WERKSTOFFSERVICE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

W.S. Werkstoff Service GmbH
Katernberger Str. 107 | 45327 Essen
T. +49 201 316844-0 | F. +49 201 316844-29
info@werkstoff-service.de | www.werkstoff-service.de

WERKSTOFFSERVICE
MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

Schadensanalyse nach VDI 3822 an wasserstoffgeschädigten Bauteilen

- Fallbeispiele -

Andreas Triebels, M.Sc., W.S. Werkstoff Service GmbH, Essen

WERKSTOFFSERVICE
MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

- W.S. Werkstoff Service GmbH
- Gegründet in 2007
- Inhabergeführt
- Standort Essen Katernberg (Zeche Zollverein)
- 38 Mitarbeiter in 5 Abteilungen, darunter Werkstoffprüfer, Dozenten, Metallographen, Ingenieure, NaturwissenschaftlerInnen

EXPERTCENTER
W.S. WERKSTOFF SERVICE

Akkreditierte Inspektionsstelle (ISO/IEC 17020)
- Schadensanalyse nach VDI 3822
- Konformitätsbewertungen von Produkten
- Konformitätsbewertungen von Prozessen

MATERIALTESTCENTER
W.S. WERKSTOFF SERVICE

Akkreditiertes Prüflabor (ISO/IEC 17025)
- Mechanisch-technologische Prüfung
- Zerstörungsfreie Prüfung
- Koordinatenmesstechnik

TRAININGCENTER
W.S. WERKSTOFF SERVICE

Zertifizierte Ausbildungsstätte (ISO 9001)
- Werkstofftechnik, Wärmebehandlung
- ZP, Metallographie, Spektrometrie
- ZfP (anerkannte Ausbildungsstätte der DGZfP)

RAILWAYCENTER
W.S. WERKSTOFF SERVICE

ZfP-Kompetenzstelle (DIN 27201-7)
- Beratung, Prüfanweisungen, Regelwerke
- ZfP-Prüfaufsichten
- Werkstätten-Anerkennungen europaweit

W.S. WERKSTATT
W.S. WERKSTOFF SERVICE

CNC-Bearbeitungstechnik inkl. CAD-Wasser-strahlschneiden u.a. für:
- Profil- und Konturlehren
- Referenzkörper

WERKSTOFFSERVICE
MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

Literatur

- J. Hicking. (2001). Systematische Beurteilung von Schadensfällen (5 Ausg.). (G. Lange, Hrsg.) Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH.
- Pohl, M. (2014). Hydrogen in Metals: A Systematic Overview. *Practical Metallography, Vol. 51, No 4*, S. 291-305. doi:10.3139/147.110295
- W.S. Spezial Seminar „Technische Schadensanalyse 2 – Korrosion“
- W.S. Seminar „Grundlagen Schadensanalyse“
- VDI-Richtlinienreihe 3822: Durchführung von Schadensanalysen
- Wendler-Kalsch, E., & Gräfen, H. (1998, Nachdruck 2012). *Korrosionsschadenskunde.* Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Wie kommt der Wasserstoff in den Stahl?

- Erschmelzen, Schweißen (z.B. Feuchtigkeit), Galvanik, Beizen, Wärmebehandlung in Gasatmosphäre, Kathodische Polarisation, Korrosion (Kath. Reaktion)

Welche Eigenschaften besitzt der Wasserstoff im Stahl?

- Hohe Diffusionsgeschwindigkeit ($\dot{H}_{Diff}(RT) = \dot{C}_{Diff}(1000°C)$), atomar im Gitter gelöst, in Fallen gefangen (getrapped), molekular rekombiniert in Hohlräumen, Bildung von Methan (CH_4) mit Kohlenstoff

Wie wirkt der Wasserstoff im Stahl?

- Versprödung durch Anreicherung in elastisch aufgeweiteten Gitterbereichen (Schwächung der Bindungskräfte und/oder lokale frühzeitige Gleitung auf mikroskopischer Ebene), Umschlag von duktilem zu sprödem Bruchverhalten, Innenrissbildung durch Methanbildung (nur weiche Stähle)

Welche Schäden entstehen?

- Verzögerter Bruch, Fischaugen, Flocken, Kaltrisse
- Wasserstoffinduzierte (Kathodische) Spannungsrisskorrosion
- Beizblasen, Wasserstoffrisse (HIC)

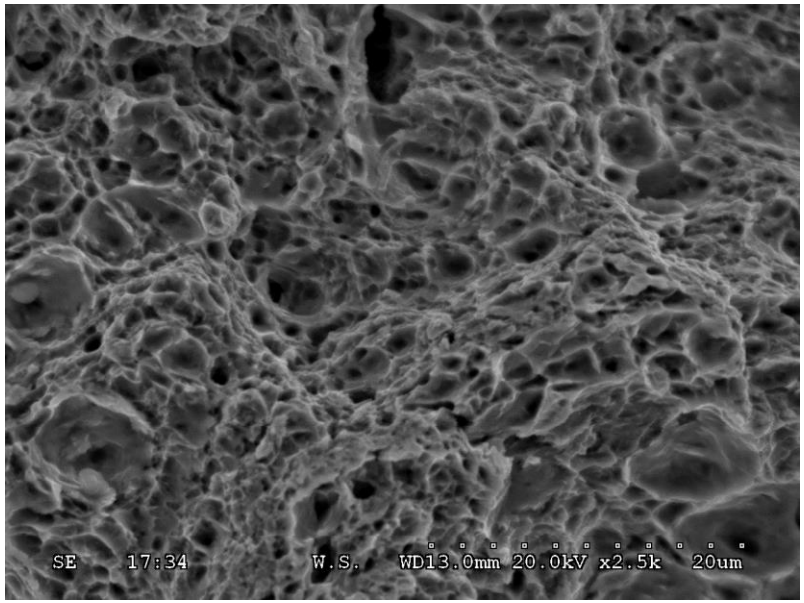
Erscheinungsbild im REM

- Fiederartige Spaltflächen (transkristallin durch Martensitnadeln) bzw. interkristallines Bruchbild
- Klaffende Korngrenzen (ehemalige Austenitkörner)
- Freigelegte Kornflächen mit Mikroduktilitäten (Krähenfüße) und feinen Poren

WERKSTOFFSERVICE
MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

Fallbeispiel 1: Kathodische Spannungsrisskorrosion an 12.9 Schrauben

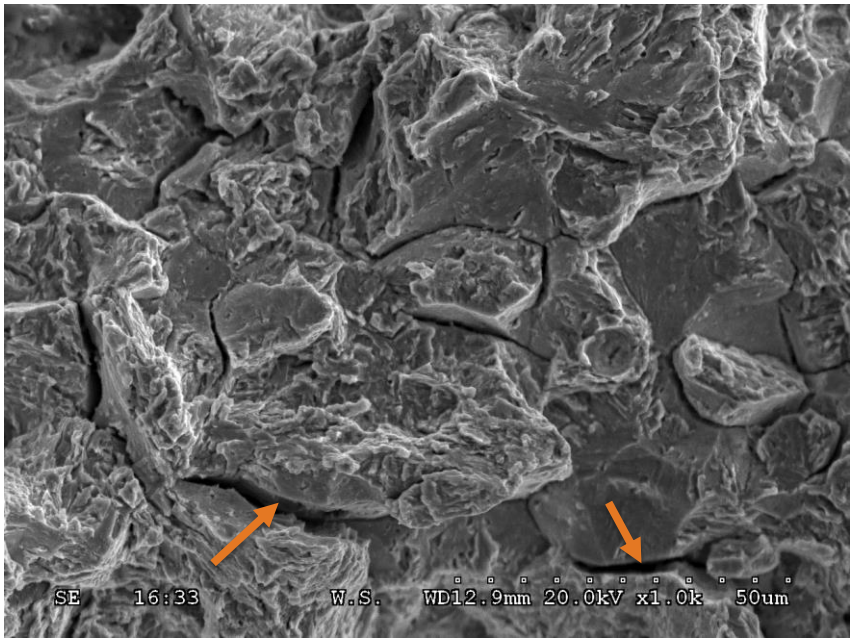
Bruch von verzinkten hochfesten Schrauben (12.9) im Einsatz in einer Schachtanlage



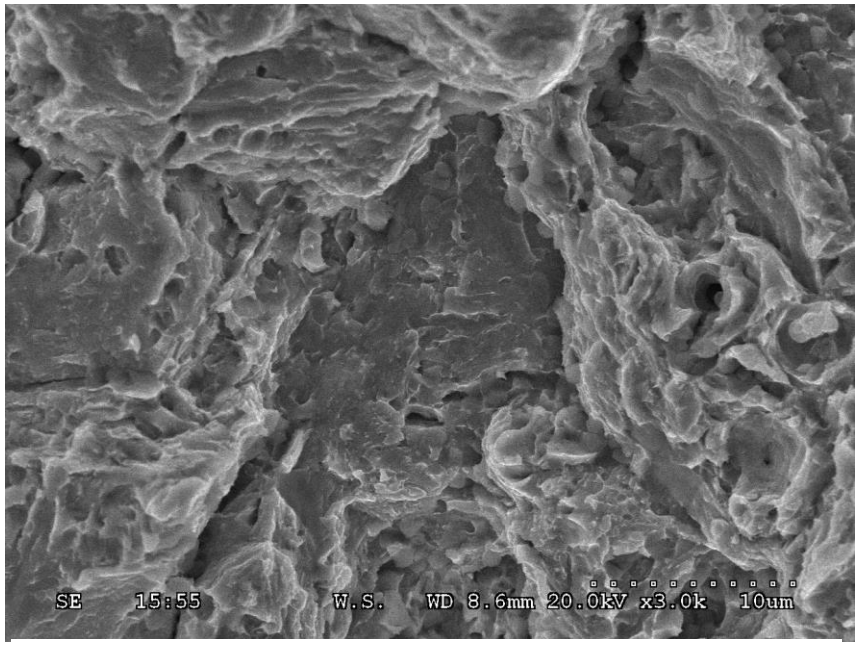
Duktiler Wabenbruch an getesteter intakter Schraube (Zugversuch)

Quelle: W.S. Gutachten

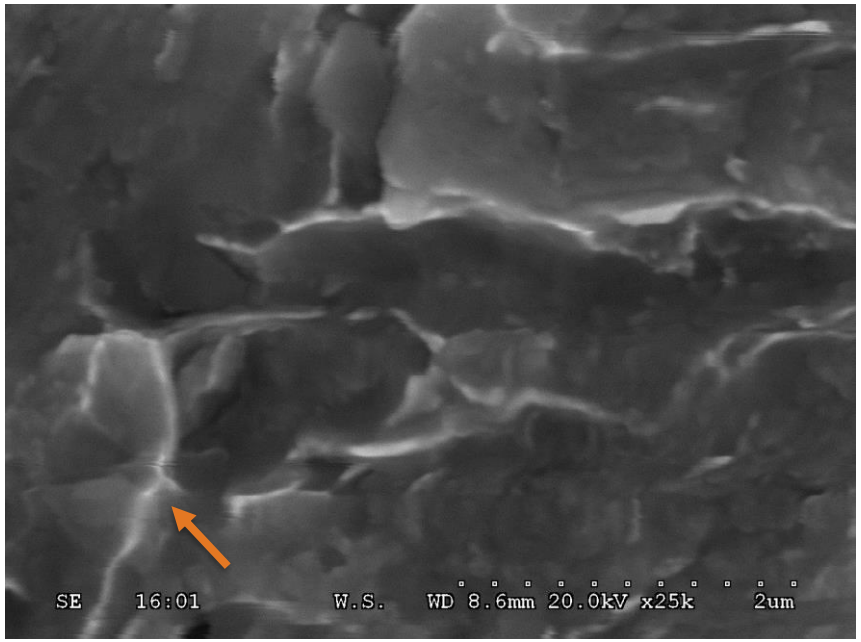
Auffällige Bruchkanten („Schießscharten“) am Rand der Schraube. Bruchbeginn im Gewindegrund



Wasserstoffinduzierter Bruch – teils transkristallin, teils interkristallin mit klaffenden Korngrenzen (Pfeile)



„Gefiederte“ transkristalline Bruchmorphologie (Martensitplatten)



Hochstehende, duktile Grate („Krähenfüße“)

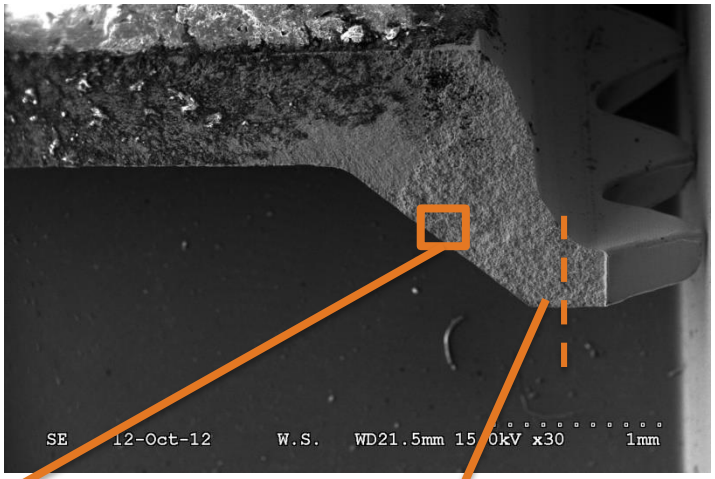
Schadensursache: Wasserstoffeintrag entweder durch die Vorbehandlung beim Verzinken (Beizen, Entfetten) oder durch Korrosionsprozesse der Schrauben im eingebauten Zustand

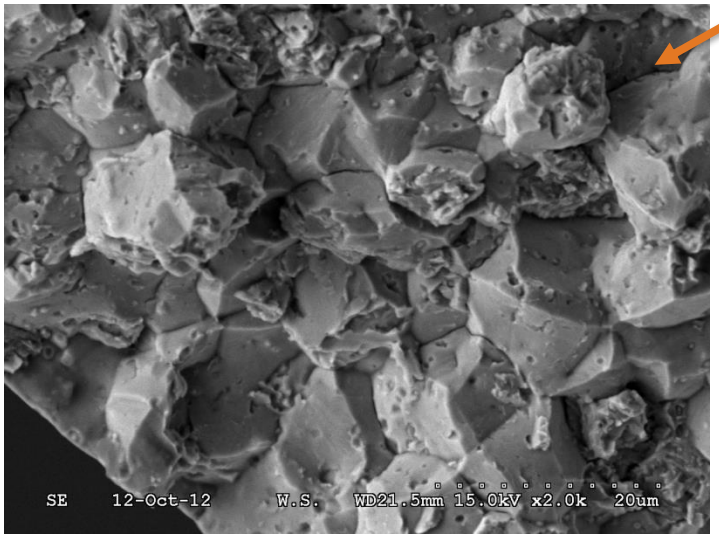
Fallbeispiel 2: Spannungsrisskorrosion im Kopf eines Kronenrades

Riss eines Kronenrades aus dem Getriebe eines Zahnarztbohrers, nicht-rostender Werkstoff X30CrMoN15-1 im vergüteten Zustand

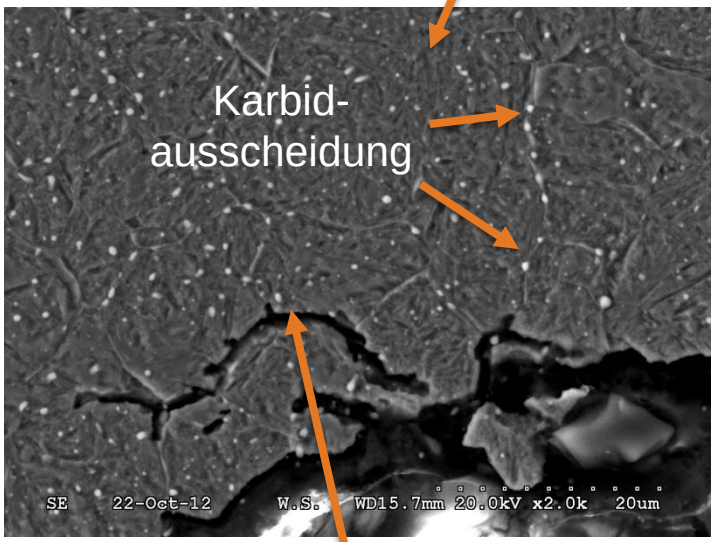
Schaden wurde wenige Tage nach dem Aufpressen des Rades auf die Welle bemerkt

Quelle: W.S. Gutachten



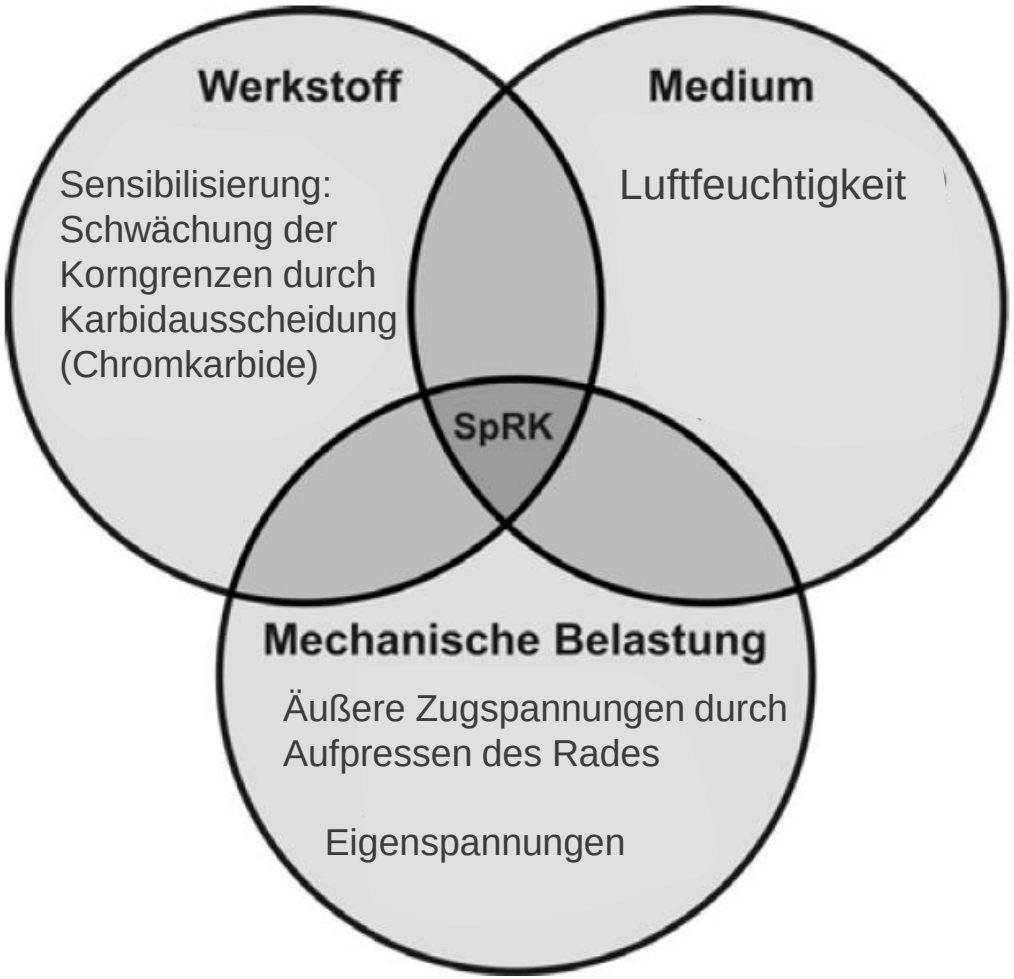


Spaltflächen, teils klaffend



Selektiver Angriff der Korngrenzen

Schadensursache Kronenrad: Spannungsrisskorrosion entlang der Korngrenzen



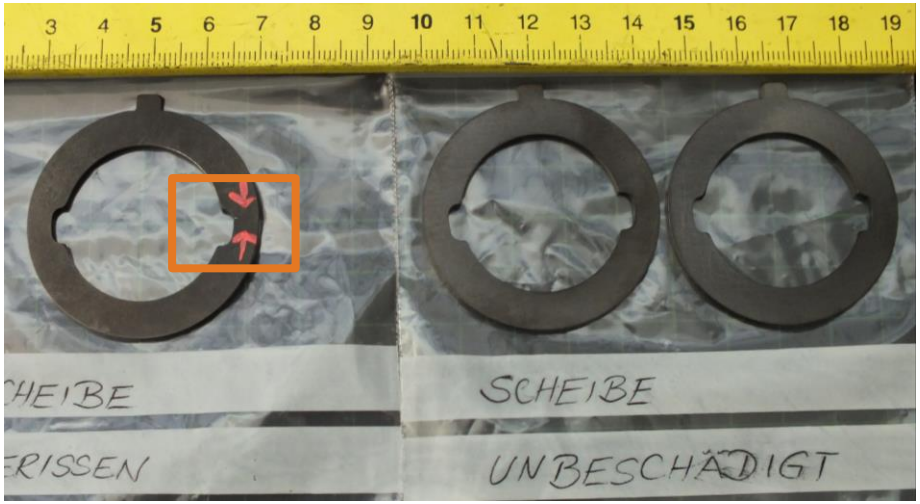
Erfüllung der 3 Voraussetzungen für SpRK nach Hickling

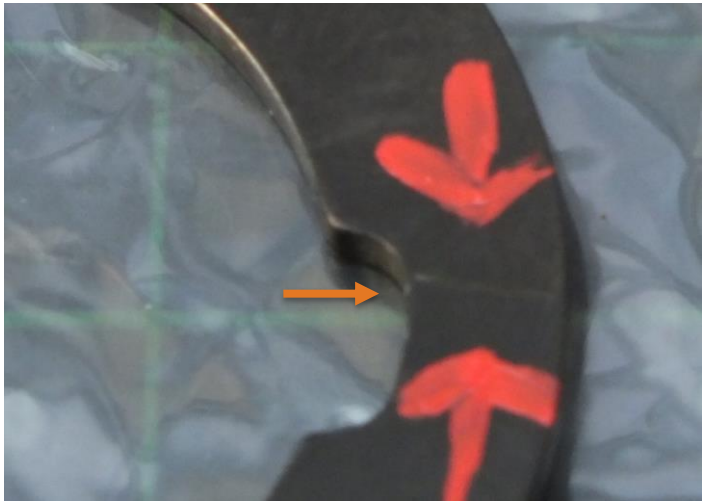
WERKSTOFFSERVICE
MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

Fallbeispiel 3: Gerissene Anlaufscheibe

- Gehärtete Anlaufscheibe für PKW, die vor dem Einbau in den Teststand durch einen verformungsarmen Haarriss auffiel
- Dient zur axialen Lagerung von bewegten Maschinenelementen
- Einsatzstahl 16MnCr5 (1.7131): Ausgestanzt, einsatzgehärtet und angelassen, gebeizt, beschichtet mit Wolframkarbid

Schadensanalysepfeil der VDI3822





Quelle: W.S. Gutachten

WERKSTOFFSERVICE
MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

Spektralanalyse

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]
Sollvorgabe nach DIN EN 10084	**0,12-0,21**	**≤0,43**	**0,96-1,35**	**≤0,030**	**≤0,040**	**0,75-1,15**
S3 (Mitte #1)	0,2	0,09	1,13	0,013	0,004	1,05
MU *)	±0,013	±0,015	±0,024	±0,002	±0,001	±0,034

→ Anforderung erfüllt

Bestimmung des Wasserstoffgehaltes mittels Trägerheißgasextration im Kern

Probe	Prüfparameter	Ergebnis [Mass.-%]	Umrechnung in ppm
Schadteil	H	0,00006	0,8
Referenzteil		0,00006	0,7

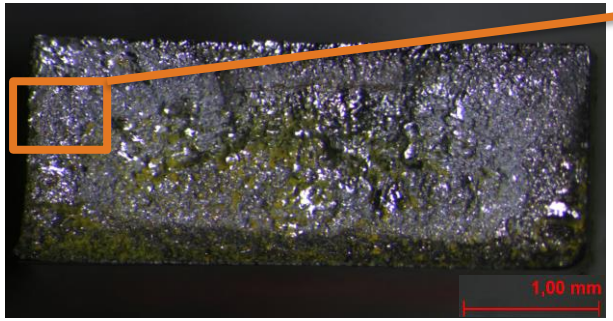
→ Faustformel: bei >800 MPa führen H-Gehalte ab 1 ppm zu einer deutlichen Empfindlichkeitssteigerung gegenüber wasserstoffinduzierter Rissbildung

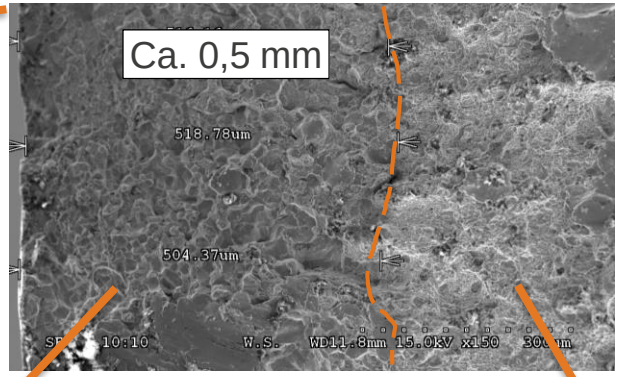
Wasserstoff somit als Ursache ausgeschlossen…?

Quelle: Pohl

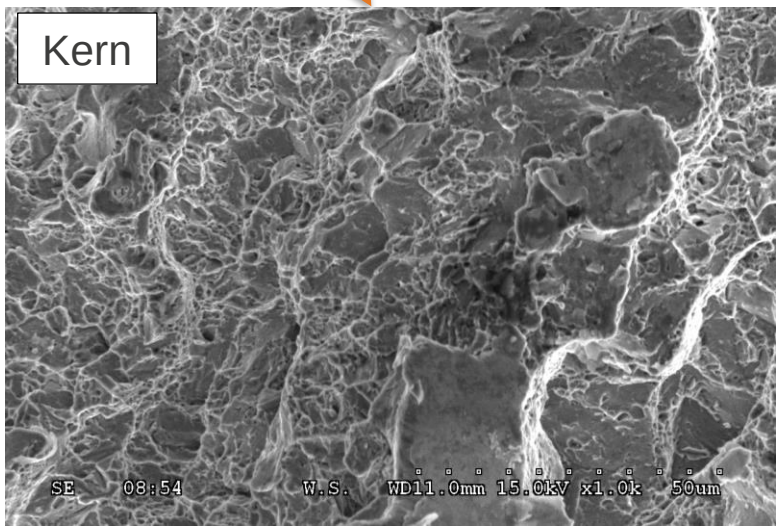
WERKSTOFFSERVICE
MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

Fraktografie am Rasterelektronenmikroskop





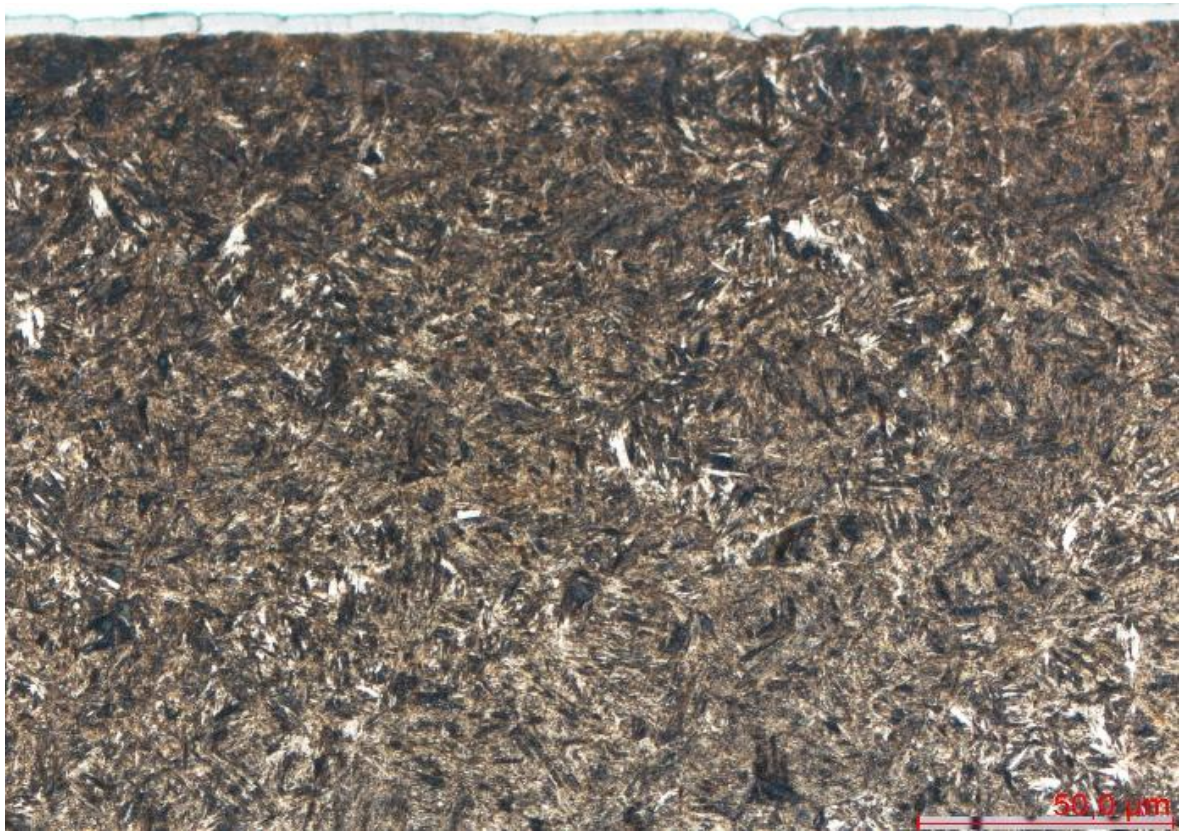
Interkristalliner Bruch mit Krähenfüßer !



Waben eines duktilen Restgewaltbruches

WERKSTOFFSERVICE
MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

Metallografische Untersuchung



→Feines, martensitisches Gefüge ohne schadensrelevante Auffälligkeiten

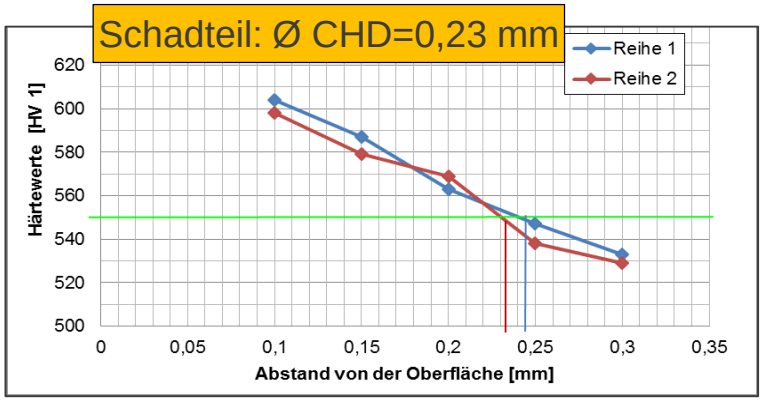
WERKSTOFFSERVICE
MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

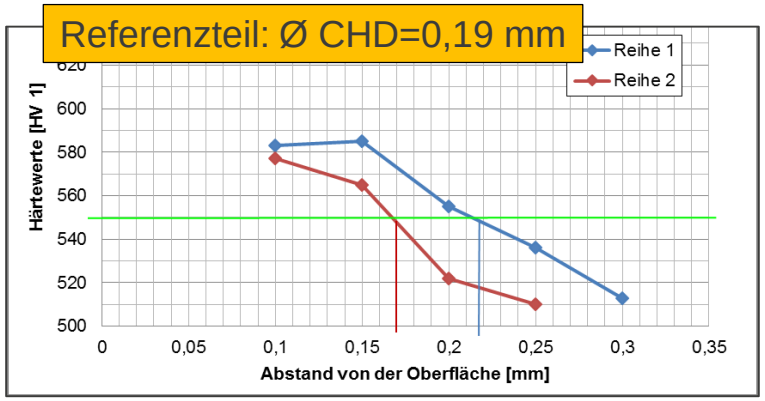
Härteprüfung

Probe	Prüfver-fahren	HV_1	HV_2	HV_3	HV_4	HV_5	Mittelwert [HV]	MU* [HV]
Schadteil	HV5	629	633	622	618	618	624	±9
Referenzteil		606	588	592	584	595	593	±10

→Schadteil signifikant <u>härter</u> als Referenzteil!

Bestimmung der Einsatzhärtungstiefe





→ Informativ, da Vorgaben (CHD= 0,2+0,4 mm) nur *vor dem Beschichten* gelten

Welcher Schadensmechanismus ist verantwortlich?

- Verzögerter Bruch und/oder kathodische Spannungsrisskorrosion im randnahen Bereich (<0,5 mm)

Voraussetzungen/ schadensbegünstigende Faktoren:

- Sehr hohe Härten von 620 HV5 (~1400 MPa)
- Eigenspannungen durch Vergüten bzw. Einsatzhärten
- Behinderung der Wasserstoffbewegung aus dem Bauteil durch WC-Beschichtung

Wurde der Riss bei der 100%-Prüfung übersehen oder entstand er später?

- Rissinitiierung läuft zeitverzögert ab, möglicherweise *nach* Prüfung erst entstanden

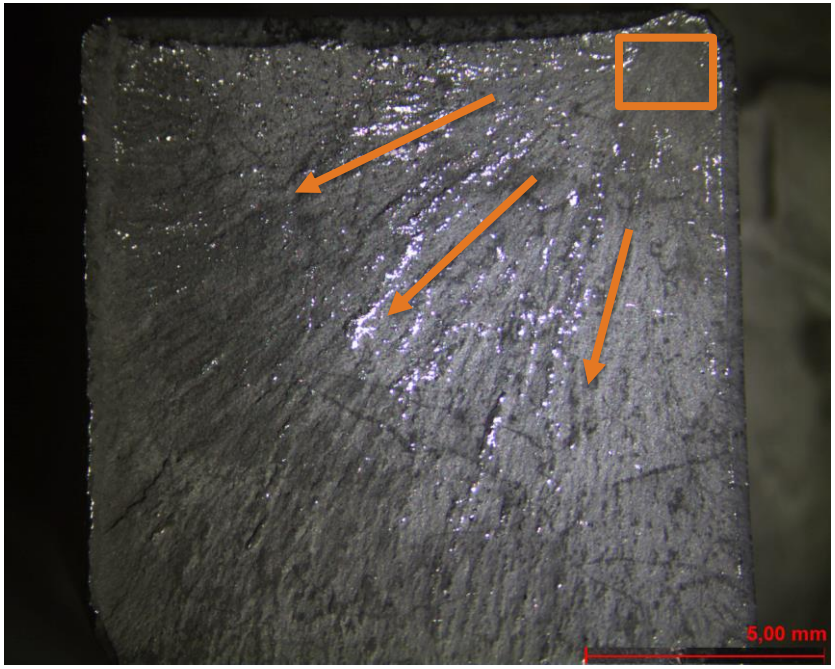
Welcher Produktionsschritt könnte dafür verantwortlich sein?

- Prozesse, die atomaren Wasserstoff in das Bauteil einbringen: Gießen, Beizen, Beschichten, Korrosionsprozesse - also eigentlich alle….

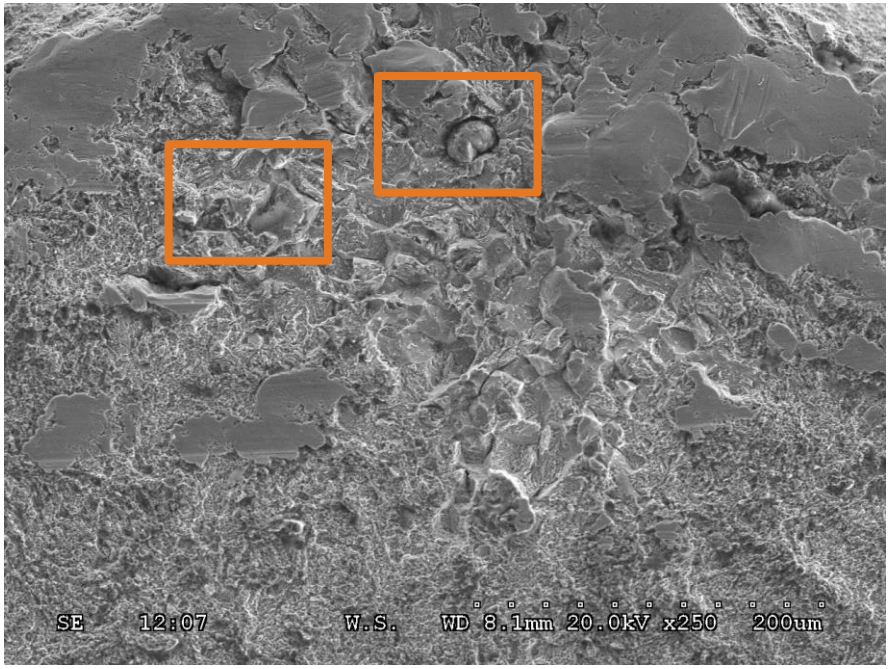
<u>Empfehlung</u>: sämtliche Prozesse überprüfen und wasserstoffarmglühen

WERKSTOFFSERVICE
MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

Und zum Abschluss noch etwas aus dem Inneren…



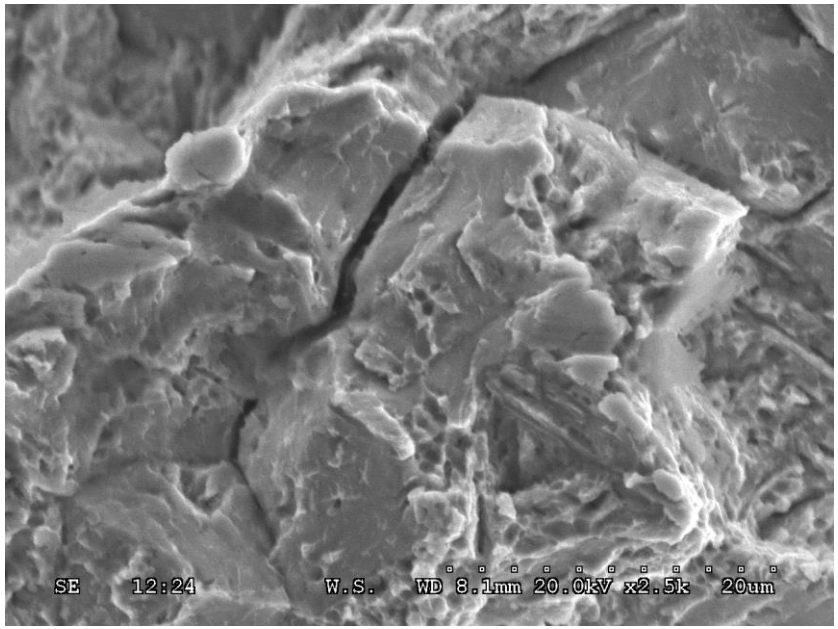
Im Prüfstand gebrochene „Schere“



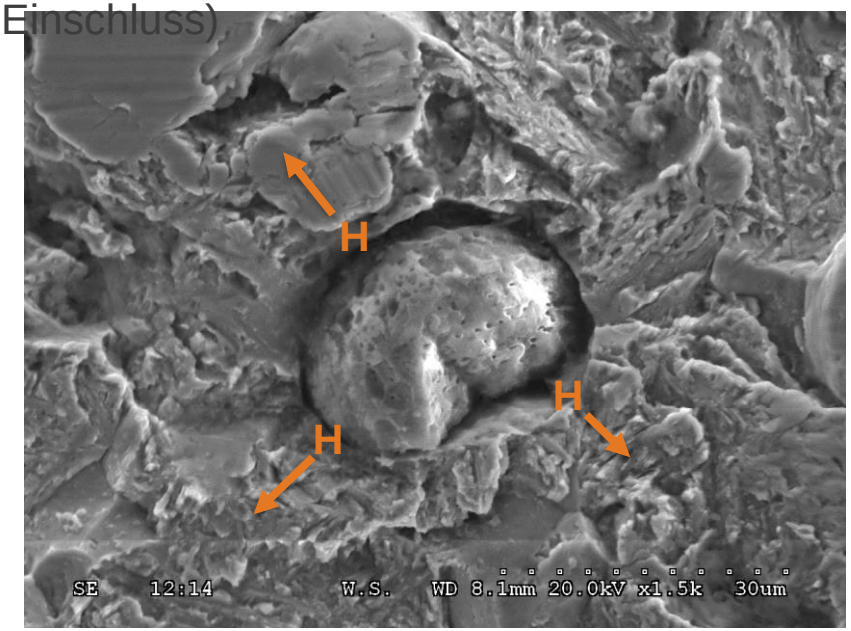
Auffälligkeiten im Rissstartbereich

Quelle: W.S. Gutachten

Wasserstofftypisches Bruchbild …



…im Umkreis einer H-Falle (MgCaAl-Einschluss)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!