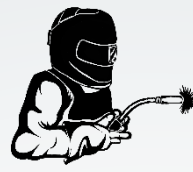




Mit finanzieller Unterstützung
durch das EU-Programm
Erasmus+



MODUL A

Einführung in das Metallschweißen

Wärmeeinflussbereich der Schweißverbindungen



Wärmeeinflussbereich der Schweißverbindungen

- ▶ Der Wärmeeinflussbereich (TOO) wird durch Schweißen gebildet.
- ▶ Beim Schweißen von Metallen und Legierungen ohne polymorphe Umwandlung (Cu, Ni, Al) ändert sich die Mikrostruktur in TOO nicht.
- ▶ Hier treten nur Teilstrukturänderungen, Rekristallisation oder Kornwachstum auf.
- ▶ Die Mikrostruktur ändert sich in TOO beim Schweißen von Stahl.



Die Transformation hat folgenden Einfluss auf:

1. die chemische Zusammensetzung von Stählen,
2. die ursprüngliche Mikrostruktur,
3. die Temperaturzyklen (Heizrate, Kühlrate).



Die partielle Kristallisationsbande, definiert durch die Temperaturen A_{c1} und A_{c3}

- ▶ Bei unlegierten kohlenstoffarmen Stählen mit ferritisch-perlitischer Struktur beginnt die Umwandlung von Perlit in Austenit nicht bei einer A_{c1} -Gleichgewichtstemperatur, sondern bei einer höheren Temperatur.
- ▶ Je höher die Temperaturhysterese, desto höher ist die Aufheizrate in der ersten Phase des Temperaturzyklus.
- ▶ Bei Erreichen der Übergangstemperatur wandelt sich der Perlit allmählich in Austenit um.
- ▶ Da diese Umwandlung von der Diffusionsgeschwindigkeit abhängt, ist es auch erforderlich, eine bestimmte Zeit entsprechend einer bestimmten Temperatur zwischen A_{c1} - A_{c3} teilweise zu transformieren.
- ▶ Daher findet die Umwandlung nicht gleichzeitig im gesamten Kornvolumen des Perlits statt.
- ▶ Aus dem bereits umgewandelten Austenit diffundiert der Kohlenstoff den umgebenden nicht transformierten Ferrit.



Die partielle Kristallisationsbande, definiert durch die Temperaturen A_{c1} und A_{c3}

- Der Effekt der Kohlenstoffdiffusion über die Korngrenzen hinaus sind auch die ursprünglichen ferritischen Körner.
- Abhängig von der erreichten Temperatur zwischen A_{c1} und A_{c3} können wir in der Struktur auch ein bestimmtes Volumen der ursprünglich nicht transformierten Struktur sehen, das hochmotiviert ist.
- Eine Folge dieser Änderungen sind die inhomogene Struktur in der Korngröße und die Umwandlungsprodukte nach dem Abkühlen.



Die partielle Kristallisationsbande, definiert durch die Temperaturen A_{c1} und A_{c3}

- Der unterschiedliche Charakter der Struktur hat in der temperaturbeheizten Zone A_{c1} - A_{c3} geschweißte geschweißte Stahlverbindung.
- Infolge des Abschreckens und des Abschreckens besteht die Anfangsstruktur normalerweise aus dem stark betroffenen Martensit.
- Verglichen mit der Ferrit-Perlit-Struktur weist der kompensierte Stahl eine gleichmäßigere Kohlenstoffverteilung auf.



Niederschlag in der Wärmeeinflusszone

- ▶ In dem von Wärme betroffenen Bereich treten beträchtliche Änderungen in der Ausfällung von Carbiden, Nitriden und Carbonitriden auf.
- ▶ In Kohlenstoffstahl-Baustählen können Nitride bei Temperaturen unter A_{c1} ausfallen.
- ▶ Die Ausfällung von $Fe_{16}N_2$ -Nitrid bei Umgebungstemperatur ist als Alterung von Stählen bekannt.
- ▶ Das Altern des Stahls kann auch bei Temperaturen von 200 °C bis 300 °C stattfinden, wenn freier Stickstoff in der Struktur vorhanden ist.
- ▶ Die maximale Löslichkeit von N in Eisen ist temperaturabhängig.
- ▶ Beim schnellen Abkühlen von TOO während des Schweißens entsteht daher eine gesättigte feste Lösung von N in Eisen-Alpha.



Niederschlag in der Wärmeeinflusszone

- Nach einigen Tagen kann das nitrierte Fe₁₆N₂-Nitrid aus der übersättigten festen Lösung ausfallen, was die Ursache für die Alterung ist.
- Die Festigkeitseigenschaften dieser Zone nehmen zu, ihre Plastizität nimmt jedoch ab.
- In der ersten Phase trennen sich N-Atome in Versetzungen und reduzieren ihre Mobilität.
- In der zweiten Stufe fallen die Fe₁₆N₂-Nitride auf den Versetzungen aus und in der dritten Stufe fallen die Nitride im gesamten Kornvolumen des Stahls aus.
- Dieses Phänomen ist heutzutage nicht mehr so gefährlich, da es mit den meisten metallurgischen Stählen bei den meisten Kohlenstoffstählen gelungen ist, den N-Gehalt im Stahl zu senken, oder freier Stickstoff ist an stabile Nitride gebunden, zB: AlN, TiN und dergleichen.



Im Fe-N-System können sich Nitride im Eisen niederschlagen :

- ▶ Fe_3N , Fe_6N_2 bei Umgebungstemperatur oder bis zu 200°C bis 250°C ,
- ▶ Fe_4N bis etwa 450°C .



Wärmeeinflussbereich der Schweißverbindungen

- Das Altern wird sich insbesondere durch die Erhöhung der Härte des von Wärme betroffenen Gebiets manifestieren.
- Mikrolegierte Stähle sind Legierungen, die mit Ti, Al, Nb und V in einer Menge von bis zu 0,15% legiert sind.
- Dies sind die Elemente, die aus kohlenstoffhaltigen und N-stabilen Carbonitriden (Al nur AlN-Nitrid) bestehen, die die Körnung von Stahl erweichen und den Stahl zerstreuen.
- Die Größe dieser Niederschläge beträgt 20 nm bis 100 nm.



Im Aufheizteil des Temperaturzyklus koagulieren diese Partikel zunächst (grob) und lösen sich bei Erreichen noch höherer Temperaturen:

- ➔ Titancarbide 1150 ° C
- ➔ Karbide von Niob 1150 ° C
- ➔ Vanadiumkarbide 1100 °C
- ➔ Aluminiumnitride 1350°C



Niederschlagsprozesse in Schweißverbindungen :

1. Erhöhen die Festigkeitseigenschaften und Feuerbeständigkeit (insbesondere die Ausscheidung kleiner Partikel des Typs MX in CrMoV-Stählen)
2. Binden von freiem Stickstoff, wodurch die Gefahr des Alterns von Schweißverbindungen reduziert wird,
3. Reduzieren die Plastizität von Schweißverbindungen



Wärmeeinflussbereich der Schweißverbindungen

- ▶ Es ist daher besonders auf die Schweißart der Temperatur während des Schweißvorgangs zu achten, insbesondere auf die Wärmebehandlung von Schweißverbindungen nach dem Schweißen.
- ▶ Die Anlasstemperatur muss so gewählt werden, dass optimale Festigkeit und plastische Eigenschaften der Schweißverbindung erreicht werden.
- ▶ Wenn die Schweißnaht den gefällten Stahl mit einer niedrigen Temperatur verbindet, können wir den Gleichgewichtszustand der Mikrostruktur nicht erreichen.



Wärmeeinflussbereich der Schweißverbindungen

- ▶ Die plastischen Eigenschaften der Schweißverbindung sind gering und können durch sekundäres Aushärten bei erhöhten Schweißarbeitstemperaturen weiter verringert werden.
- ▶ Sekundärhärtung wird durch weitere Ausfällung von Feststoffen aus der festen Lösung verursacht.
- ▶ Hohe Anlasstemperaturen erhöhen die plastischen Eigenschaften, verringern jedoch die Festigkeitseigenschaften von Schweißverbindungen.
- ▶ Hochtemperaturschweißverbindungen sind in der Regel nicht sekundär zu heizen.



Kornrauigkeit in der Überhitzungszone AUCH

- ▶ Nach vollständiger Umwandlung oder nach Umkristallisation in Metallen ohne polymorphe Umwandlung stehen die Körner aufgrund der Oberflächenspannung der Grenzen nicht im Gleichgewicht.
- ▶ Große Körner neigen dazu, auf Kosten kleiner Körner zu wachsen. Dies führt zu einer Kornaufrauung.
- ▶ Durch das Aufrauen des Kornes können Ausfällungen (Karbide oder Karbonitride von Legierungselementen) oder Einschlüsse an den Korngrenzen bis zu der Temperatur, bei der sie sich lösen, wirksam verhindert werden.
- ▶ Daher beobachten wir die Kornrauigkeit nur in der TOO-Überhitzungszone, in der die Ausfällungstemperaturen ausreichend hoch sind.
- ▶ Die Temperatur, bei der sich die Ausfällungen auflösen und das Korn signifikant zu wachsen beginnt, nennen wir die Temperatur der Überhitzung.



Kornrauigkeit in der Überhitzungszone AUCH

- ▶ Die Temperatur der Überhitzung hängt von der Art der Niederschläge an den Korngrenzen und deren Temperaturstabilität ab.
- ▶ Dies ist nicht bei allen Stählen der Fall.
- ▶ Am häufigsten werden Schweißbedingungen genannt, dh schnelle Temperaturänderungen in Abhängigkeit von der Zeit und kurze Zeiträume hoher Temperaturen (nur einige Sekunden) nach Überhitzungstemperaturen :
 - ▶ kohlenstoffarmer Stahl 1050 ° C,
 - ▶ niedriglegierter CrMoV-Stahl 1200 ° C,
 - ▶ mikrolegierter Stahl bis 1350 ° C



Grundtypen von Einschlüssen im Wärmeeinflussbereich der Schweißnaht

- ▶ Bei Stahl unterscheiden wir zwei Grundtypen von Einschlüssen - Oxide und Sulfide.
- ▶ Oxide entstehen bereits während des Schmelzens von Stahl während der Oxidationsperiode.
- ▶ Oxide gehen jedoch in die Schlacke über.
- ▶ Oxide sind in TOO sehr stabil und lösen sich auch bei höchsten einflussreichen Temperaturen nicht auf.
- ▶ Dispergierbare Oxide können die Korngrenzenbewegung verhindern und dadurch das Kornwachstum in der Überhitzungszone hemmen.



Grundtypen von Einschlüssen im Wärmeeinflussbereich der Schweißnaht

- ▶ Oxide können auch Keime bilden, wenn während der Transformation Austenitferrit ausgeschieden wird.
- ▶ Wenn Oxide jedoch einen höheren Anteil an FeO oder anderen niedrigschmelzenden Komponenten enthalten, können sie sich in der Überhitzungszone lösen.
- ▶ Dann tragen sie dazu bei, heiße Risse (Reibungsrisse) zu erzeugen.
- ▶ Niedrig schmelzende Oxide können auch Porenbildung im Schweißgut verursachen, bei dem das Schweißgut zum Beispiel beim Schweißen unter dem Flussmittel weitgehend ein Grundmaterial ist.



Grundtypen von Einschlüssen im Wärmeeinflussbereich der Schweißnaht

- ▶ Typisch sind Sulfide wie MnS mit einem Schmelzpunkt von 1610 °C oder FeS mit einem Schmelzpunkt von 988 °C .
- ▶ Sulfide können sich in der Überzugszone von TOO lösen, und die resultierende Schmelze dringt bis an die Korngrenzen vor und ist die metallurgische Ursache der Heißrissbildung von Stahl.
- ▶ Sulfide sind die häufigste Ursache für das Brechen des Stahls.
- ▶ Ähnliche Eigenschaften haben Carbosulfide und Sulfonitride.
- ▶ Der Einfluss von Sulfiden auf die Schweißbarkeit von Stählen ist daher ungünstig.
- ▶ Sulfide verursachen sowohl ein heißes Knistern als auch ein Lamellen- und Glühen des Glühens.



Bänder im Wärmeeinflussbereich und ihre Eigenschaften

- ▶ Partition der teilweisen Kristallisation
- ▶ Normalisierungszone des von Wärme betroffenen Gebiets
- ▶ Überhitzungszone



Partition der teilweisen Kristallisation

- ▶ Die Abnahme der Festigkeit im wärmebehandelten Bereich der Schweißverbindungen zeigt sich vor allem beim Schweißen von wärmebehandelten und thermomechanisch bearbeiteten Stählen.
- ▶ Eine geringere Festigkeitsabnahme kann auch bei anderen Stählen im TOO-Teilkristallisationsbereich bei Temperaturen knapp über A_c1 und im Grundwerkstoff beobachtet werden, der durch Schweißtemperaturzyklen knapp unter A_c1 beeinflusst wird.
- ▶ Der Grund ist ein hohes Maß an Mikrostruktur und Rekristallisation.
- ▶ In diesem Bereich erreichen wir die niedrigsten Werte von R_m , R_e und HV10 aus dem gesamten TOO der Schweißnaht, während die KCV, A5 und Z normalerweise die höchsten Werte des gesamten TOO sind.



Normalisierungszone des von Wärme betroffenen Gebiets

- ▶ In diesem Band, das auf Temperaturen von A_{c3} bis zur Überhitzungstemperatur zurückzuführen ist, kommt es im Erwärmungsteil des Schweißtemperaturzyklus zu keinem Rosten der austenitischen Körner, da die Temperatur des Einflusses niedriger ist als die Temperatur der Überhitzung.
- ▶ Es zeichnet sich durch Feinkorn aus und wird daher manchmal als Feinkorn-TOO bezeichnet.
- ▶ Die Abkühlraten im kühlenden Teil des Schweißtemperaturzyklus sind nur geringfügig höher als die Abkühlraten bei der Standardisierung des Grundmaterials vor dem Schweißen.
- ▶ Die Mikrostruktur dieses Bandes ist weniger trüb als in der Überhitzungszone.
- ▶ Daher sind die mechanischen Werte dieses Bandes vergleichbar oder etwas höher als im geschweißten standardisierten Grundmaterial.
- ▶ In dieser Zone wird das optimale Verhältnis von Festigkeit und plastischen Eigenschaften erreicht.



Überhitzungszone

- ▶ Es gibt zwei Faktoren im Überhitzungsbereich:
 - ▶ Hohe Materialsteifigkeit durch hohe Abkühlraten aufgrund der Austenitisierungstemperatur, Hohe Materialhärtung aufgrund hoher Abkühlraten durch Austenitisierungstemperatur, die zur Bildung übersättigter martensitisch-bainitischer Strukturen mit hoher Festigkeit und geringen plastischen Eigenschaften führen.
 - ▶ Ein Körnerkollaps, der zu einer Verringerung der Festigkeitseigenschaften und zu einer Verringerung der plastischen Eigenschaften führt.
- ▶ Die Umwandlungsverstärkung hat einen großen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften dieser Wärmeeinflusszone.
- ▶ Das Überhitzungsband zeichnet sich durch die höchsten Werte für R_m , R_e und HV10 aus der gesamten Wärmeeinflusszone des Schweißgutes aus.