

# Schallemissionsmessung an Bauteilschweißungen aus 13CrMoV9-10 zum Nachweis von Spannungsrelaxationsrissen

Thomas LAUSCH \*, Thomas KANNENGIESSER \*, Jürgen BOHSE \*,  
Martin SCHMITZ-NIEDERAU \*\*

\* BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

\*\* Böhler Schweisstechnik Deutschland GmbH, Hamm

## Kurzfassung

In einer speziellen 3D-Prüfanlage zur wirklichkeitsnahen Simulation von komplexen Verhältnissen an Großproben wurden UP-Mehrlagenschweißungen am warmfesten Stahl 13CrMoV9-10 durchgeführt. Während der schweißtechnischen Fertigung und der Abkühlung auf Raumtemperatur wurden die Proben an der freien Ausdehnung und Schrumpfung gehindert. Die daraus resultierenden Reaktionsspannungen führten während der Wärmenachbehandlung zu Relaxationsrissen in der Wärmeeinflusszone. Das Spannungsarmglühen wurde bei einer Temperatur von 705°C und einer Haltezeit von 8 h durchgeführt. Während der Aufheiz- und Abkühlphasen wurde die thermische Ausdehnung der Probe über die 3D-Prüfanlage kompensiert und damit das Spannungsniveau bis zum Erreichen der maximalen Glühtemperatur aufrechterhalten. Nach Erreichen der Glühtemperatur konnte die Probe relaxieren. Der Einsatz der Schallemissionsmessung ermöglichte es die Entstehung von Spannungsrelaxationsrisse, erstmalig online, nachzuweisen. Durch Synchronisierung der Schallemissionsereignisse mit den Messdaten der 3D – Prüfanlage wurde der kritische Temperaturbereich für das Auftreten von Spannungsrelaxationsrissen bestimmt. Die Rissinitiierung findet im Temperaturbereich zwischen 350°C - 500°C statt. Aussagen über das Risswachstum können auf Grund der ungünstigen Versuchsbedingungen, mit Emission von Störgeräuschen, nicht getroffen werden.

## Schallemissionsmessung an Bauteilschweißungen aus 13CrMoV9-10 zum Nachweis von Spannungsrelaxationsrissen

T. Lausch, T. Kannengiesser, J. Bohse  
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

M. Schmitz-Niederau  
Böhler Schweisstechnik Deutschland GmbH, Hamm

### Gliederung

- Einleitung / Motivation
- Versuchsaufbau und -durchführung
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick



Quelle: <http://www.is.mpg.de>

*„Die Umwandlung erfolgte unter einem deutlich hörbaren Geräusch, dessen Klang dem bekannten Zinngeschrei ähnlich war. Auch im weiteren Verlauf wurde noch eine Reihe von kleineren Sprüngen beobachtet, die ebenfalls von einem entsprechend schwächeren Geräusch begleitet waren.“*

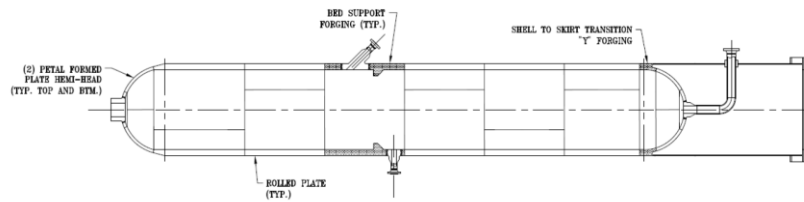
Quelle: E. Scheil, „Über die Umwandlung des Austenits in Martensit in gehärtetem Stahl“. Zeitschrift für anorganische Chemie, Bd. 183(1) (1929), S. 98–120. ISSN: 0372-7874. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/zaac.19291830107>.



Quelle: [http://www.deutschebp.de/liveassets/bp\\_internet/germany/STAGING/home\\_assets/images/raffinerie\\_verarbeitung/raffinerie\\_V-22-053\\_HighRes.jpg](http://www.deutschebp.de/liveassets/bp_internet/germany/STAGING/home_assets/images/raffinerie_verarbeitung/raffinerie_V-22-053_HighRes.jpg)



Quelle: [http://www.dillinger.de/dh/images/teaser/3\\_referenzen\\_2\\_3\\_druckbehälter\\_kesselbauauswahl\\_Haradh1\\_1.jpg](http://www.dillinger.de/dh/images/teaser/3_referenzen_2_3_druckbehälter_kesselbauauswahl_Haradh1_1.jpg)



Quelle: Les Antalffy and Richard Whipple, THE USE OF VANADIUM MODIFIED CHROME MOLYBDENUM STEEL PLATES IN PRESSURE VESSEL FABRICATION, DILLINGER HÜTTE GTS 16-17 September 2009



Schweißen der Ringsegmente

Quelle: Giacomo Fossataro, Fabrication of heavy wall reactors made in CrMo(V) plates, DILLINGER HÜTTE GTS 16-17 September 2009



Schweißen d

Plattierung

Quelle: Giacomo Fossataro, Fabrication of heavy wall reactors made in CrMo(V) plates, DILLINGER HÜTTE GTS 16-17 September 2009

13.09.2013

T. Lausch - 19. Kolloquium Schallemission

7



Schweißen d

Plattierung

Ultraschallprüfung (100 %)

Quelle: Giacomo Fossataro, Fabrication of heavy wall reactors made in CrMo(V) plates, DILLINGER HÜTTE GTS 16-17 September 2009

13.09.2013

T. Lausch - 19. Kolloquium Schallemission

8



Schweißen

Plattierung

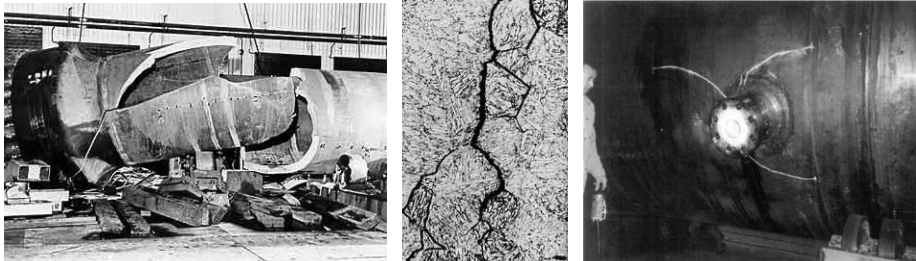
Ultraschallprüfung (100 %)

Wärmebehandlung

Quelle: Giacomo Fossataro, Fabrication of heavy wall reactors made in CrMo(V) plates, DILLINGER HÜTTE GTS 16-17 September 2009

Spannungsrelaxationsrisse (**Stress Relief Cracking**)

- Interkristalline Risse innerhalb der WEZ oder der Schweißnaht welche während der Wärmenachbehandlung oder im Hochtemperaturbetrieb auftreten
- SRC ist an technologische Abläufe gebunden, in denen durch eine entsprechende Temperaturführung zunächst in Lösung gegangene Ausscheidungen durch Wiedererwärmung erneut ausgeschieden werden
- Für das Auftreten von SRC sind hinreichend hohe Bauteilspannungen erforderlich



Quellen: Bild l. u. m.: <http://www.theiwmumbai.8m.com/defects7.htm>, Bild r.: Les Antalffy and Richard Whipple, THE USE OF VANADIUM MODIFIED CHROME MOLYBDENUM STEEL PLATES IN PRESSURE VESSEL FABRICATION, DILLINGER HÜTTE GTS 16-17 September 2009

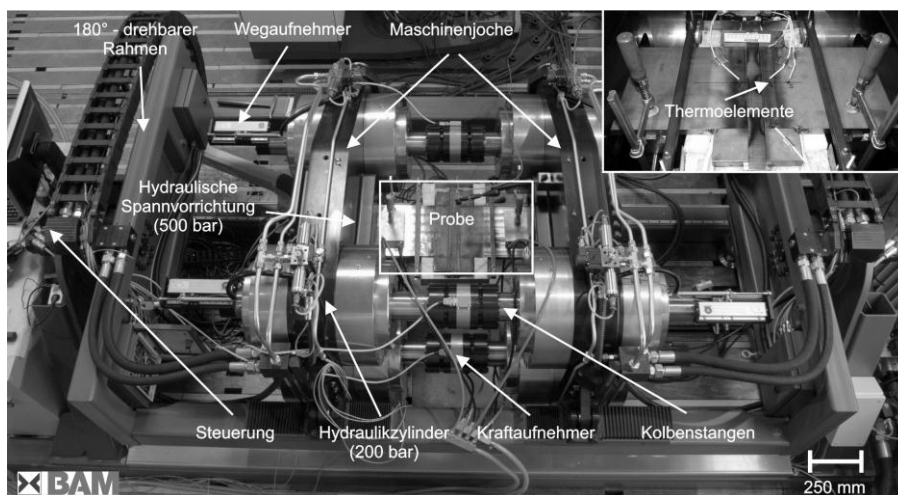
- Untersuchung des Einflusses der Schweißparameter auf die resultierende Eigenbelastung einer Bauteilschweißung
- Differenzierte Betrachtung und Bewertung der entstehenden Kräfte, Momente und Spannungen
- Gezielte Erzeugung von Spannungsrelaxationsrissen im Laborversuch
- Bestimmung des kritischen Temperaturbereichs durch In-situ Beobachtung der Rissentstehung mittels Schallemissionsmessung

- Untersuchung des Einflusses der Schweißparameter auf die resultierende Eigenbelastung einer Bauteilschweißung
- Differenzierte Betrachtung und Bewertung der entstehenden Kräfte, Momente und Spannungen
- Gezielte Erzeugung von Spannungsrelaxationsrissen im Laborversuch
- Bestimmung des kritischen Temperaturbereichs durch In-situ Beobachtung der Rissentstehung mittels Schallemissionsmessung



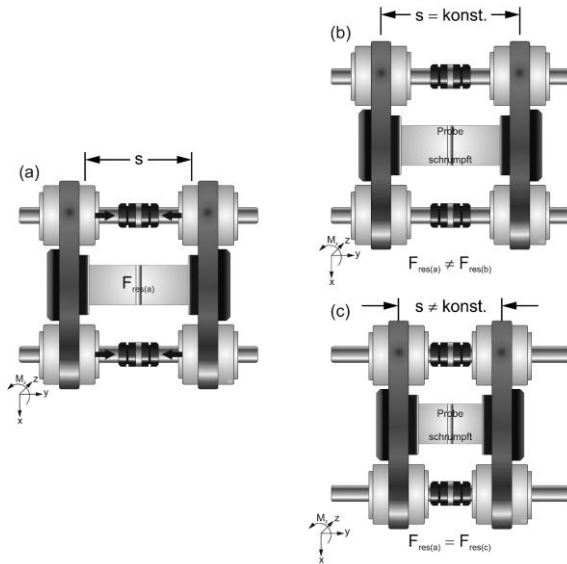
## Versuchsaufbau und -durchführung

### 3D – Prüfeinrichtung (2MN)





## Regelung der 2 – MN Prüfeinrichtung



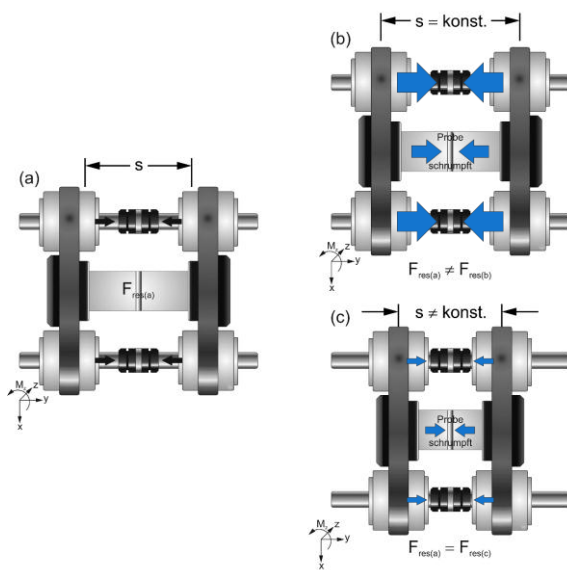
- a) Ausgangslage
  - Probe ist eingespannt
  - Lage bzw. Kraft sind ausgeregelt
- b) Lageregelung
  - Weg = konst.
- c) Kraftregelung
  - Kraft = konst.

13.09.2013

T. Lausch - 19. Kolloquium Schallemission

15

## Regelung der 2 – MN Prüfeinrichtung



- a) Ausgangslage
  - Probe ist eingespannt
  - Lage bzw. Kraft sind ausgeregelt
- b) Lageregelung
  - Weg = konst.
- c) Kraftregelung
  - Kraft = konst.

13.09.2013

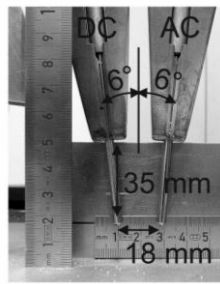
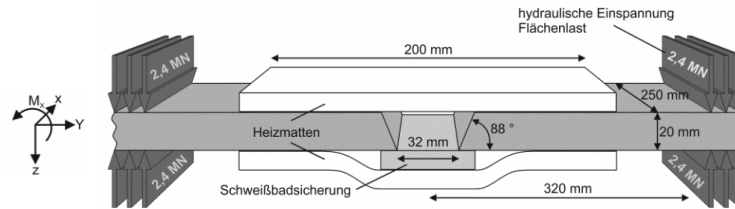
T. Lausch - 19. Kolloquium Schallemission

16

## Versuchsparameter - Schweißen



### Schweißnahtvorbereitung, Brennerkonfiguration und Schweißparameter



- DC/AC (Brennerstellung: 6° / 6°)
- Freie Elektrodenlänge: 35 mm
- Elektrodenabstand: 18 mm
- DC = 30 V / 600 A
- AC = 32 V / 550 A
- Schweißgeschwindigkeit:  
0,47 m/min – 1,05 m/min
- Streckenenergie:  
20 kJ/cm – 50 kJ/cm
- Vorwärm- und Zwischenlagen-  
temperatur: 180 °C – 260 °C

13.09.2013

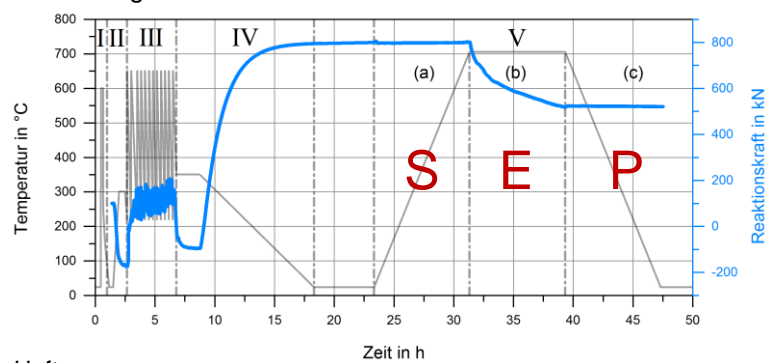
T. Lausch - 19. Kolloquium Schallemission

17

## Wärmeführung



### Temperaturführung während des Schweißens und der Wärmebehandlung



- I: Heften
- II: Vorwärmen
- III: Schweißen
- IV: Wasserstoffarmglühen
- V: Spannungsarmglühen - Aufheizen (a), Halten (b), Abkühlen (c)

13.09.2013

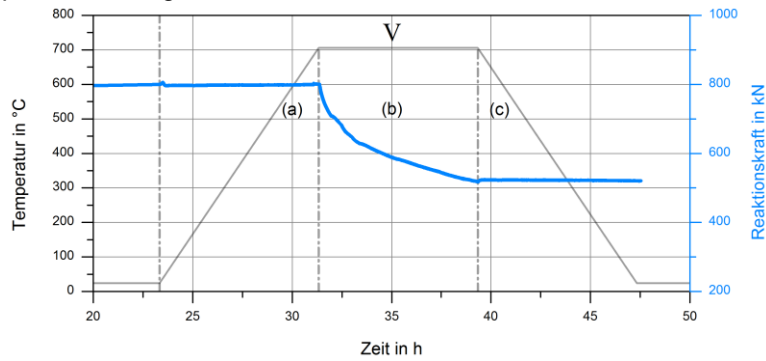
T. Lausch - 19. Kolloquium Schallemission

18

## Wärmeführung



### Temperaturführung während des Schweißens und der Wärmebehandlung



- Aufheizen des Schweißnahtbereiches auf 705°C mit einer Heizrate von 60°C/h. Regelungsart: "Kraftregelung"
- Halten auf Glühtemperatur von 705°C für 8 h. Regelungsart: "Wegregelung"
- Abkühlen auf Raumtemperatur mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 60°C/h. Regelungsart: "Kraftregelung"

13.09.2013

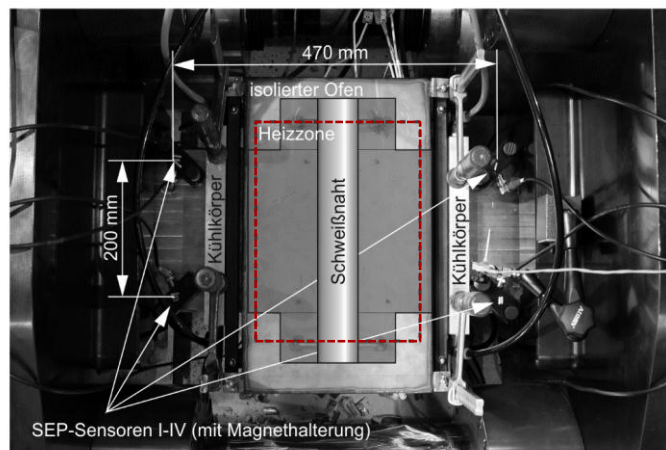
T. Lausch - 19. Kolloquium Schallemission

19

## Schallemissionsanalyse



### Versuchsaufbau und Positionierung der Sensoren

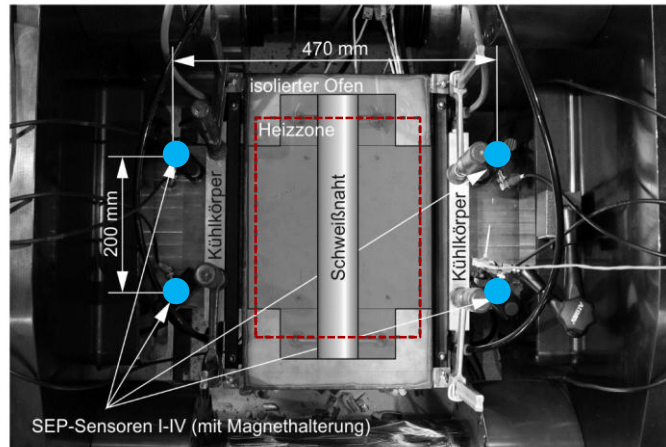


13.09.2013

T. Lausch - 19. Kolloquium Schallemission

20

### Versuchsaufbau und Positionierung der Sensoren



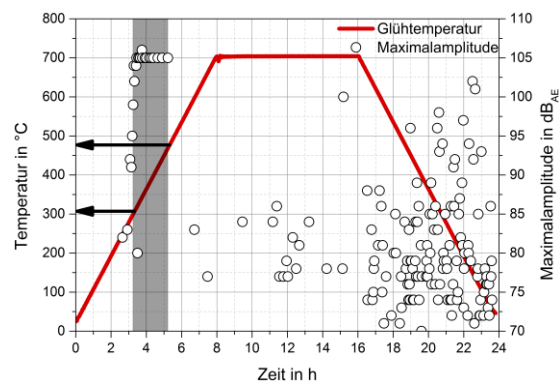
### Konfiguration der Schallemissionsanalyse

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Messsystem:               | PAC DISP™-4, 8 Messkanäle                               |
| Sensortyp:                | 4 x VS150-RICa  |
| Ankopplungsmedium:        | Kupferpaste (AKS 2000 COPA)                             |
| Befestigungsmittel:       | Magnethalter  |
| Vorverstärkung:           | 34 dB <sub>AE</sub> im Sensor integriert                |
| Abtastrate:               | 5 MHz   |
| Auswerteschwelle:         | 70 dB <sub>AE</sub>                                     |
| Schallemissionsparameter: | Maximalamplitude der Signale aus der planaren 2D-Ortung |
| Externe Parameter:        | Temperatur in °C, Reaktionskraft in kN                  |

## Ergebnisse

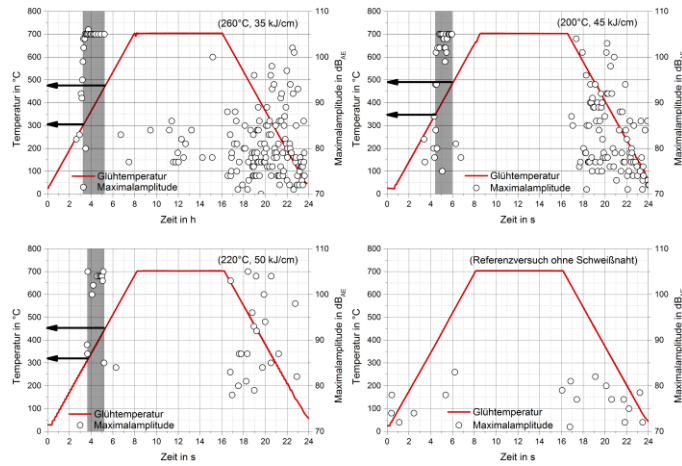
### Schallemissionsanalyse

Schallpegel der lokalisierten Schallemissionsereignisse (First Hits) aus der planaren 2D-Ortung, Schweißparameter: 260°C / 35 kJ/cm



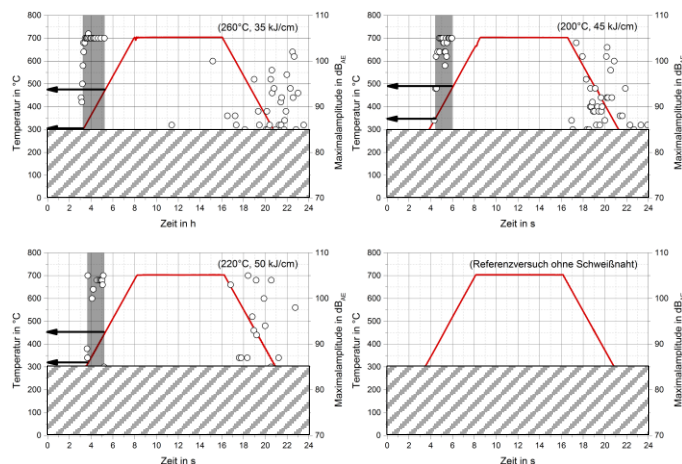
- Rissinitierung in der Aufheizphase
- Kritischer Temperaturbereich: 305°C – 480°C
- Signalstärke überschreitet den Messbereich der Sensoren

## Schallpegel der lokalisierten Schallemissionsereignisse



- Kritischer Temperaturbereich: 300°C – 500°C
- Keine Ereignisse (Risse) im ungeschweißten Referenzversuch

## Schallpegel der lokalisierten Schallemissionsereignisse



- Kritischer Temperaturbereich: 300°C – 500°C
- Keine Ereignisse (Risse) im ungeschweißten Referenzversuch

## Spannungsrelaxationsrisse



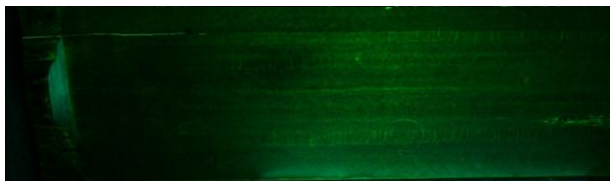
Magnetpulverprüfung

13.09.2013

T. Lausch - 19. Kolloquium Schallemission

27

## Spannungsrelaxationsrisse



Magnetpulverprüfung

13.09.2013

T. Lausch - 19. Kolloquium Schallemission

28



## Spannungsrelaxationsrisse



Magnetpulver



Querschliff, Makroaufnahme

13.09.2013

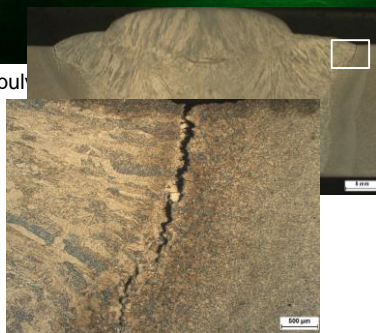
T. Lausch - 19. Kolloquium Schallemission

29

## Spannungsrelaxationsrisse



Magnetpulver



WEZ, Mikroaufnahme

13.09.2013

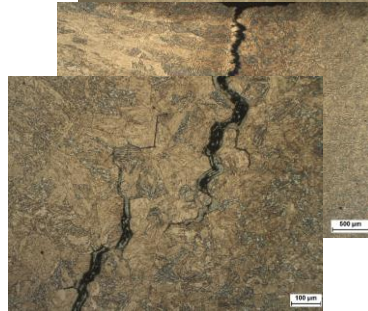
T. Lausch - 19. Kolloquium Schallemission

30

# Spannungsrelaxationsrisse



Magnetpulv

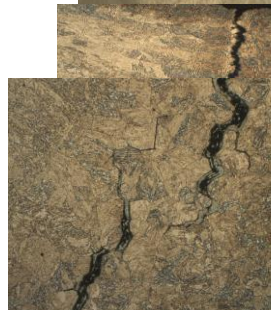


Interkristalliner Riss

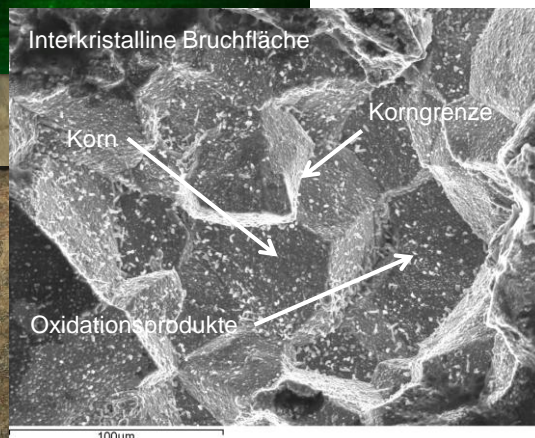
# Spannungsrelaxationsrisse



Magnetpulv



Interkristalliner Riss



Bruchfläche, REM

## Zusammenfassung und Ausblick

### Zusammenfassung



- Anwendung der Schallemissionsmessung zur in-situ-Detektion von Spannungsrelaxationsrissen im simulierten Bauteilversuch
- Rissinitiiierung während der Aufheizphase
- Der kritische Temperaturbereich für Spannungsrelaxationsrisse liegt zwischen 300°C – 500°C
- Metallographischer und fraktographischer Nachweiß von Spannungsrelaxationsrissen
- Keine Detektion von Rissen im ungeschweißten Referenzversuch
- Ortungsgenauigkeit der Ereignisse ist Aufgrund des hohen Rauschens sehr gering

- Modifizierung der Schweißnahtgeometrie (Tulpennaht mit Steg und keramischer Badstützte)
- Klärung des Versagensmechanismus im Temperaturbereich von 350°C – 550°C
- Einsatz der SEP an geschweißten U-Nut Proben mit hoher Schrumpfbehinderung in Schweißnahtlängsrichtung zur Detektion von Querrissen im Schweißgut
- Einsatz der SEP im Zeitstandversuch an geschweißten Großproben

**Vielen Dank!**