

Physikalische und chemische Einflussgrößen auf die Fehleranzeige bei der MT- und PT-Prüfung

Stephan ROBENS¹, Oliver GOERZ¹, Wolfram A. Karl DEUTSCH¹

¹ KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal

Kontakt E-Mail: chemicals@karldeutsch.de

Kurzfassung. Anhand der vorgestellten Beispiele sollen verschiedene Einflussgrößen bei der MT- und PT-Prüfung gezeigt und deren Auswirkungen auf die Fehleranzeige dargestellt werden. Das Benetzungsverhalten, Korngrößenverteilungen bei MT-Prüfmitteln, der Einfluss der Schichtdicke der MT-Untergrundfarbe, die Eigenfluoreszenz von MT-Prüfölen, die optimale Wahl der PT-Empfindlichkeitsklasse und verschiedene Kontrastverhältnisse werden diskutiert.

Diese Beispiele sollen dem Anwender zeigen, weshalb gewisse Kriterien bei der Prüfmittelauswahl, aber auch bei der Vorbereitung der Prüfung notwendig sind.

Einführung

Die Oberflächen-Rissprüfung mit chemischen MT- und PT-Prüfmitteln unterliegt strengen Vorgaben gemäß zahlreicher internationaler Spezifikationen [1 - 9]. Die vermeintlich simplen Verfahren erfordern jedoch gleichbleibende Prüfbedingungen, um reproduzierbar prüfen und auswerten zu können. Hierbei spielen die Eigenschaften der chemischen Prüfmittel eine wichtige Rolle. In diesem Beitrag sollen wichtige physikalische und chemische Kenngrößen betrachtet werden.

Weitere Prüfparameter wie eine reproduzierbare Ausleuchtung (mit Weiß- oder UV-Licht) bzw. die normkonforme Magnetisierung bei der MT sind ebenfalls sehr wichtig, aber nicht Thema dieses Textes.

1. Benetzungsverhalten

Das Benetzungsverhalten beschreibt die Eigenschaft einer Flüssigkeit, wie sie sich auf einer Oberfläche verteilt.

Bei MT- und PT-Prüfmitteln ist es wichtig, dass sich ein kleiner Randwinkel zwischen Prüfmittel und Bauteiloberfläche ausbildet. Dann ist eine gute Benetzung gegeben. Eine unvollständige Benetzung kann zur Verschlechterung der Rissanzeigen führen.



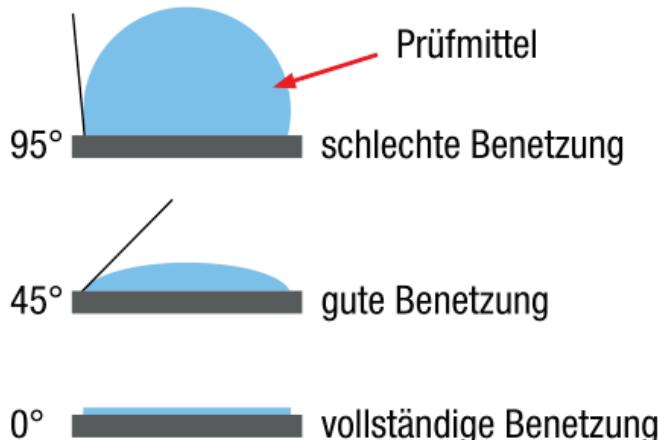


Abb. 1. Randwinkel bei der Benetzung mit chemischen Rissprüfmitteln

Der Oberflächenzustand der Prüfteile ist dabei zu beachten. Die Benetzung an schmiederauen Teilen ist völlig anders als bei Teilen mit bearbeiteter Oberfläche. Die Benetzung glatter Oberflächen ist deutlich schwieriger. Auch Spiegelungen bei der Beleuchtung bzw. Betrachtung sind zu vermeiden.

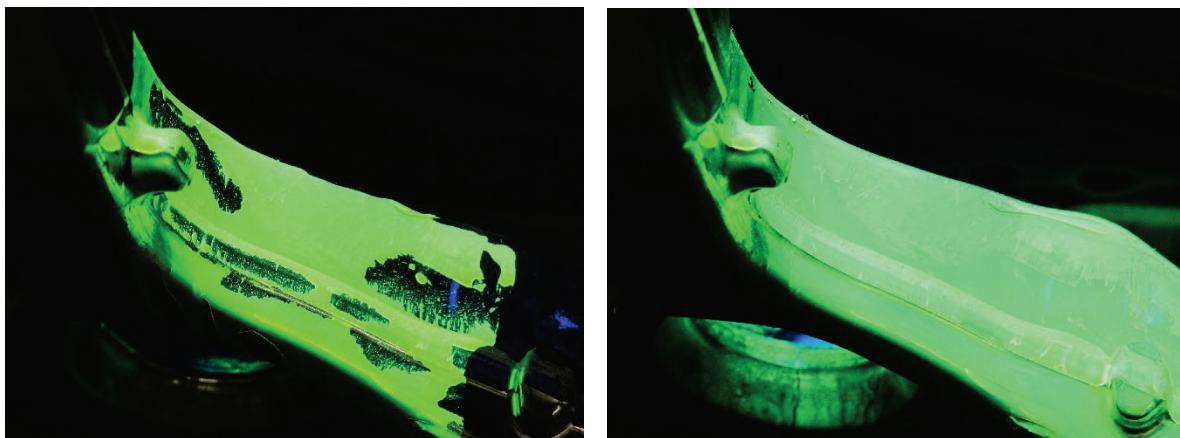


Abb. 2. Schmiedeteil mit sehr glatter Oberfläche: Schlechte Benetzung mit wasserbasiertem Eindringmittel (links) und gute Benetzung mit ölbasiertem Eindringmittel (rechts)

Bei der MT-Prüfung erschweren Kühlsmiermittel-Rückstände von der vorgesetzten mechanischen Bearbeitung eine gute Benetzung. Eine Vorreinigung würde einen zusätzlichen Verfahrensschritt bedeuten und soll daher in vielen Fällen vermieden werden. Spezielle Rezepturen erlauben auch die Benetzung leicht verschmutzter Prüfteile.

2. Korngrößen bei Magnetpulver-Rissprüfmitteln

Zur Detektion von Fehlern ist es notwendig, dass sich die Magnetpulverpartikel als sogenannte Rissraupe an einem Riss ansammeln können. Durch die Streuflussbildung am Riss erscheint die Anzeige breiter als der eigentliche Riss. Hierbei spielt u. a. die Größe der Partikel eine wichtige Rolle. In Bezug auf die Rissbreite können zu kleine Teilchen in den Riss wandern und durch dessen Auffüllen eine Reduktion des Streuflusses hervorrufen. Bei zu großen Teilchen hingegen kann der ausgebildete Streufluss diese nicht am Riss fixieren.

Optimalerweise sollte die Korngröße ungefähr der zu erwartenden Rissbreite entsprechen (Abb. 3).

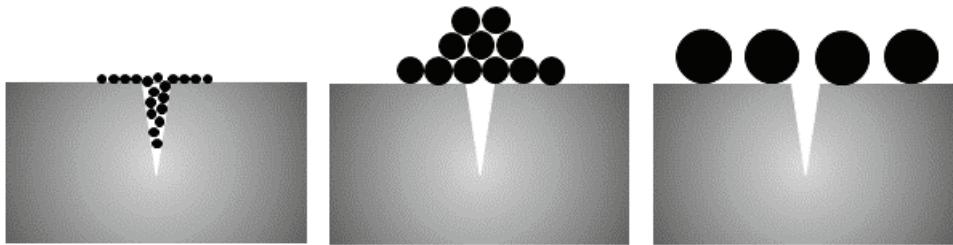


Abb. 3. Schematische Darstellung der MT-Prüfmittel-Korngrößen im Verhältnis zur Rissbreite. Die Rissanzeige ist optimal, wenn die Korngröße ungefähr der Rissbreite entspricht (Bild Mitte).

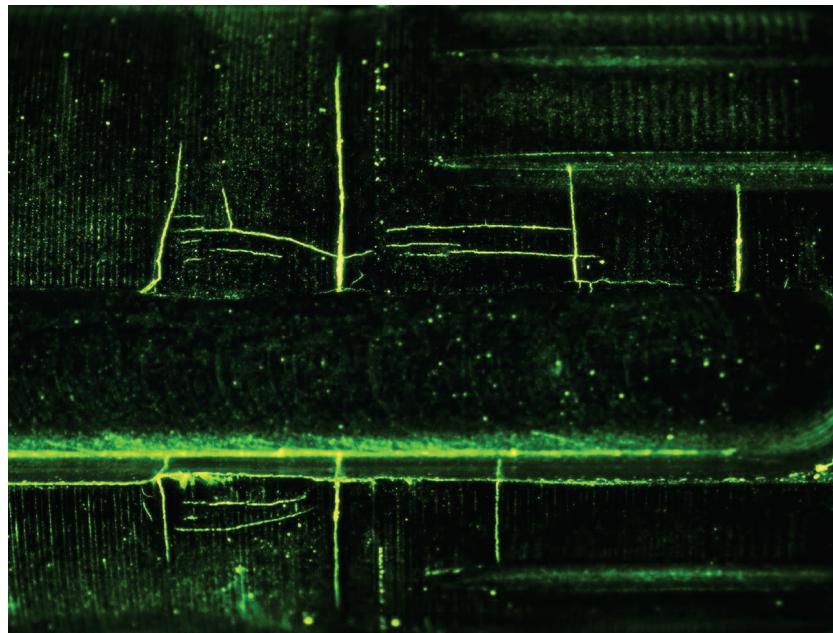


Abb. 4. Optimale Wahl der Korngröße mit 3 µm, um auch feine Risse zur Anzeige zu bringen

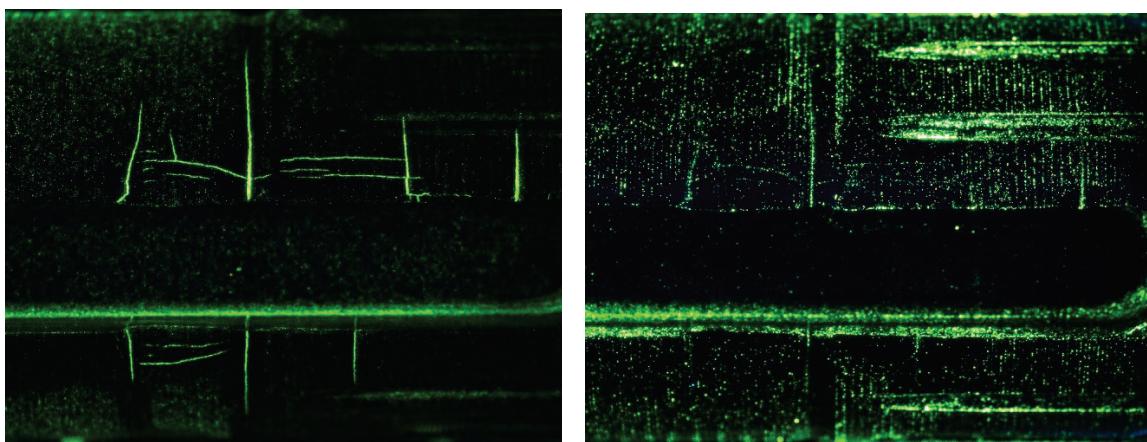


Abb. 5. Suboptimale Wahl der Korngröße: Verlust der Feinrissanzeigen mit Korngröße 9 µm (links) und unbrauchbare Anzeige mit Korngröße 40 µm (rechts, Verlust aller Feinrissanzeigen, Kontrastverlust aller Rissanzeigen gegenüber Hintergrund).

3. Einfluss der Schichtdicke bei der MT-Untergrundfarbe

Dicken unterhalb von 50 µm bei nichtferromagnetischen Schichten, wie beispielsweise Lacken, werden gemäß EN ISO 9934-1 und ASTM E 709 als unproblematisch bei der Magnetpulverprüfung betrachtet. Bei Schichtdicken größer als 50 µm verschlechtert sich die Anzeigeempfindlichkeit erheblich. Um diesen Schwellwert zu verifizieren, wurde folgendes Experiment gemacht. Der Vergleichskörper 1 (früher MTU-Testkörper genannt) wurde mit weißer Untergrundfarbe verschiedener Dicke versehen. Die Schichten wurden mit einem LEPTOSKOP 2042 ausgemessen. Die Effekte unterschiedlicher Dicke treten deutlich zutage.

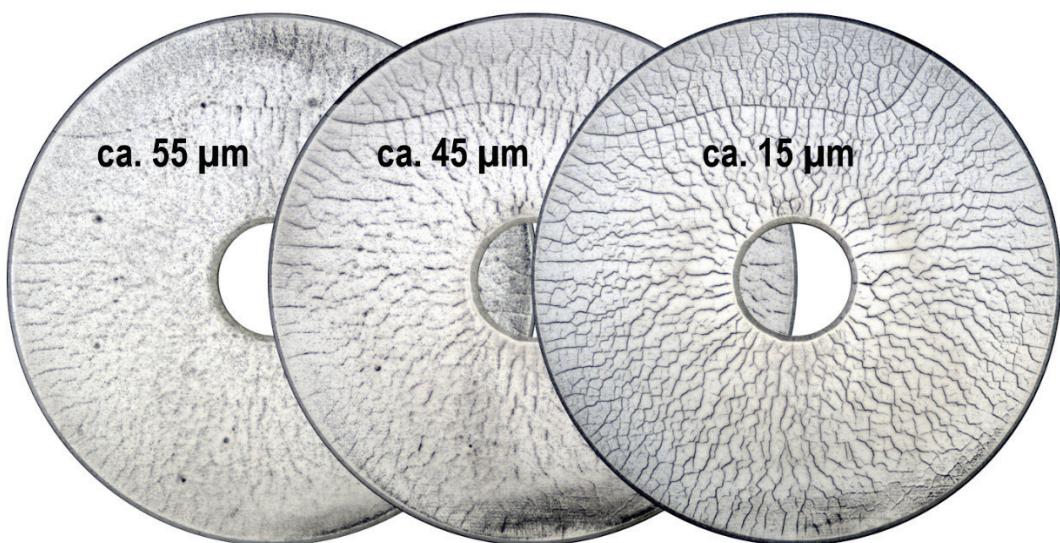


Abb. 6. Anzeigen mit schwarzen MT-Prüfmittel auf dem Vergleichskörper 1, welcher vorher mit weißer Untergrundfarbe verschiedener Schichtdicke versehen wurde.

Der normative Grenzwert mag nun fragwürdig erscheinen, wenn man sich die Anzeigen auf dem Testkörper mit 45 µm Schichtdicke ansieht. Ebenso ist das Vorgehen vieler Anwender zu hinterfragen. Die weiße Untergrundfarbe soll nicht „satt weiß und deckend“ aufgetragen werden. Eine möglichst dünne Schicht ist ideal, bietet guten Kontrast und ermöglicht Bildung optimaler Rissanzeigen.

4. Eigenfluoreszenz von MT-Prüfölen

Bei der Nassprüfung mit Öl ist es für die Anzeigenqualität sehr wichtig, dass das Trägermedium möglichst keine bzw. nur eine niedrige Eigenfluoreszenz aufweist. Um zu bestimmen, ob die Fluoreszenz in einem akzeptablen Bereich liegt, wird für einen optischen Vergleich eine Chinin-Sulfatlösung als Referenz herangezogen.

Öle, insbesondere aus dem Bereich der Metallbearbeitung, beinhalten oft UV-Marker, die die Rissbewertung bei der fluoreszierenden MT-Prüfung erschweren. Die Fluoreszenz der Rissanzeigen wird überlagert durch die Fluoreszenz, die durch die UV-Marker hervorgerufen wird. Die Anzeigen sind nur noch schwer zu erkennen.

Öle ohne Eigenfluoreszenz vermeiden die störende Untergrund-Fluoreszenz. Kontrastreiche Anzeigen können erzielt werden und führen zu einer höheren Prüfsicherheit.

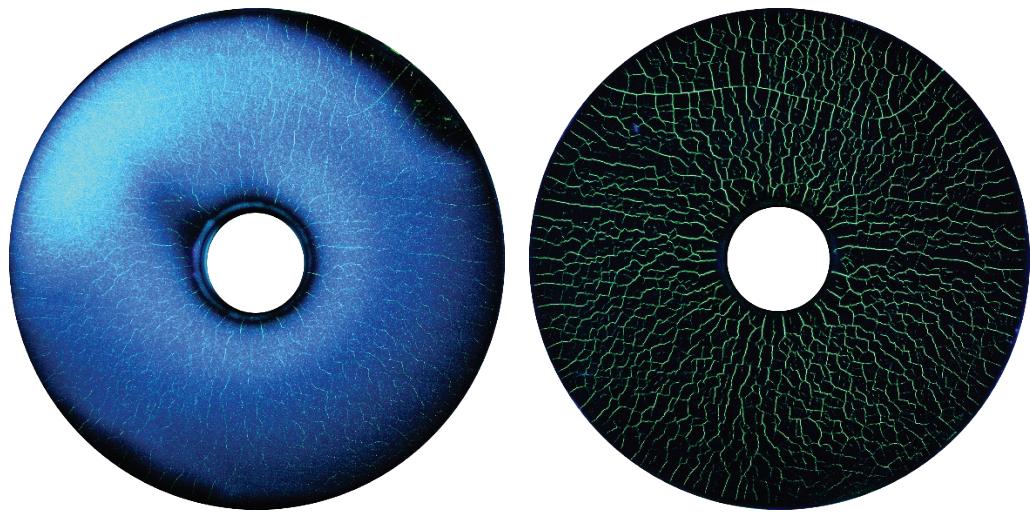


Abb. 7. Nassprüfung mit Öl am Vergleichskörper 1 unter Verwendung eines nicht geeigneten Öles mit hoher Eigenfluoreszenz (links) und eines MT-Prüföles ohne Eigenfluoreszenz (rechts)

5. Empfindlichkeitsklassen fluoreszierender PT-Prüfmittel

Die Empfindlichkeitsklassen der Eindringmittel vom Typ I werden durch die Art der chemischen Zusammensetzung, dem Abwaschverhalten bei der Zwischenreinigung und dem Zusammenspiel mit den jeweiligen Entwicklern bestimmt. Für eine gute Nachweisempfindlichkeit sollte bei der Auswahl des Prüfmittelsystems nicht nur die Empfindlichkeitsklasse bedacht werden. Auch die Art der zu erwartenden Gefügetrennung, die Oberflächenbeschaffenheit und das zu prüfende Material, insbesondere im Hinblick auf eine ausreichende Benetzbarkeit, sind wesentliche Auswahlkriterien.

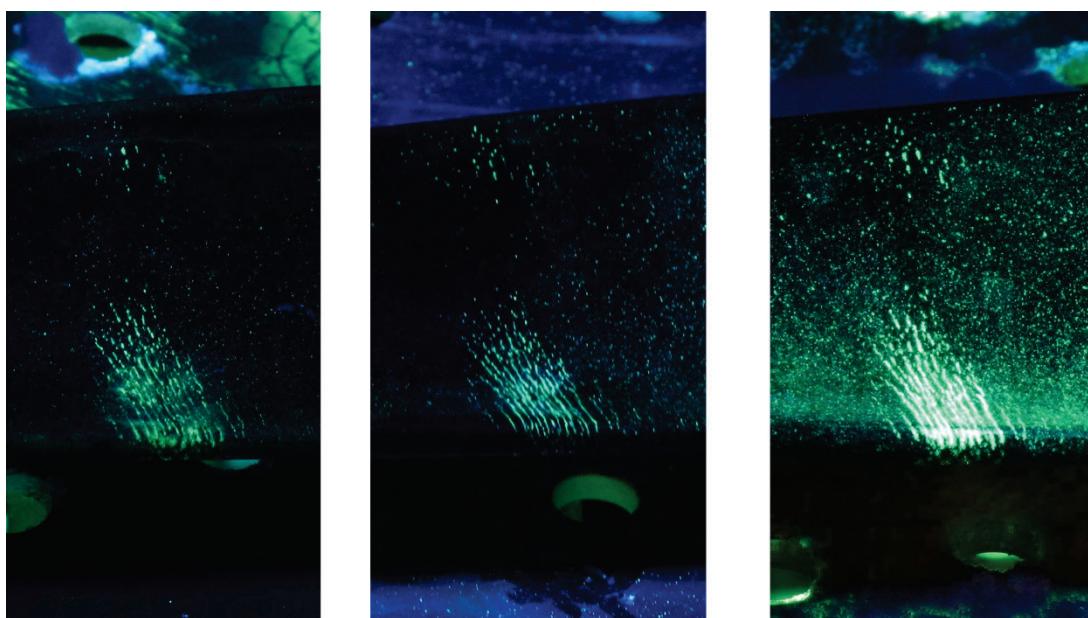


Abb. 8. Anzeigen auf einer Turbinenschaufel aus Titan mit fluoreszierenden Eindringmitteln und Trockenentwickler nach Methode IAa. Von den drei Empfindlichkeitsklassen 0,5 / 2 / 4 gemäß EN ISO 3452-1 zeigt die Empfindlichkeitsklasse 2 das beste Ergebnis.

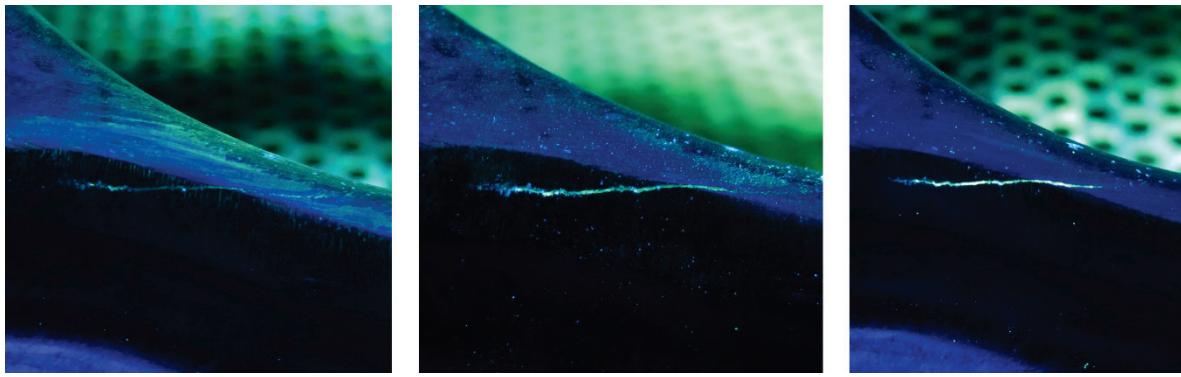


Abb. 9. Anzeigen auf einem Schmiedestück mit fluoreszierenden Eindringmitteln und Trockenentwickler nach Methode IAa. Von den drei Empfindlichkeitsklassen 0,5 / 2 / 4 gemäß EN ISO 3452-1 zeigt die Empfindlichkeitsklasse 4 in diesem Beispiel das beste Ergebnis.

6. Kontrast bei der Eindringprüfung

Ein guter Farbkontrast bei der Farbeindringprüfung und ein guter Leuchtdichtheitkontrast bei der fluoreszierenden Eindringprüfung sind Grundvoraussetzungen für eine normgerechte Auswertung von Anzeigen auf fehlerbehafteten Bauteilen. Eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst die jeweiligen Kontrastverhältnisse:

- Prüfsystem
- Prüftechnik
- Material des Bauteils
- Oberflächenbeschaffenheit und -vorbereitung
- Beleuchtungsstärke (Farbkontrast) und Bestrahlungsstärke (Leuchtdichtheitkontrast).

Vier Prüfergebnisse, erzielt bei unterschiedlichen Prüfaufgaben, sollen die Bandbreite unterschiedlichen Kontrastes bei der PT-Prüfung beleuchten.



Abb. 10. Prüfergebnisse mit der Farbeindringprüfung (Rot/Weiß). Der Entwicklerauftrag auf einem Schmiedeteil ist unzureichend. Der Kontrast zwischen Hintergrund und Anzeige ist erheblich reduziert (links). Die gleichmäßig deckende Entwickler-Schicht auf dem Gussteil sorgt für einen guten Farbkontrast (rechts).

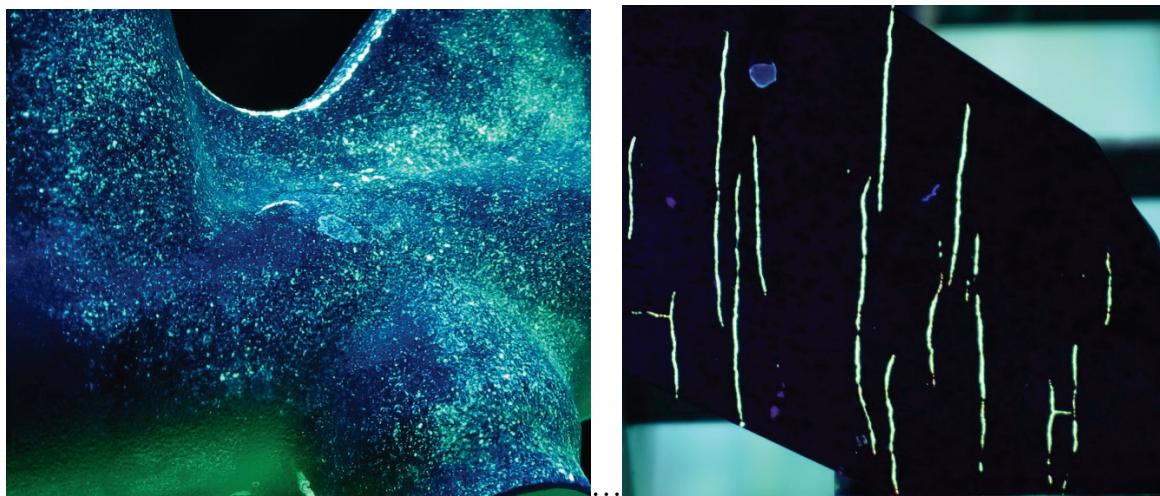


Abb. 11. Prüfergebnisse mit der fluoreszierenden Eindringprüfung. Einsatz eines Nassentwicklers auf Lösemittelbasis an einem Schmiedestück mit rauer Oberfläche. Aufgrund erhöhter Hintergrundfluoreszenz verringert sich der Leuchtdichtecontrast (links). Anzeigen auf geschliffener Bauteiloberfläche ohne störende Hintergrundfluoreszenz sorgen für eine optimale Auswertbarkeit.

Zusammenfassung

Anhand vieler Praxisbeispiele wurden Rissanzeigen für optimale und suboptimale Prüfbedingungen gezeigt. Die Vielzahl unterschiedlicher Prüfaufgaben sorgt auch für eine Vielzahl verschiedener Prüfmittel-Systeme. Die optimale Auswahl der Prüfparameter liefert die bestmöglichen Rissanzeigen.

Die Kunst bei der Herstellung von MT- und PT-Rissprüfmitteln ist die ständige Überwachung und Konstanthaltung aller chemischen und physikalischen Kennwerte. Dies erfolgt sowohl durch eine hausinterne Chargenüberwachung als auch durch eine Überwachung von Stichproben durch externe Prüflabore. Auch der Anwender ist angehalten, mit Hilfe von Testkörpern die Tauglichkeit des Prüfverfahrens regelmäßig zu überwachen.

Referenzen

- [1] DIN EN ISO 9934 (Ausgabe 2015-12): Zerstörungsfreie Prüfung – Magnetpulverprüfung
- [2] SAE AMS 3044 G: Magnetic Particles, Fluorescent Wet Method, Dry Powder
- [3] ASTM E709-15: Standard Guide for Magnetic Particle Testing
- [4] ASTM E1444 / E1444M-16: Standard Practice for Magnetic Particle Testing
- [5] ASME Boiler and Pressure Vessel Code (Edition 2019)
- [6] BS 4069 (1982): British Standard on Magnetic Particle Testing
- [7] DIN EN ISO 3452 (Ausgabe 2014-03): Zerstörungsfreie Prüfung – Eindringprüfung
- [8] ASTM E1417 / E1417M-16: Standard Practice for Liquid Penetrant Testing
- [9] SAE AMS 2644 H: Inspection Material, Penetrant