

# **Thermisches Richten – Keine schwarze Magie Eigenspannung und Verzug, aber verständlich!**

Inhaltsverzeichnis und Waschzettel

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung**
- 2 Physikalische Kenngrößen und deren Einfluss auf Eigenspannung und Verzug**
  - 2.1 Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient (Längenausdehnungskoeffizient)
  - 2.2 Wärmeleitfähigkeit
  - 2.3 Spezifische Wärmekapazität
  - 2.4 Streckgrenze / Fließgrenze und Elastizitätsmodul
  - 2.5 Temperatur
    - 2.5.1 Augenblickstemperatur am Einzelort versus Gleichgewichtstemperatur
    - 2.5.2 Temperatur-Änderungsgeschwindigkeit
    - 2.5.3 Temperaturmessung
  - 2.6 Weitere Kennwerte
- 3 Angewandte Verformungstheorie**
  - 3.1 Verformung durch Biegen
  - 3.2 Verformung durch Schmelzschweißen (Schweißverzug)
  - 3.3 Verformung durch verhinderte Ausdehnung – das thermische Richten
    - 3.3.1 Entstehung des Richteffekts beim thermischen Richten
    - 3.3.2 Methoden der Wärmeerbringung
    - 3.3.3 Dehnungsbehinderung – Wie wird sie erreicht, reicht sie aus?
    - 3.3.4 Die Zeit als wichtiger Faktor beim Thermischen Richten mit verhinderter Ausdehnung
    - 3.3.5 Wenn einmal richten nicht reicht
  - 3.4 Verformung durch verhinderte Schrumpfung – Inversrichten
  - 3.5 Verformung durch freigesetzte Eigenspannungen
  - 3.6 Keine Verformung - der „festgeschweißte Verzug“
  - 3.7 Kein Verzug, aber Eigenspannungen
  - 3.8 Fast schon Magie: Richterfolgserhöhung durch Freisetzen von Eigenspannungen
  - 3.9 Die Dualität von Eigenspannung und Verzug
  - 3.10 Das programmierte Richten – Richten als selbstregulierender Prozess
- 4 Richten mit Hirn – Hinweise zur angewandten Verzugsbeseitigung**
  - 4.1 Verzugsmessung
    - 4.1.1 Ausrüstung
    - 4.1.2 Vorgehensweise zur Verzugsmessung
    - 4.1.3 Dokumentation – das Richtprotokoll
  - 4.2 Die Richtanweisung
  - 4.3 Werkstoffe und ihre Randbedingungen beim thermischen Richten
    - 4.3.1 Feinkornstähle
    - 4.3.2 Chromnickelstahl
    - 4.3.3 Duplexstahl
    - 4.3.4 Vergütungsstahl
    - 4.3.5 Panzerstahl
    - 4.3.6 Aluminium
  - 4.4 Was darf ich wo – Warum eine „Schädigung“ fallabhängig ist
    - 4.4.1 Arten der Schädigung
    - 4.4.2 Ort und Ausmaß der Schädigung
    - 4.4.3 Zulässigkeitskriterien
  - 4.5 Erfolgskontrolle und Qualitätssicherung
    - 4.5.1 Verzugsmessung „Danach“
    - 4.5.2 Sichtkontrolle
    - 4.5.3 Sonderfall metallurgisch empfindliche Werkstoffe
  - 4.6 Aus- und Weiterbildung des Personals zum Richten

## **5 Spezielle Grundlagen der Vermeidung von Eigenspannungen und Verzug**

- 5.1 Schweißfolge und Lage der Schweißnähte
  - 5.1.1 Die beste Schweißnaht ist die, ...
  - 5.1.2 Pilgern und unterbrechen
  - 5.1.3 Von innen nach außen
  - 5.1.4 „Größe der gleichzeitig schmelzflüssigen Zone“
  - 5.1.5 Baugruppe, Unterbaugruppe und Unter-Unterbaugruppe
  - 5.1.6 Mehrlagige Schweißnaht
- 5.2 Vorpositionieren und Vorspannen
  - 5.2.1 Vorpositionieren
  - 5.2.2 Vorspannen
  - 5.2.3 Hoffentlich nicht: Vorknicken
- 5.3 Wärmebudget für Anfänger: Das „freiwillige Vorwärmen“
- 5.4 Wärmebudget für Profis: Die Energieumlagerung im Schweißprozess
  - 5.4.1 Stand der Technik
  - 5.4.2 Aufgabenstellung
  - 5.4.3 Vorgehen bei Schweißverfahren mit direkter Stromeinstellung
  - 5.4.4 Schweißverfahren mit gekoppelter Stromeinstellung

## **6 Regulatorische Grundlagen**

- 6.1 Was es braucht und was es nicht braucht – die Grundlagen
- 6.2 Der „ungeregelte Bereich“
- 6.3 Vorreiter mit eigenem Regelwerk für das Richten: Der Schienenfahrzeugbau (DIN EN 15085)
- 6.4 Beispiel Stahlbau: DIN EN 1090-2 Anhang B
- 6.5 Sonstige geregelte Bereiche

## **7 Fallstudien – Angewandtes thermisches Richten**

- 7.1 Die Kopfplatte / Der einfache Winkelverzug
- 7.2 Richten von Chromnickelstahl
- 7.3 Richten im schweren Stahlbau
- 7.4 Spannen von Dünnsblech
- 7.5 Alles richtig gemacht und trotzdem verloren – Extremer Verzug im einbetonierten Zustand und die Rettung durch fachgerechtes Richten unter Zink
  - 7.5.1 Aufgabenstellung
  - 7.5.2 Durchführung
  - 7.5.3 Ursachenforschung
  - 7.5.4 Das Kind liegt im Brunnen – Abhilfe
  - 7.5.5 „Lessons learned – and hopefully not forgotten“
- 7.6 Träger überhöhen
  - 7.6.1 Die Aufgabe
  - 7.6.2 Mögliche Verfahren
  - 7.6.3 Thermisches Überhöhen in der Praxis
  - 7.6.4 Ansätze zur Effizienzverbesserung
  - 7.6.5 Der optimale Weg

## **8 Literaturhinweise**

## **9 Anhang**

- 9.1 Beispiele einer Richtanweisung
    - 9.1.1 Längsträger Fahrzeugbau aus S700MC
    - 9.1.2 Knick in einem Profilträger HEB200
  - 9.2 Energieverbrauchs-Rechenschema für Gasbrenner
    - 9.2.1 Energiekosten
    - 9.2.2 Verbrauchte Energiemenge
    - 9.2.3 Bruttoleistung der Flamme
    - 9.2.4 Volumetrischer Energieinhalt der Flamme
    - 9.2.5 Gas-Durchflussmenge eines Brenners
    - 9.2.6 Energiekosten pro kWh der Acetylen-Sauerstoff-Flamme
    - 9.2.7 Acetylenkosten pro kWh der Acetylen-Sauerstoff-Flamme
    - 9.2.8 Sauerstoffkosten pro kWh der Acetylen-Sauerstoff-Flamme
    - 9.2.9 Abschliessende Gedanken
-

