

Untersuchungen zum Einfluss der Oberfläche von Spannstählen auf die Anfälligkeit gegenüber Spannungsrissskorrosion

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 70 (2023)

Autoren: Ariane Focke, Stefan Rapp

Arbeitsgruppe 3: Stahl und Korrosion

1 Einleitung

Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurden Versuche durchgeführt, um den Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit auf die Spannungsrissskorrosion bei Spannstahl zu untersuchen. Dafür wurden sowohl glatte als auch profilierte Spannstahlstäbe verwendet. Während die eine Hälfte der Proben mit der Originaloberfläche eingebaut wurde, wurde die andere Hälfte oberflächlich poliert. Vor der Prüfung der Spannungsrissskorrosion in einer Thiocyanatlösung (Constant-Load-Test bzw. CLT) wurden für alle Proben die Oberflächenprofile mit einem laser-based line scan System (LLS) erstellt und die Rauheitswerte berechnet.

2 Theoretischer Hintergrund

Für Spannstahl wird ein warmgewalztes Ausgangsmaterial verwendet. Die hohe geforderte Festigkeit und Dehnung wird bei der Herstellung durch Kaltziehen erreicht [1].

Für die Spannungsrissskorrosion ist eine ungünstige Kombination aus der mechanischen Belastung (z.B. hohe Zugspannung), des Mediums (z.B. Angriffsmittel) und des Werkstoffs (z.B. Typ, Gefügestand und Oberflächenbeschaffenheit) notwendig [2].

Die wasserstoffinduzierte Spannungsrissskorrosion ist ein physikalischer Vorgang, bei dem Wasserstoff in das Metallgitter eindringt, sich in aufgeweitete Bereiche anreichert und diese aufspaltet. Letztere sind Bereiche mit einer erhöhten Gitterfehldichte oder Zonen mit einer abgeminderten Trennfestigkeit, an denen ein örtlich plastischer Bereich durch Spannungskonzentrationen vorliegt. Ist ein kritischer Punkt der Wasserstoffkonzentration in einem Bereich erreicht, weitet sich das Gitter und die Wasserstoffatome können tiefer eindringen [3, 4].

Die vorherrschende Zugspannung begünstigt das Eindringen des Wasserstoffs. Im Zusammenspiel mit der mechanischen Beanspruchung entstehen Spannungsspitzen, die aufgrund von Unregelmäßigkeiten an der Oberfläche wie z.B. Kerben örtlich konzentriert und deutlich über der aufgetragenen Nennspannung liegen können [5]. Die Oberflächenrauheiten R_a (arithmetischer Rauheitswert)

und R_q (quadratischer Rauheitswert) nach DIN EN ISO 21920-2 [6] sind ein Maß für die Struktur der Oberfläche. Sie stellen die vertikale Abweichung der realen Oberfläche von ihrer idealen glatten Form dar. Ist der Rauheitswert R_a größer, ist auch das betrachtete Profil rauer. Bei R_q werden einzelne größere Auslenkungen der Oberfläche stärker gewichtet. Somit treten dort lokale Effekte (z.B. Kerben, Kratzer) stärker hervor.

Die Versuche zur Untersuchung von Spannungsrissskorrosion bei Spannstahl werden nach DIN EN ISO 15630-3 [7] durchgeführt. Dabei wird die Probe auf 80% (+/- 2%) seiner Zugkraft konstant vorgespannt und so lange der Prüflösung ausgesetzt, bis die Probe bricht oder 200 h vergangen sind. Prüflösungen sind die Lösung A, einer wässrigen Lösung von Ammoniumthiocyanat, oder Lösung B, einer wässrigen Lösung von Kaliumsulfat, Kaliumchlorid und Kaliumcyanat. Die Temperatur der Lösung ist konstant auf 50°C (+/- 1°C) zu halten und wenn nötig, nachzustellen. Während des Versuchs sind Zeit, Kraft und Temperatur aufzuzeichnen.

3 Methodik

Für die Versuche wurden jeweils eine 3er Serie profilierter und glatter Spannstahl der Festigkeitsklasse 1375/1570 N/mm² mit 9,5 mm bzw. 9,4 mm Durchmesser verwendet. Außerdem wurde zur Untersuchung des Oberflächeneinflusses je eine 3er Serie profilierter und glatter Spannstahl poliert. Das Ziel war die Entfernung der Ziehhaute und eine Vergleichsmäßigung der Oberfläche. Die Oberflächenbehandlung erfolgte durch eine auf einen Akkuschrauber aufgebrachte Schwabbel Scheibe. Vor der Durchführung des CLT's wurden die Oberflächen aller Proben in der freien Länge (280 mm) mit dem LLS erfasst. Die freie Länge ist die Länge, die im CLT dem angreifenden Medium ausgesetzt ist. Für alle vier Testserien wurde an den jeweiligen Enden der freien Länge der Stahl über eine Länge von 200 mm lackiert und ein Schrumpfschlauch zur besseren Abdichtung bei der Versuchsdurchführung angebracht. Für die Durchführung des CLT's wurden die Proben in der freien Länge mit Aceton entfettet, in den Prüfraumen eingebaut (Abbildung 1) und vorgespannt. Die Vorspannung lag für den

glatten Draht bei einer Kraft von $F_0 = 92,5$ kN und für den profilierten Draht bei $F_0 = 93,1$ kN.



Abbildung 1: Aufbau der Prüfvorrichtung für den CLT

4 Ergebnisse

Für die Auswertung der Oberflächenscans wurde eine Länge von 20 mm symmetrisch um die Bruchstelle gewählt (Tabelle 1). Eine Schiefelage der Probe während des Oberflächenscans wurde mit einer linearen Regression ausgeglichen. Für die Serien „profiliert“ wurde die Rauheit sowohl zwischen als auch in Profilierungsmittle (makroskopische Rauheit) angegeben. Durch den Poliervorgang konnte im Mittel eine geringfügige Erhöhung Oberflächenrauheit bei allen Serien festgestellt werden.

Tabelle 1: Mittelwerte der Oberflächenrauheit für alle Proben einer Serie

Serie	R_a [μm]	R_q [μm]
glatt_unbehandelt	2,3	2,9
glatt_poliert	3,8	4,8
profiliert_unbehandelt ¹⁾	15,9/71,1	18,1/76,0
profiliert_poliert ¹⁾	22,7/73,2	27,1/77,6

¹⁾ erster Wert: Rauheitswerte zwischen der Profilierung; zweiter Wert: Rauheitswert in Profilmitte

Bei der Auswertung der CLT-Versuche zeigen die Proben mit polierter Oberfläche eine längere Laufzeit. Der Median der Laufzeiten der unbehandelten profilierten Proben liegt bei 82 h (poliert: 115 h) und der glatten Proben bei 5 h (poliert: 19 h).

Bei der Betrachtung des Bruchs konnten anhand des Oberflächenprofils keine Kerben an der Bruchstelle erkannt werden. Nach [8] hat die Oberfläche des Stahls einen starken Einfluss auf die Laufzeiten der Proben. Letztere nimmt mit zunehmender Oberflächenrauheit deutlich ab. Wird die Profilierung als Makrorauheit mitberücksichtigt, ergibt sich mit zunehmender Oberflächenrauheit eine kürzere Versuchslaufzeit (Abbildung 2). Die hier untersuchten Ergebnisse weisen jedoch eine erhebliche Streuung auf, sodass kein eindeutiger funktionaler Zusammenhang festgestellt werden konnte. Wie in Tabelle 1 wurde für die Serie „profiliert“ beide Rauheitswerte eingetragen.

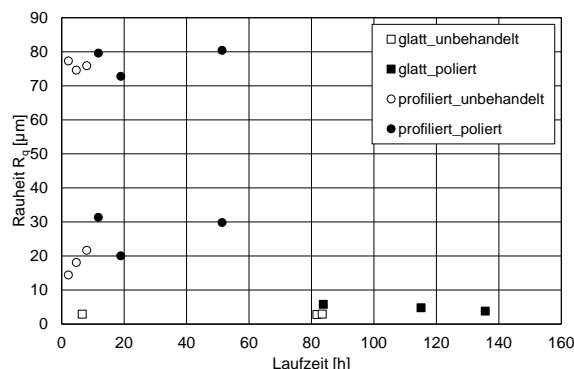


Abbildung 2: Auswertung Versuchslaufzeiten und Oberflächenrauheit

5 Zusammenfassung

Durch Polieren der Oberfläche konnte eine zu den unbehandelten Proben unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit erlangt werden. Spannungsrisskorrosionsversuche an profilierten Proben zeigten eine im Mittel deutliche kürzere Versuchsdauer als glatte Spannstahlstäbe. Durch das Polieren der Oberfläche konnte im Mittel ebenfalls die Versuchsstandzeit erhöht werden. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Oberflächenrauheit und Versuchsdauer konnte aufgrund der auftretenden Streuung nicht festgestellt werden. Kerbradien und Kerbtiefen wurden in der Arbeit nicht untersucht und bedürfen weiterer Forschung.

6 Literatur

- [1] Gehlen, C.; Kränkel, T.; Meng, B.; Osterminski, K.; Meyer, F.; Schröder, P.: *Baustoffe im Betonbau* in Handbuch für Bauingenieure, Zilch, K. et al. (eds). Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019.
- [2] Hickling, J. *Dehnungsinduzierte Rißkorrosion – Spannungsrißkorrosion oder Schwingrißkorrosion?* In *Der Maschinenschaden*, 55(Nr. 2), 95-105, 1982.
- [3] Wild, M. A. *Zur Beurteilung des Zustands von Brücken bei Spannstahlausfällen infolge von Spannungsrissskorrosion*. (Dissertation). Technische Universität München.
- [4] Nürnberger, U. *Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen*. Berlin: Bauverlag, 1995.
- [5] Läßle, V. *Einführung in die Festigkeitslehre*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016.
- [6] DIN EN ISO 21920-2: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Profile. Berlin, 2022.
- [7] DIN EN ISO 15630-3: 2020-02. *Stähle für die Bewehrung und das Vorspannen von Beton – Prüfverfahren*. Berlin, 2020.
- [8] Isecke, B. *Test Methods for Assessing the Susceptibility of Prestressing Steels to Hydrogen Induced SCC*. London: Maney Publishing, 2004.