



Mit finanzieller Unterstützung
durch das EU-Programm
Erasmus+



MODUL A

Einführung in das Metallschweißen

Verfeinerung von Schweißgut



Verfeinerung von Schweißgut

- Dies ist eine Verringerung der Menge an Verunreinigungen im Schweißgut.
- Die größten Verunreinigungen sind Phosphor und Schwefel. Beide Elemente beeinträchtigen die Eigenschaften des Schweißgutes.
- Schwefel ist die Ursache für Heißkristallisation und Verflüssigungsrisse im Schweißgut und die Hauptursache für Lamellenrisse in Schweißverbindungen.



Verfeinerung von Schweißgut

- ▶ Phosphor erhöht die Anfälligkeit für Leckrisse in Form eines niedrigschmelzenden Eutektikums und verursacht Kaltversprödung.
- ▶ Wesentlich stärkere Reduktionen des Phosphorgehaltes des Schweißgutes lassen nur Grundschlacken zu.
- ▶ Die Verringerung des Schwefel- und Phosphorgehalts in geschweißten Metallen, die aus basischen Additivmaterialien geschmolzen werden, ist die Ursache für ihre hohen plastischen Eigenschaften, insbesondere bei niedrigen Temperaturen.



Gasaufnahme in Schweißnähten

- ▶ Beim Schweißen absorbiert das Schweißgut Gase, insbesondere Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff.
- ▶ Aufnahme von Gasen in Schweißgut
 - ▶ Beim Schweißen kann das Schweißgut einige Gase aufnehmen. Dies sind vor allem Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff.
 - ▶ Die Quelle dieser Gase kann die Umgebungsatmosphäre sein, die Verbrennungsgase der Heizgase, Zersetzungsprodukte von Elektroden und Flussmitteln, Verunreinigungen in der Schutzatmosphäre, Rost, Farben, Schmiermittel und dergleichen.
 - ▶ Diese Gase können Schweißporosität verursachen, Änderungen der mechanischen Eigenschaften des Schweißgutes oder die Ursache für das Reißen von Schweißnähten.

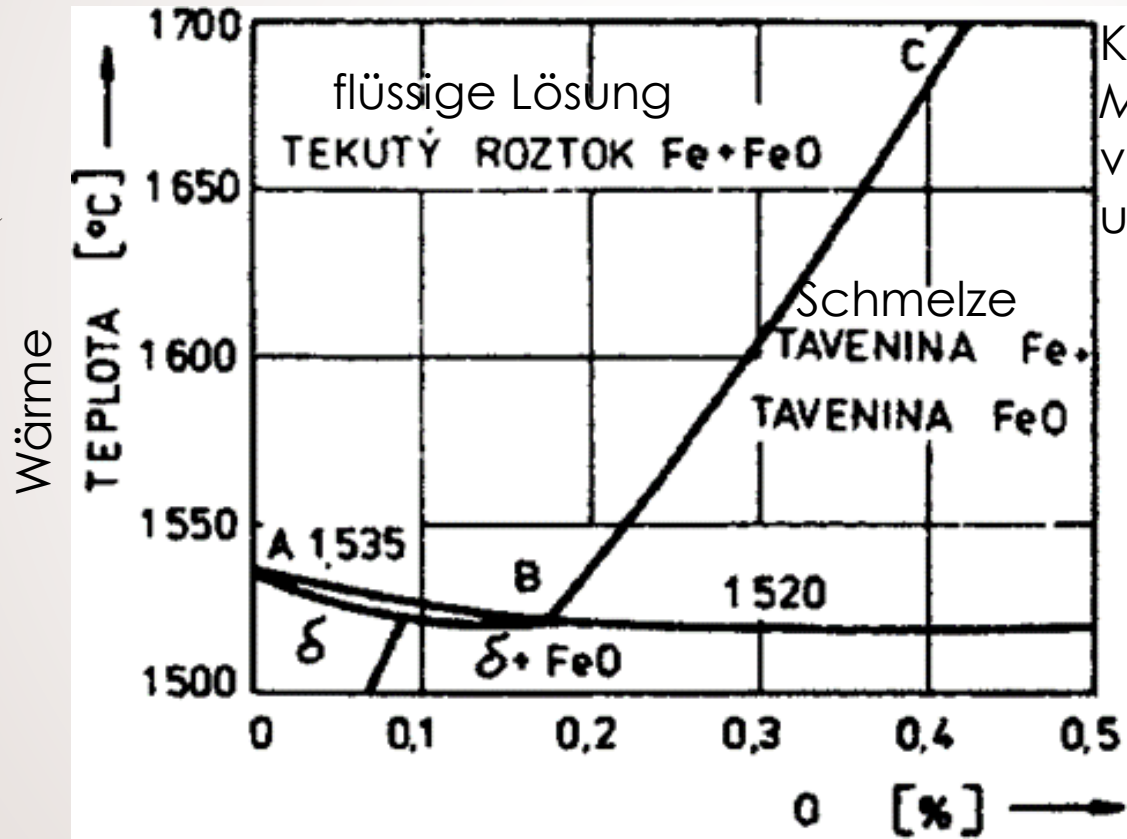


Sauerstoffaufnahme

- Sauerstoff löst sich in Stahl in FeO .
- Im festen Zustand ist die Eisenlöslichkeit vernachlässigbar.
- Im flüssigen Zustand ist es jedoch beträchtlich. Bei einer eutektischen Temperatur von $1520\text{ }^{\circ}\text{C}$ beträgt sie etwa $0,18\%$.



Gleichgewichts-Fe-FeO-Diagramm im Schmelzbereich



KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J.
Materiály a jejich svařitelnost. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009. s. 49.



Sauerstoffaufnahme

- ▶ Beim Schweißen wird die Löslichkeit von Sauerstoff in Eisen durch die jeweilige Schweißtechnologie bestimmt.
- ▶ Das sauerstoffacetylenneutrale Flammsschweißen liegt im Bereich von 0,03% bis 0,05% bei einem mittleren Gehalt von 0,20% FeO, was der Sättigung von reinem Eisen mit Sauerstoff entspricht 900 °C.
- ▶ Beim Lichtbogenschweißen wird der Sauerstoffgehalt hauptsächlich durch die Art und Dicke der Verpackung, die Intensität des verwendeten Stroms und die Länge des Lichtbogens beeinflusst.
- ▶ Für saure und rutile Verpackungen variiert der Sauerstoffgehalt des Schweißgutes zwischen 0,05% und 0,1%..
- ▶ Bei Basislegierungen liegt der Sauerstoffgehalt des Schweißgutes unter 0,05%.



Sauerstoffaufnahme

- ▶ Sauerstoff beeinflusst die mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit davon, ob er in Stahl gelöst ist oder in Form von Einschlüssen in Stahl vorliegt.
- ▶ Im gelösten Zustand wirkt Sauerstoff sofort auf die mechanischen Eigenschaften ein.
- ▶ Mit zunehmendem Sauerstoffgehalt nimmt die Festigkeit und Härte des Schweißgutes ab.
- ▶ Die Duktilität ändert sich wenig. Die Kerbzähigkeit nimmt stark ab.
- ▶ Wenn Sauerstoff in Form von Einschlüssen (Oxiden) im Schweißgut enthalten ist, werden die Schweißverbindungen reduziert.
- ▶ Der Sauerstoffgehalt im Schweißgut kann reduziert werden, indem dem Schweißgut Elemente mit hoher Sauerstoffaffinität zugefügt werden, sogenannte Desoxidationselemente. Dies sind hauptsächlich Si, Mn, Al und Ti.



Wasserstoffaufnahme

- ▶ Wasserstoff wird ebenso wie Sauerstoff beim Schweißen vom Stahl absorbiert (absorbiert).
- ▶ Ihre Quelle kann die Umgebungsatmosphäre sein oder häufiger die Feuchtigkeit der Elektroden oder Flüsse.
- ▶ Die Gefahr der Absorption von Wasserstoff im Schweißgut ist umso größer, je mehr die Beschichtung der Elektrode oder des Flussmittels Wasser aus der umgebenden Atmosphäre absorbiert, es ist hygroskopisch.
- ▶ Daher müssen die beschichteten Elektroden und Flussmittel vor dem Schweißen getrocknet werden.
- ▶ Für eine perfekte Trocknung der Basiselektroden empfiehlt der Hersteller $100^{\circ}\text{C} / 1\text{h} + 300^{\circ}\text{C} - 350^{\circ}\text{C} / 2\text{h}$.



Wasserstoffaufnahme

- ▶ Die rutilen und sauren Elektroden werden bei niedrigeren Temperaturen getrocknet, um eine Zersetzung der Komponenten der Verpackung während des Trocknens zu vermeiden.
- ▶ Nach dem Trocknen müssen die Elektroden vor dem Gebrauch auf einer bestimmten Temperatur gehalten oder innerhalb einer bestimmten Zeit, normalerweise 4 Stunden, verbraucht werden.
- ▶ Die vorgeschriebene Aufrechterhaltungstemperatur liegt im Bereich von 80 ° C bis 100 ° C.
- ▶ Die Flussmittel werden je nach Typ in einem Temperaturbereich von 200 ° C bis 800 ° C getrocknet.
- ▶ Der Hersteller des Zusatzstoffes ist verpflichtet, den gewünschten Trocknungsplan auf der Verpackung des Zusatzstoffes oder in einer anderen Form vorzugeben.



Wasserstoffaufnahme

- Die Wasserstoffquelle im Schweißgut kann auch Fett, organische Rückstände oder Korrosionsprodukte auf den Schweißflächen sein.
- Bei in der Flasche verbleibendem Kondensatwasser kann die Wasserstoffquelle auch ein Schutzgas sein.



Wasserstoff kann in zwei Formen enthalten sein :

- ▶ im molekularen Zustand (H_2) als Gaseinschlüsse an den Korngrenzen oder in Gitterfehlern (oft unter hohem Druck) oder auch in Blasen in Form von CH_4 und H_2O ,
- ▶ als Wasserstoffion H^+ (Proton) interstitial im Eisengitter gelöst.



Wasserstoffaufnahme

- ▶ Die charakteristische Eigenschaft des Wasserstoffions H^+ ist seine leichte Diffusion durch das Eisengitter auch bei normaler Temperatur.
- ▶ Die Löslichkeit von Wasserstoff in Eisen gemäß der Norm ČSN EN ISO 3690 wird am häufigsten in ml von 100 g⁻¹ Schweißgut angegeben.
- ▶ In alpha-Eisen können maximal 5 ml 100 g Wasserstoff gelöst werden, in gamma-Eisen maximal 8 ml 100 g Wasserstoff.
- ▶ In überhitztem Schweißgut bei 1800 °C von 33ml je 100g.
- ▶ Der Unterschied in der Löslichkeit von Wasserstoff im Schweißgut und in der festen Schweißnaht ist beträchtlich, und dieser Unterschied führt zu Problemen beim Schweißen von ferritischen Stählen, die die Diffusion von Wasserstoff verursachen.
- ▶ Entsprechend dem Gehalt an diffusionsfähigem Wasserstoff in der Schweißnaht bestimmen wir den Gehalt an Wasserstoff.



Niveaus des Wasserstoffgehalts

Diffusionswasserstoffgehalt (ml / 100 g Schweißgut))			Niveaus des Wasserstoffgehalts
	>	15	A
10	<	15	B
5	<	10	C
3	<	5	D
	<	3	E



Wasserstoffaufnahme

- ▶ Für grundlegende Lichtbogenschweißelektroden können die Schritte B bis D gemäß den Angaben des Elektrodenherstellers verwendet werden.
- ▶ Für Rutil- oder Cellulose-Elektroden sollte Schritt A verwendet werden. Für gefüllte Elektroden mit Flussmittel oder Metallfüllung können die Schritte B bis D gemäß der Herstellerklassifizierung verwendet werden.
- ▶ Die Kombination aus Draht und Flussmittel für das Flussschweißen kann in die Stufen B bis D eingeteilt werden, die typischste ist jedoch die Klasse C.
- ▶ Der Wasserstoffgehalt muss für jede Kombination aus Draht und Flussmittel bestimmt werden.
- ▶ Für Hilfsmaterialien zum Schweißen in Schutzatmosphären wird meistens die Stufe D verwendet.
- ▶ Die Einbeziehung dieser Additivmaterialien, aber auch einiger gefüllter Elektroden und basisch umhüllter Elektroden, in Stufe E erfordert eine besondere Bewertung (Messung).
- ▶ Das Plasmaschweißen sollte besonders bewertet werden.



Wasserstoffaufnahme

- ▶ Diffusiver Wasserstoff ist die Ursache für die Bildung von Poren in den Nähten, verursacht einen speziellen Defekt, "Fischaugen" genannt, und ist die Hauptursache für durch Kälte verursachte Rissbildung in Schweißnähten.
- ▶ Wenn sich die Schweißnaht verfestigt, nimmt die Löslichkeit von Wasserstoff rasch ab.
- ▶ Wasserstoff, der die Löslichkeitsgrenze bei einer bestimmten Temperatur überschreitet, wird aus dem Eisengitter gedrückt und auf losen Oberflächen gesammelt (Strukturfehler) und rekombiniert das Molekül H_2 mit Wasserstoff, während es das Volumen erhöht.
- ▶ Dieser Mechanismus führt zu Poren im "Fischaugen"-Schweißmetall, das in Schweißnähten bei hohen Volumina von diffusionsfestem Wasserstoff beim langsamen Abbremsen der geschweißten Struktur über die Elastizitätsgrenze hinaus auftritt.
- ▶ Sie sind daher in den zerstörungsfreien Prüfmethoden unmittelbar nach dem Schweißen nicht nachweisbar.
- ▶ Fischaugen beeinträchtigen die mechanischen Eigenschaften von Schweißverbindungen im Bereich beanspruchter Schweißkonstruktionen unterhalb der Elastizitätsgrenze nicht.



Wasserstoffaufnahme

- Blasen sind an Schweißnähten als weiße, wasserstoffinduzierte Risse mit kreisförmigen Formen mit Abmessungen von 1 mm bis 10 mm zu sehen.
- Meistens treten sie in Schweißnähten in der Nähe der Kompartimente auf, wo die Konzentration von Stellen für die Rekombination von Wasserstoff erhöht wird.
- Einsätze haben normalerweise eine dunkle Farbe auf den Bruchflächen, die sich von der weißen Oberfläche des kreisförmigen Risses abhebt.
- Das Ganze vermittelt den Eindruck eines Fischeauges.



Wasserstoffaufnahme

- ▶ Der gefährlichste Defekt, der durch Wasserstoff in Schweißverbindungen verursacht wird, sind die kalten, wasserstoffinduzierten Risse, die manchmal als "Bruchbrüche" bezeichnet werden.
- ▶ Dieser Name spiegelt die Tatsache wider, dass die Bildung von kalten Wasserstoff-induzierten Rissen einige Stunden oder Tage nach dem Schweißen auftreten kann.
- ▶ Die Ursache für die Risse sind die Volumenänderungen bei der Rekombination von Wasserstoff, die zu starken lokalen Druck- und Spannungserhöhungen an Orten führen, an denen Wasserstoffrekombinationen auftreten.
- ▶ Die Summe der durch die Rekombination von Wasserstoff induzierten Spannungen und die durch den Schweißprozess induzierten Spannungen können ausreichend sein, um einen Kaltriss zu erzeugen.



Das Auftreten von Fehlern in Schweißverbindungen, die durch Wasserstoff verursacht werden, kann durch die folgenden Maßnahmen, die wir normalerweise miteinander kombinieren, beseitigt werden :

- a) unter Verwendung von Wasserstoffadditivmaterialien mit geringer Diffusion,
- b) perfekter Schutz des Schweißgutes vor der Umgebungsatmosphäre,
- c) Vorwärmen von Schweißnähten,
- d) durch Verwendung größerer Durchmesser zusätzlicher Materialien und hoher Werte für die Schweißstromstärke,
- e) Schweißen von Schweißverbindungen,
- f) Wärmebehandlung unterhalb der Ac1-Temperatur.



Stickstoffaufnahme

- ▶ In dem Schweißgut kommt Stickstoff hauptsächlich aus der umgebenden Atmosphäre ohne Schutz des Schweißbades vor.
- ▶ Dies kann durch die zu große Entfernung des Brenners vom Schmelzbad, die lange Bogenlänge, die geringe Menge an Schutzgas, die Verwirbelung des Gases in der Gasdüse usw. verursacht werden..
- ▶ Auch die Löslichkeit des Stickstoffs im Eisen ist temperaturabhängig.
- ▶ Flüssiges Eisen kann im Gleichgewicht bei 1800 ° C bis zu 0,04% Stickstoff aufnehmen.
- ▶ Bei Eisentransformationen steigt die Löslichkeit von Stickstoff in Eisen.
- ▶ Im Bereich des Austenits nimmt die Löslichkeit von Stickstoff in Eisen im Gegensatz zu Wasserstoff mit zunehmender Temperatur ab.



Stickstoffaufnahme

- ▶ Bei Umgebungstemperatur beträgt die Löslichkeit von Stickstoff in Eisen etwa 0,001%.
- ▶ Die neutralen Sauerstoff-Acetylenflammenschweißungen enthalten typischerweise bis zu 0,02% Stickstoff.
- ▶ Die durch Säure- und Rutilelektroden hergestellten Schweißnähte enthalten etwa 0,03% bis 0,04% Stickstoff.
- ▶ Die Schweißnähte der Basiselektroden bestehen zu etwa 0,02% aus Stickstoff.
- ▶ Bei der Verwendung von Schmelzflussmitteln beim Schweißen mit der 121-Technologie können wir einen Stickstoffgehalt im Bereich von ca 0,002 % až 0,003 %.
- ▶ Bei Schweißnähten aus gesinterten und keramischen Flussmitteln 0,003% bis 0,007%.



Stickstoffaufnahme

- ▶ Mit steigendem Stickstoffgehalt im Schweißgut steigen die Werte für R_e , R_m und HV10.
- ▶ Die Duktilität des Schweißgutes nimmt geringfügig ab und die Schlagwerte des Schweißgutes und die Schlagfestigkeit des Schweißgutes.
- ▶ Auch im Schweißgut können Eisennitride, die aus der gesättigten festen Lösung ausfallen, ein als "Stahlalterung" bezeichnetes Phänomen verursachen.