 WELD mit Vorwärmen in einem Ofen und einem Heizkasten.

## Schweißvorgang

Selbst mit der besten Ausrüstung und den geeignetsten Schweißzusatzwerkstoffen kann Werkzeugstahl nicht erfolgreich geschweißt werden ohne entsprechend sorgfältige Schweißnahtvorbereitung, Schweißausführung und Wärmebehandlung nach dem Schweißen.

### SCHWEIßNAHTVORBEREITUNG

Eine sorgfältige Vorbereitung der Schweißnaht ist unerlässlich. Risse müssen gründlich ausgeschliffen werden, so daß der Nahtboden abgerundet ist und die Seitenkanten einen Winkel von mindestens 30° zur Senkrechten bilden. Der Stegabstand im Nahtboden sollte mindestens 1 mm größer sein als der Durchmesser der größten Elektrode, die benutzt werden soll.



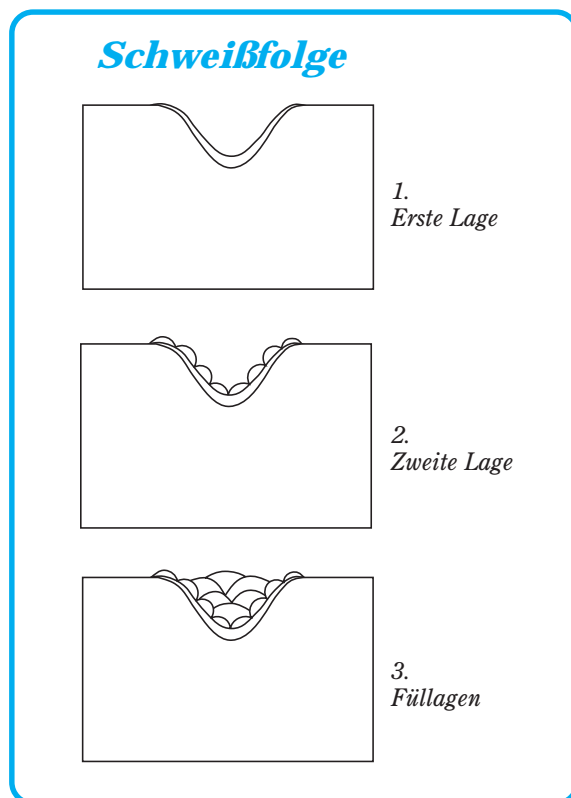
Durch Erosion oder Warmrisse beschädigte Stellen an Warmarbeitswerkzeugen müssen bis auf das fehlerfreie Untergrundmetall abgeschliffen werden.

Die Werkzeugoberflächen nahe der vorgesehenen Schweißstelle und die Oberflächen der Naht müssen gründlich bis auf das blanke Metall abgeschliffen werden. Bevor mit dem Schweißen begonnen wird, sollten die geschliffenen Flächen mit einem fluoreszierenden Eindringmittel kontrolliert werden, um sicherzustellen, daß alle Defekte entfernt worden sind. Das Schweißen soll unmittelbar nach der Nahtvorbereitung begonnen werden. Sonst besteht die Gefahr, daß die Nahtoberflächen durch Staub, Schmutz oder Feuchtigkeit verunreinigt werden.

### DURCHFÜHRUNG DER SCHWEIßARBEIT

Beim Lichtbogenhandschweißen soll die erste Lage mit einer Elektrode mit kleinem Durchmesser (max. 3,25 mm Ø) ausgeführt werden. Beim WIG-Schweißen soll eine max. Stromstärke von 120 A benutzt werden. Alle folgenden Lagen werden dann auf schon vorhandenem Schweißgut aufgebracht.

Die zweite Lage wird mit demselben Elektrodendurchmesser und derselben Stromstärke wie bei der ersten Lage aufgetragen, damit die wärmebeeinflusste Zone nicht zu breit wird. Auf diese Weise wird das harte, spröde Gefüge, das sich in der durch die erste Lage bedingten wärmebeeinflussten Zone im Grundwerkstoff bildet, durch die Wärme von der zweiten Lage angelassen. Dadurch wird die Neigung zur Rißbildung verringert. Die Füllagen können mit größeren Elektrodendurchmessern und höheren Stromstärken aufgetragen werden.



Die Decklagen sollen nicht mit der Oberfläche des Werkzeugs abschließen, sondern sie auf jeden Fall überragen. Selbst kleine Schweißungen sollten aus mindestens zwei Lagen bestehen.

Während des Schweißens soll der Lichtbogen kurz gehalten werden, und die Raupen sollen einzeln gelegt werden. Die Elektrode soll senkrecht zur Seitenkante der Fuge gehalten werden, um Auswaschung möglichst gering zu halten. Außer-

dem soll die Elektrode in einem Winkel von 75–80° zur Schweißrichtung gehalten werden.

Der Lichtbogen soll immer in der Fuge gezündet werden und nicht irgendwo auf der Oberfläche des Werkzeugs, da an der Zündstelle Rißbildung möglich ist. Um Porenbildung zu vermeiden, soll darauf geachtet werden, daß das Metall an der ersten Zündstelle richtig geschmolzen ist. Beim Lichtbogenhandschweißen soll die Elektrodenspitze einer bereits benutzten Elektrode vor dem Nachzünden von Schlacke befreit werden. Dies erleichtert das Zünden des Lichtbogens und schließt gleichzeitig eine weitere Möglichkeit der Porenbildung aus.

Beim Aufbau von Kanten oder Ecken können sowohl Zeit als auch Schweißzusatzwerkstoffe eingespart werden, wenn eine Kupfer- oder Graphitplatte als Stütze für das Schweißgut eingesetzt wird (siehe Abb. 8). Mit dieser Stütze ist das flüssige Schweißgut heißer, wodurch das Risiko der Porenbildung vermindert ist. Dies ist besonders vorteilhaft beim Aufbau von scharfen Kanten oder Ecken, da niedrige Stromstärken benutzt werden müssen. Wenn beim Lichtbogenhandschweißen eine Kupfer- oder Graphitstützplatte eingesetzt wird, ist ein Hohlraum von 1,5 mm zwischen Platte und Werkstück für die Aufnahme der Schlacke notwendig.

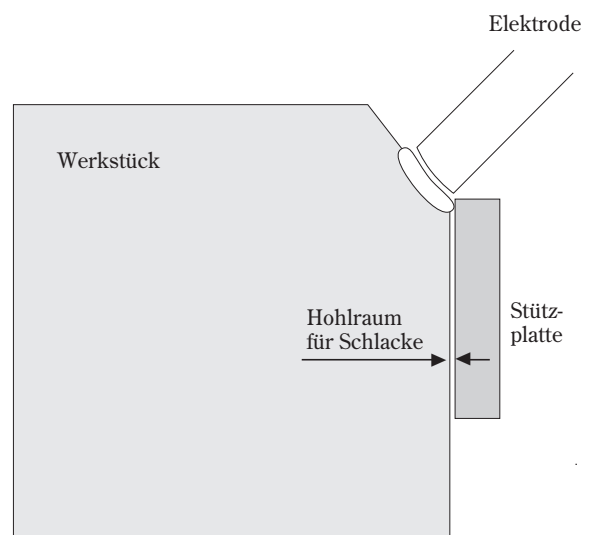


Abb. 8. Stützplatte für den Aufbau von Kanten oder Ecken.

Für das Reparatur- oder Korrekturschweißen von teuren Werkzeugen, z.B. Kunststoffformen mit fotogätzten Auskofferungen, ist eine gute Stromverbindung zwischen dem Werkzeug und dem Schweißkabel unerlässlich. Wenn dies nicht der Fall ist, kann die teuer behandelte Oberfläche durch Funkenbildung beschädigt werden. Bei solchen Arbeiten sollen die Werkzeuge auf einer Kupferplatte liegen, damit die bestmögliche Strom-

verbindung besteht. Die Kupferplatte muß mit dem Werkzeug vorgewärmt werden.

Nach Beendigung des Schweißens muß die Schweißnaht sorgfältig gereinigt und kontrolliert werden, bevor das Werkzeug abgekühlt wird. Defekte, wie z.B. Einbrandkerben oder Auswaschungen, müssen noch vor dem Abkühlen beseitigt werden. Nach dem Abkühlen kann die Schweißnaht bis auf das Niveau der umliegenden Werkzeugoberfläche abgeschliffen werden. Danach kann weitergearbeitet werden.

Wo geschweißte Stellen an Formen poliert oder fotogeätzt werden müssen, sollen die letzten Lagen mittels WIG-Schweißens ausgeführt werden, da dann das Risiko der Porenbildung oder von Einschlüssen im Schweißgut geringer ist.

---

#### WÄRMEBEHANDLUNG NACH DEM SCHWEIßEN

---

Abhängig vom Ausgangszustand des Werkzeugs können folgende Wärmebehandlungen nach dem Schweißen durchgeführt werden:

- Anlassen
- Weichglühen, dann härten + anlassen wie gewohnt
- Spannungsarmglühen.

##### Anlassen

Durchgehärtete Werkzeuge, die reparaturgeschweißt wurden, sollen nach Möglichkeit nach dem Schweißen angelassen werden.

Das Anlassen verbessert die Zähigkeit des Schweißguts und ist besonders wichtig, wenn die geschweißte Stelle hohen Spannungen während des Betriebs ausgesetzt wird (z.B. bei Kaltarbeits- und Warmarbeitswerkzeugen).

Die Anlaßtemperatur soll so ausgewählt werden, daß die Härte des Schweißguts und des Grundwerkstoffs einander möglichst ähnlich sind. Wenn das Schweißgut eine wesentlich verbesserte Anlaßbeständigkeit gegenüber dem Grundwerkstoff hat (z.B. *ORVAR SUPREME*, geschweißt mit QRO 90 WELD), wird von dieser Regel abgesehen. In diesem Fall soll die Schweißstelle mit der höchstmöglichen Temperatur angelassen werden, ohne die Härte des Grundwerkstoffs absinken zu lassen (typische Anlaßtemperatur dann 20° C unter der letztbenutzten Anlaßtemperatur am Grundwerkstoff).

Die entsprechenden Anlaßbedingungen für geschweißte Werkzeuge können den Broschüren für Uddeholm Schweißzusatzwerkstoffe und Werkzeugstähle entnommen werden.

Sehr kleine Reparaturschweißungen werden normalerweise nicht angelassen. Ein Anlassen ist jedoch in jedem Fall besser, wenn es praktisch möglich ist.

##### Weichglühen

Werkzeuge im weichgeglühten Zustand, die wegen Designänderungen oder Bearbeitungsfehlern geschweißt werden müssen, müssen nach dem Schweißen wärmebehandelt werden. Da das Schweißgut jedoch während des Abkühlens gehärtet wird, ist es eigentlich notwendig, das Werkzeug weichzuglühen, bevor gehärtet und angelassen wird. Das Weichglühen erfolgt wie beim Grundwerkstoff. Die Schweißstelle kann dann wie üblich bearbeitet und wärmebehandelt werden. Auch dann, wenn eigentlich nur ein Schleifvorgang für die Fertigstellung des Werkzeugs nötig ist, wird trotzdem ein Weichglühen empfohlen, um das Risiko einer Rißbildung während der Wärmebehandlung zu vermeiden.

##### Spannungsarmglühen

Manchmal wird nach dem Schweißen ein Spannungsarmglühen durchgeführt, um Eigenspannungen zu vermindern. Bei sehr großen Schweißungen oder Schweißungen, die sehr stark eingezwängt sind, ist das Spannungsarmglühen eine sehr wichtige Vorsichtsmaßnahme. Das Spannungsarmglühen ist normalerweise nicht nötig, wenn die Schweißstelle nachher angelassen oder weichgeglüht wird. Vorvergütete Werkzeugstähle, z.B. *IMPAX SUPREME*, geschweißt mit *IMPAX WELD* oder *IMPAX TIG-WELD*, sollten nach dem Schweißen spannungsarmgeglüht werden, da normalerweise keine andere Wärmebehandlung durchgeführt wird.

Die Temperatur für das Spannungsarmglühen muß so ausgewählt werden, daß weder der Grundwerkstoff noch die Schweißstelle während des Spannungsarmglühens zu weich werden. Wenn *IMPAX SUPREME* nach dem Schweißen weiterbearbeitet werden muß, ist es unerlässlich, daß die Form spannungsarmgeglüht wird, damit eine ausreichende Maßstabstabilität gewährleistet ist.

Sehr kleine Reparatur- oder Korrekturschweißungen brauchen normalerweise nicht spannungsarmgeglüht zu werden.

Die folgenden Tabellen enthalten Einzelheiten über Reparatur- bzw. Korrekturschweißungen an Werkzeugen oder Formen, hergestellt mit Uddeholm Warmarbeitsstählen, Kunststoffformenstählen und Kaltarbeitsstählen.

## REPARATURSCHWEIßUNGEN AN WARMARBEITSSTÄHLEN

Uddeholm Marke	Zustand	Schweißmethode	Schweißzusatzwerkstoff	Vorwärmtemperatur	Härte nach dem Schweißen	Wärmebehandlung	Bemerkungen
VIDAR SUPREME	Weichgeglüht	LHS*	QRO 90 WELD	min. 325°C	50–55 HRC	Weichglühen	Wärmebehandlung, siehe Broschüre für Grundwerkstoff
ORVAR SUPREME/ ORVAR 2 Microdized	Weichgeglüht	LHS*	QRO 90 WELD	min. 325°C	50–55 HRC	Weichglühen	
QRO 90 SUPREME	Weichgeglüht	LHS*	QRO 90 WELD	min. 325°C	50–55 HRC	Weichglühen	
ALVAR 14	Vorvergütet	LHS*	UTP 73G4 ESAB OK 83.28	225–275°C	340–390 HB 340–390 HB	Keine	Spannungsarmglühen nach größeren Reparaturen
VIDAR SUPREME	Gehärtet	LHS*	QRO 90 WELD	min. 325°C	50–55 HRC	Anlassen	10–20°C unter der zuletzt benutzten Anlaßtemperatur
ORVAR SUPREME/ ORVAR 2 Microdized	Gehärtet	LHS*	QRO 90 WELD	min. 325°C	50–55 HRC	Anlassen	
QRO 90 SUPREME	Gehärtet	LHS*	QRO 90 WELD	min. 325°C	50–55 HRC	Anlassen	

\* LHS = Lichtbogenhandschweißen

Uddeholm Marke	Zustand	Schweißmethode	Schweißzusatzwerkstoff	Vorwärmtemperatur	Härte nach dem Schweißen	Wärmebehandlung	Bemerkungen
VIDAR SUPREME	Weichgeglüht	WIG	QRO 90 TIG-WELD	min. 325°C	50–55 HRC	Weichglühen	Wärmebehandlung, siehe Broschüre für Grundwerkstoff
ORVAR SUPREME/ ORVAR 2 Microdized	Weichgeglüht	WIG	QRO 90 TIG-WELD	min. 325°C	50–55 HRC	Weichglühen	
QRO 90 SUPREME	Weichgeglüht	WIG	QRO 90 TIG-WELD	min. 325°C	50–55 HRC	Weichglühen	
ALVAR 14	Vorvergütet	WIG	UTPA 73G4 ESAB OK Tigrod 13.22	225–275°C	340–390 HB 340–390 HB	Keine	Spannungsarmglühen nach größeren Reparaturen
VIDAR SUPREME	Gehärtet	WIG	QRO 90 TIG-WELD	min. 325°C	50–55 HRC	Anlassen	10–20°C unter der zuletzt benutzten Anlaßtemperatur
ORVAR SUPREME/ ORVAR 2 Microdized	Gehärtet	WIG	QRO 90 TIG-WELD	min. 325°C	50–55 HRC	Anlassen	
QRO 90 SUPREME	Gehärtet	WIG	QRO 90 TIG-WELD	min. 325°C	50–55 HRC	Anlassen	

## REPARATURSCHWEIßUNGEN AN KUNSTSTOFFFORMENSTÄHLEN

Uddeholm Marke	Zustand	Schweißmethode	Schweißzusatzwerkstoff	Vorwärmtemperatur	Härte nach dem Schweißen	Wärmebehandlung	Bemerkungen
STAVAX ESU	Weichgeglüht	LHS*	STAVAX WELD	200–250°C	54–56 HRC	Weichglühen	Wärmebehandlung, siehe Broschüre für Grundwerkstoff
STAVAX ESU	Gehärtet	LHS*	STAVAX WELD	200–250°C	54–56 HRC	Anlassen	Anlaßtemperatur 200–250°C
IMPAX SUPREME	Vorvergütet	LHS*	IMPAX WELD	200–250°C	320–350 HB	Keine	Spannungsarmglühen nach größeren Reparaturen
GRANE	Gehärtet	LHS*	UTP 73G2 oder UTP 67S	225–275°C	55–58 HRC	Anlassen	Anlaßtemperatur 200–250°C
RAMAX S	Vorvergütet	LHS*	STAVAX WELD	200–250°C	54–56 HRC	Anlassen	Anlaßtemperatur 590–630°C
HOLDAX	Vorvergütet	LHS*	IMPAX WELD	150–200°C	320–350 HB	Keine	Spannungsarmglühen nach größeren Reparaturen
ELMAX	Gehärtet	LHS*	Inconel 625 Typ UTP 701	250–300°C	280 HB ca. 56 HRC (für die ersten bzw. letzten Lagen)	Anlassen auf 200°C	Schweißen von ELMAX sollte vermieden werden, da hohes Risiko der Rißbildung
CALMAX	Weichgeglüht	LHS*	CALMAX/ CARMO WELD	200–250°C	59–62 HRC	Weichglühen	Siehe Produktbroschüre
CALMAX	Gehärtet	LHS*	CALMAX/ CARMO WELD	180–250°C	59–62 HRC	Anlassen	

\* LHS = Lichtbogenhandschweißen

Uddeholm Marke	Zustand	Schweißmethode	Schweißzusatzwerkstoff	Vorwärmtemperatur	Härte nach dem Schweißen	Wärmebehandlung	Bemerkungen
STAVAX ESU	Weichgeglüht	WIG	STAVAX TIG-WELD	200–250°C	54–56 HRC	Weichglühen	Wärmebehandlung, siehe Broschüre für Grundwerkstoff
STAVAX ESU	Gehärtet	WIG	STAVAX TIG-WELD	200–250°C	54–56 HRC	Anlassen	Anlaßtemperatur 200–250°C
IMPAX SUPREME	Vorvergütet	WIG	IMPAX TIG-WELD	200–250°C	320–350 HB	Keine	Spannungsarmglühen nach größeren Reparaturen
GRANE	Gehärtet	WIG	UTPA 73G2 oder UTPA 67S	225–275°C	55–58 HRC	Anlassen	Anlaßtemperatur 200–250°C
RAMAX S	Vorvergütet	WIG	STAVAX TIG-WELD	200–250°C	54–56 HRC	Anlassen	Anlaßtemperatur 590–630°C
HOLDAX	Vorvergütet	WIG	IMPAX TIG-WELD	150–200°C	320–350 HB	Keine	Spannungsarmglühen nach größeren Reparaturen
ELMAX	Gehärtet	WIG	UTPA 701	250–300°C	ca. 56 HRC	Anlassen auf 200°C	Schweißen von ELMAX sollte vermieden werden, da hohes Risiko der Rißbildung
CALMAX	Weichgeglüht	WIG	CALMAX/ CARMO TIG-WELD	200–250°C	58–61 HRC	Weichglühen	Siehe Produktbroschüre
CALMAX	Gehärtet	WIG	CALMAX/ CARMO TIG-WELD	180–250°C	58–61 HRC	Anlassen	

## REPARATURSCHWEIßUNGEN AN KALTARBEITSSTÄHLEN

Uddeholm Marke	Zustand	Schweißmethode	Schweißzusatzwerkstoff	Vorwärmtemperatur	Härte nach dem Schweißen	Bemerkungen
ARNE	Gehärtet	LHS*	AWS E312	200–250°C	300 HB	Die ersten Lagen werden mit weichen Elektroden ausgeführt. Für die letzten Lagen werden Elektroden gewählt, die eine geeignete Härte erbringen. Bei <i>FERMO</i> und <i>CARMO</i> können kleinere Reparaturen bei Raumtemperatur ausgeführt werden.
FERMO	Vorvergütet	LHS*	ESAB OK 84.52	200–250°C	53–54 HRC	
RIGOR	Gehärtet	LHS*	UTP 67S	200–250°C	55–58 HRC	
VIKING	Gehärtet	LHS*	Castolin 2	200–250°C	54–60 HRC	
VIKING	Gehärtet	LHS*	Castolin N 102	200–250°C	54–60 HRC	
SVERKER 21	Gehärtet	LHS*	Inconel 625 Typ	200–250°C	280 HB	
SVERKER 3	Gehärtet	LHS*	UTP 67S Castolin 2 Castolin 6	200–250°C	55–58 HRC 56–60 HRC 59–61 HRC	
VANADIS 4	Gehärtet	LHS*	Inconel 625 Typ Castolin 6	200–250°C	280 HB 59–61 HRC	
CARMO	Vorvergütet	LHS*	CALMAX/ CARMO WELD	200–250°C	59–62 HRC	
CALMAX		LHS*	Siehe „Reparaturschweißungen an Kunststoffformenstähle“			

\* LHS = Lichtbogenhandschweißen

**Anmerkung:** Elektroden mit einem hohen C-Gehalt werden im allgemeinen wegen des Rißbildungsrisikos nicht für das Lichtbogenhandschweißen empfohlen.

Uddeholm Marke	Zustand	Schweißmethode	Schweißzusatzwerkstoff	Vorwärmtemperatur	Härte nach dem Schweißen	Bemerkungen
ARNE	Gehärtet	WIG	AWS ER 312	200–250°C	300 HB	Die ersten Lagen werden mit weichen Elektroden ausgeführt. Für die letzten Lagen werden Elektroden gewählt, die eine geeignete Härte erbringen. Bei <i>FERMO</i> und <i>CARMO</i> können kleinere Reparaturen bei Raumtemperatur ausgeführt werden.
FERMO	Vorvergütet	WIG	UTPA 67S	200–250°C	55–58 HRC	
RIGOR	Gehärtet	WIG	UTPA 73G2	200–250°C	53–56 HRC	
VIKING	Gehärtet	WIG	Castotig 5	200–250°C	60–64 HRC	
SVERKER 21	Gehärtet	WIG	Inconel 625 Typ	200–250°C	280 HB	
SVERKER 3	Gehärtet	WIG	UTPA 73G2 UTPA 67S UTPA 696 Castotig 5	200–250°C	53–56 HRC 55–58 HRC 60–64 HRC 60–64 HRC	
VANADIS 4	Gehärtet	WIG	Inconel 625 Typ UTPA 73G2 UTPA 696 Castotig 5	200–250°C	280 HB 53–56 HRC 60–64 HRC 60–64 HRC	
CARMO	Vorvergütet	WIG	CALMAX/ CARMO TIG-WELD	200–250°C	58–61 HRC	
CALMAX		WIG	Siehe „Reparaturschweißungen an Kunststoffformenstähle“			

## Weitere Informationen

Informationen über die Wärmebehandlung des Werkzeugs nach dem Schweißen können den Broschüren für Schweißzusatzwerkstoffe und/oder den Broschüren für die entsprechenden Werkzeugstähle entnommen werden.