

Stand der Technik bei der Magnetpulver-Rissprüfung

Dipl.-Ing. Frank Bartholomai, Dr. (USA) Wolfram A. Karl Deutsch, Dr. Oliver Goerz,
 Dipl.-Ing. Oliver Josek, Dr.-Ing. Volker Schuster, Dr. Ralf Wagner, Dr. Wolfgang Weber
 c/o KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal
 Tel.: (+49-202) 7192-0, Fax: (+49-202) 714-932, info@karldeutsch.de, www.karldeutsch.de

Einleitung

In diesem Beitrag soll ein Überblick zum Stand der Technik bei der Magnetpulver-Rissprüfung gegeben werden. Die Magnetpulver-Rissprüfung ist eine sehr empfindliche Prüfmethode zur Detektion von Oberflächenrissen an magnetisierbaren Materialien. Sie ist unverzichtbar für viele komplex geformte Sicherheitsteile aus den Bereichen Automobil, Eisenbahn oder Luftfahrt.

Zunächst sollen unterschiedliche Magnetisierungstechniken, Rissprüfmaschinen und typische Fehlerquellen demonstriert werden. Danach werden verschiedene Stufen der Automatisierung beim Prüfprozess aufgezeigt (Bauteiltransport, MEMORY-Parameterspeicherung, Auswertung, FLUXA-Control-Prüfmittelkontrolle). Aktuelle Anforderungen an moderne Rissprüfmittel in Bezug auf Normung, Arbeitsschutz, Umweltschutz und Dokumentation werden zusammen getragen. Zuletzt wird die Magnetpulver-Rissprüfung mit anderen Oberflächen-Prüfverfahren verglichen und ein Ausblick gegeben.

Prüfung mit Zweikontakt-Maschinen

Die meisten Prüfprobleme bei der Magnetpulver-Rissprüfung werden mit Prüfmaschinen gelöst, die über zwei Kontakte verfügen (Prinzip der Jochmagnetisierung). Dabei werden die Bauteile oft manuell in die Werkstückaufnahmen eingelegt und die Prüfmaschine spannt das Prüfteil pneumatisch. Sodann wird die Magnetisierung und Bepulung mit dem Rissprüfmittel eingeschaltet. Die Magnetisierung und Bepulung erfolgt für ca. 4 Sekunden.

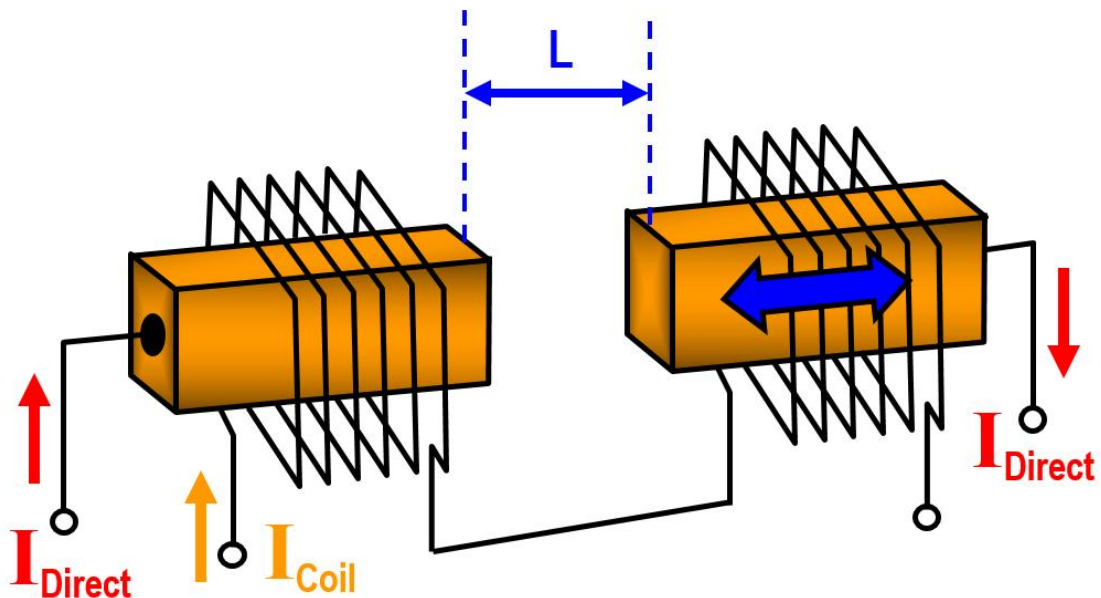


Bild Prinzip einer Zweikontaktmaschine. Zwei phasenversetzte Wechselströme erzeugen ein rotierendes magnetisches Wechselfeld zur Detektion von Oberflächenrissen aller Orientierungen. Die Bauteillängen L sollten 900 mm nicht überschreiten.

In der Regel wird mit der sogenannten kombinierten Magnetisierung gearbeitet. Durch das Prüfteil fließt dabei ein Längsstrom, der ein Ringfeld erzeugt (Stromdurchflutung). Mit diesem Ringfeld werden Längsrisse detektiert (die

Rissrichtung sollte mindestens 30° von der Feldrichtung abweichen, um eine ausreichend kontrastreiche Rissanzeige zu ermöglichen). Zusätzlich sind in den beiden seitlichen Kontakten der Prüfmaschine Spulen verbaut, die zeitgleich ein magnetisches Längsfeld im Prüfteil erzeugen (Felddurchflutung). Hiermit werden Querfehler gefunden. Beide Felder sind in der Regel phasenverschobene Wechselfelder, welche mit der Netzfrequenz (50 bzw. 60 Hz) oszillieren und unabhängig voneinander eingestellt werden können. Das resultierende, rotierende Magnetfeld ermöglicht die Detektion von Fehlstellen aller Richtungen.

Im weiteren Verlauf des Prüftaktes wird die Bepflügelung abgeschaltet und die Magnetisierung wird für ca. 2 Sekunden aufrecht gehalten: die sogenannte Nachmagnetisierung. In dieser Zeit haben die magnetischen Partikel des Rissprüfmittels (Eisenoxidpulver) Zeit, eine Rissanzeige (Rissraupe) auszubilden.

Die Rissprüfmittel sind meist fluoreszierend eingefärbt, so dass die Rissanzeigen unter UV-Licht ausgewertet werden können. Die Partikel werden meist als wässrige Suspension über Düsen auf das Prüfteil aufgebracht. Die Entmagnetisierung erfolgt entweder direkt in der Prüfmaschine durch gezieltes Abregeln der vorher aufgetragenen Felder oder in einer separaten Spule außerhalb der Prüfmaschine.



Bild Zweikontaktmaschine. Im Bild ist eine universell einsetzbare Prüfmaschine (Typ DEUTROFLUX UWE) für Bauteillängen bis 600 mm zu sehen.

Feldarten und Feldeinleitung

In Europa hat sich die kombinierte Prüfung mit Wechselfeldern weitgehend durchgesetzt. In den USA und in der Luftfahrtbranche sind dagegen auch Gleichstrom-Prüfmaschinen anzutreffen.

Die Prüfung mit Wechselfeldern hat viele Vorteile:

- Gleichmäßigere Feldverteilung an Querschnittsübergängen durch den Skin-Effekt
- Ungeprüfte Bereiche an den Einspannstellen der Prüfmaschine sind kleiner
- Einfachere Entmagnetisierung, da nur die Oberfläche zur Prüfung magnetisiert wurde
- Möglichkeit der kombinierten Prüfung in einer Einspannung (Rissfindung in allen Richtungen)
- Möglichkeit der Hohlteilprüfung durch Ausnutzung der Induktion (Trafoprinzip)

Bei der Gleichfeld- bzw. Gleichstrom-Prüfung können verschiedene Anregungen zur Anwendung kommen: gepulste Gleichströme (erzeugt über eine Kondensator-Entladung), Gleichströme mit Halbwellen-Gleichrichtung, Gleichströme mit Vollwellen-Gleichrichtung und Gleichströme mit 3-phasiger Vollwellen-Gleichrichtung. Hiermit ist eine höhere Eindringtiefe als mit der Wechselfeldprüfung realisierbar und es wird möglich, auch Fehler unterhalb der Bauteil-Oberfläche zu finden. Auch kann bei schuppigen Oberflächen die Gleichstromprüfung Vorteile bieten, da weniger Pseudoanzeigen an der Bauteiloberfläche entstehen. Die Anzeigen sind dann aber ganz anders ausgeprägt und nicht so scharf wie bei der Wechselfeldprüfung. Zudem hat die Fehlergeometrie (rissförmig oder rundlich) einen starken Einfluss auf die Anzeige. Daher ist die Magnetpulver-Prüfung in Europa als Verfahren nur für die Oberflächenprüfung etabliert.

In Japan werden oft Automobil-Teile durch einfache Spulen oder Kreuzspulen gefahren. Der apparative Aufwand ist gering, die Taktraten recht hoch und Brandstellen kommen durch die kontaktlose Magnetisierung nicht vor. Auch in Europa sind vereinzelt kontaktlose Prüfmethode (Kreuzspulen für Rohre und Spulensysteme für Achsschenkel) im Einsatz. Diese Methoden werden gerade bei komplex geformten Bauteilen ungeprüfte Bereiche hinterlassen oder nur Risse einer Vorzugsrichtung detektieren. Die Feldverteilung einer Kreuzspule wird durch das Einbringen des Prüfteils stark verändert. Somit sind Prüfmaschinen mit einer Einspannung der Bauteile zu bevorzugen. Nur dann durchlaufen die Magnetfelder die Prüfteile gezielt über Kontaktstellen. Brandstellen können durch gute (weiche) Kontaktplatten bei regelmäßigem Tausch vermieden werden. Bei manchen Bauteilen, die nicht eingespannt werden können, weil sonst sensible Oberflächen beschädigt würden, muss man einen technisch sinnvollen Kompromiss finden.



Bild Kontaktlose Magnetisierung. Prüfung eines rundlichen Prüfteils, dessen sensible Oberflächen eine Einspannung nicht zulassen. Durch die runde Bauteilgeometrie wird eine Prüfung mit einer Kreuzspule möglich.

Prüfung langer Teile mit Überlaufspulen

Prüfteile mit einer Länge oberhalb von 900 mm lassen sich nicht ausreichend mit Prüfmaschinen magnetisieren, die nur über seitliche, kombinierte Kontakte (Prinzip der Jochmagnetisierung) verfügen. Während die Stromdurchflutung zur Längsfehlerprüfung entlang der gesamten Prüfteillänge für ein gleich großes Ringfeld sorgt (bei konstantem Prüfteildurchmesser), fällt die Längsmagnetisierung zur Querfehlerprüfung in der Prüfteilmittte zu stark ab.

Daher wird eine fahrende Spule eingesetzt, welche das Prüfteil komplett umschließt. Die Fahrgeschwindigkeit ist so eingestellt, dass die ringförmig an der Spule montierten Bespüldüsen für eine gute Benetzung mit Rissprüfmittel sorgen und somit eine ausreichende Verweildauer des Prüfteils im Magnetfeld gegeben ist. Die Spule ist beidseits mit Bespüldüsen ausgestattet, so dass sie in beiden Fahrtrichtungen eingesetzt werden kann. Die Spannweite kann manuell eingestellt und über eine Klemmung manuell fixiert werden. Optional kann die Spannweitenverstellung auch komplett automatisiert werden. Dafür fährt der rechte Kontakt motorisch an die in der SPS hinterlegte Position und wird danach pneumatisch geklemmt. Die in der Regel großen Prüfteile werden in die Prüfmaschine über Krane und Hebezeuge eingelegt. Dafür kann optional das Dach der Prüfkabine mittig geöffnet und verfahren werden.



Bild Maschine mit Überlaufspule. Die gezeigte Prüfmaschine (Typ DEUTROFLUX UWS) für Bahnwellen verfügt über motorisierte Drehrollen zur allseitigen Betrachtung der Welle und eine Prüfkabine mit pneumatischer Dachöffnung zur komfortablen Beladung.



Bild Mehrkontaktprüfung mit Spule. Für komplex geformte Bauteile wurde dieser Maschinentyp auf vier Stromkontakte erweitert (im Bild sind davon drei im Einsatz).

DEUTROMAT-Prüfmaschinen in Mehrkontakt-Technik

Für eine optimale Magnetisierung sollte bei vielen komplex geformten Bauteilen die Prüfung in Mehrkreismaschinen durchgeführt werden. Dennoch sieht man in der Praxis viele Beispiele einer mangelhaften Magnetisierung. Oft wird dies begründet mit einer Beschränkung des Prüfbereiches auf einige relevante Teilbereiche der Bauteiloberfläche. In vielen anderen Fällen wird jedoch eine Prüfung mit undefinierten Feldstärken erfolgen.

Eine alternative, mehrfache Einspannung solcher Bauteile in Zweikontakt-Maschinen verlängert nicht nur die Prüfzeit erheblich, sondern führt durch die mehrfache Magnetisierung und Bespülung mit Rissprüfmittel zu einer hohen Untergrundfluoreszenz und damit zu einem schlechteren Kontrast (vergleichbar mit der Prüfung bei zu hoher Feldstärke).

Bei korrekt ausgelegten Mehrkontaktmaschinen wird pro „Arm“ des Bauteils ein Kontakt vorgesehen, der in der Regel kombiniert ausgeführt ist (gleichzeitige Einleitung von Strom und Feld). Über Feldstärke-Messungen oder Bauteile mit künstlichen bzw. natürlichen Fehlern wird eine ausreichend gleichmäßige Magnetisierung auf der gesamten Bauteiloberfläche kontrolliert. Die zugehörige Einstellung aller Ströme und Felder ist ein empirischer Vorgang, der viel Erfahrung bei der Auslegung der Rissprüfmaschine erfordert.



Bild Mangelhafte Prüftechnik. Bei beiden gezeigten Prüfteilen wäre zur Optimierung der Magnetisierung eine Prüfung mit drei Kontakten ratsam. Im linken Beispiel wird der markierte Teilbereich ungeprüft bleiben. Im rechten Beispiel ist nicht sichergestellt, dass sämtliche Oberflächen ausreichend und reproduzierbar magnetisiert werden.

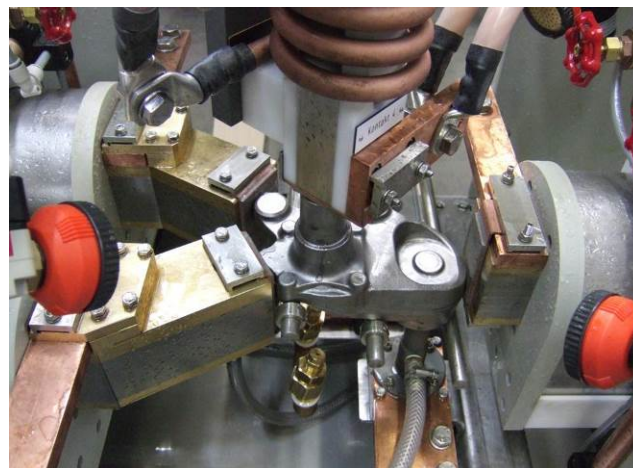


Bild Mehrkontaktprüfung. Prüfung eines Schmiedeteils mit drei horizontalen und einem vertikalen Kontakt.

DEUTROMAT-Prüfmaschinen mit automatisiertem Bauteilhandling

Um einen besonders hohen Durchsatz zu realisieren, kommen häufig Maschinen mit einem automatisierten Bauteiltransport zum Einsatz. Gerade schwerere Bauteile werden automatisiert in die Prüfmaschinen eingebracht, um das Bedienpersonal zu entlasten. Das Handling können sowohl Roboter als auch Portalbeladesysteme leisten.

Eine weitere effiziente Methode für den Bauteil-Transport ist ein Kettenförderer. Typische Taktraten sind 10 Sekunden pro Prüfzyklus. Meist wird ein Bauteil pro Takt geprüft. Je nach erforderlichem Durchsatz können aber auch mehrere Magnetisier-Stationen parallel zum Einsatz kommen. Es wurden bereits Maschinen realisiert, die 8 Teile pro Takt prüfen. Je nach Geometrie werden die Bauteile stehend oder liegend geprüft. Schöpfende Bereiche, in denen sich Prüfmittel ansammeln würde, müssen vermieden werden, um Rissanzeigen auf der gesamten Bauteiloberfläche zu erhalten. Die Kette ist mit schnell wechselbaren Werkstückaufnahmen ausgestattet, um verschiedene Bauteilgeometrien zu berücksichtigen. Es sind auch Lösungen mit motorisch verstellbaren Kontakten zur automatisierten Anpassung der Spannweiten realisierbar.

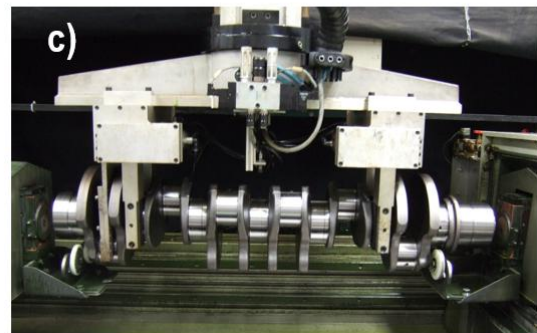
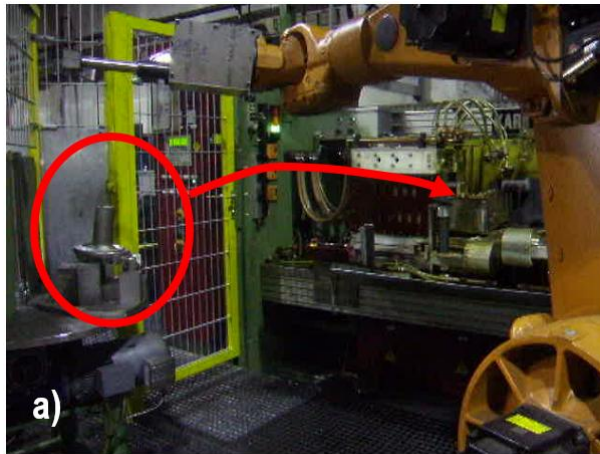


Bild Automatisierte Beladung. a) Beladung einer Prüfmaschine für LKW-Achsschenkel mit Roboter, b) Portalbeladesystem für Kurbelwellen. Die Greifer fahren immer paarweise zur Beladung mit dem zu prüfenden Teil und zur Entladung mit dem geprüften Teil. c) Detailsansicht der Prüfmaschine während der Beladung mit Kurbelwelle.

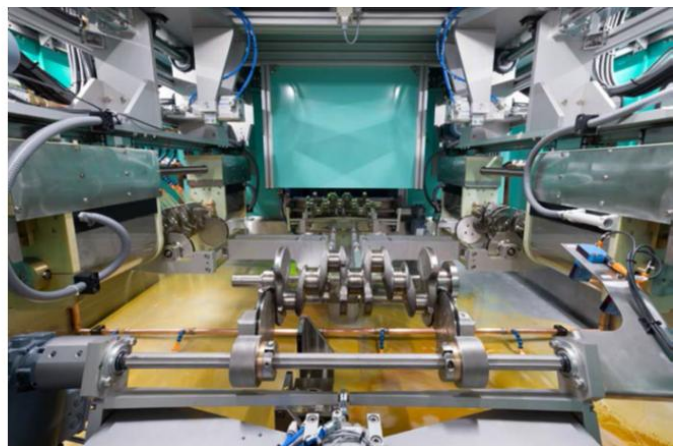


Bild Rundtaktisch. Auch ein Rundtaktisch ist ein gutes Maschinenkonzept für eine vollautomatische Be- und Entladung. Dieses Beispiel für Kurbelwellen weist vier Stationen auf: Be- bzw. Entladung, Magnetisierung, Betrachtung und Entmagnetisierung. Die Beladung erfolgt über Roboter.

Die Maschinen werden von Hand oder automatisiert beschickt. Bei einer manuellen Beladung wird oft eine zusätzliche Sichtprüfung durchgeführt. Die eigentliche Prüfstation ist gekapselt aufgebaut. Spritzschutz und Arbeitsschutz sind somit gewährleistet. Im Auslauf schließt sich die Auswerte-Station an, wo die Auswertung und Sortierung in der Regel manuell erfolgt. Je nach Durchsatz können auch mehrere Betrachter zum Einsatz kommen, wobei sich dann ein Rundtisch im Auswertebereich anbietet.



Bild Maschine mit Kettentransport. Die Bauteile (Radnaben) laufen von links nach rechts durch die gekapselte Prüfmaschine. Die liegenden Radnaben werden durch eine vertikale Magnetisierstation geprüft. Im Auslauf ist die Betrachtungskabine (noch ohne Vorhang) zu sehen.



Bild Maschine mit Kettentransport für 4 Teile pro Takt. Pro Takt werden vier Pleuel mit zwei horizontalen Magnetisierstationen und zwei Mittenkontakten geprüft. a) Einlauf der Prüfmaschine, b) Detail der Magnetisierung.

MEMORY-Parameterspeicher für die Magnetpulver-Rissprüfung

Die neuerdings eingesetzten Bedienfelder (Touch Panels) erlauben eine einfache Eingabe mit der Hand oder mit einem Stift. Die Menümasken sind mehrstufig aufgebaut, so dass auch bei komplexen Vorgängen der Benutzer durch die einzelnen Schritte geführt wird. Bei vielen Maschinen werden Serienteile mit immer gleichen Parametern im Wechsel geprüft. Diese bauteilspezifischen Parameter werden z. B. von der Prüfaufsicht so festgelegt, dass eine korrekte Magnetisierung und ein optimaler Durchsatz gewährleistet sind. Entweder über ein Passwort oder einen Schlüsselschalter können die Zugriffsmöglichkeiten der einzelnen Bediener präzise gesteuert werden, um eine Fehlbedienung auszuschließen. Die gängige Praxis, die Einstellparameter pro Bauteil auf Zetteln neben der Maschine zu hinterlegen, gehört damit der Vergangenheit an.



Bild Touch Panel. Bedienfeld des Parameter-Speichers für die Eingabe per Hand (A) oder per Stift (B).

Folgende Parameter können mit dem MEMORY-Parameterspeicher kunden- oder bauteilspezifisch eingestellt bzw. protokolliert werden:

- Sprachauswahl
- Einricht-Betrieb (mechanisch, pneumatisch, magnetisch)
- Prüfer-Identifikation (Namenseingabe, Absicherung über Passwort oder Schlüsselschalter)
- Teile-Identifikation (ggf. Einlesen von Barcode-Scanner-Daten)
- Zykluszeiten (Bespülung, Magnetisierung), Zeitpunkte für mechanische Bewegungen innerhalb der Maschine
- Stückgut-Zähler, Befund-Eingabe, Gut-Schlecht-Statistik, Schichtprotokoll
- Zusätzliche Dokumentation (Prüfzeitpunkt, weitere Kommentare in freier Texteingabe)
- Überwachung zusätzlicher Messungen und Kontrollen (z. B. regelmäßiger UV-Intensitäts-Check, Feldstärkenmessung, Restlicht-Kontrolle)
- Status der Güte des Rissprüfmittels (in Kombination mit FLUXA-Control)
- Ferndiagnose via Modem
- Ethernet-Schnittstelle zur Fernübertragung der Prüfdaten an eine übergeordnete Stelle

Bei konventionell ausgestatteten Maschinen sind Anzeigeeinstrumente am Schaltschrank der SPS eingebaut, die eine Überwachung der Strom- und Feldstärken während der Prüfung auf einfache Art und Weise erlauben. Die Anzeige von digitalen Zahlenwerten wäre durch die schnellen Veränderungen während der Prüftakte keine gute Lösung. Eine farbige Balkenanzeige mit Markierung der Toleranzbänder hat sich daher beim DEUTROFLUX-MEMORY als praktikabel herausgestellt. Alle Werte werden überwacht und automatisch nachgeregelt, was bei Mehrkontaktmaschinen durch die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Feldkreise nicht trivial ist. Bei Maschinen mit mehr als zwei Magnetisierkreisen kommen entsprechend mehr Balken zur Anzeige.

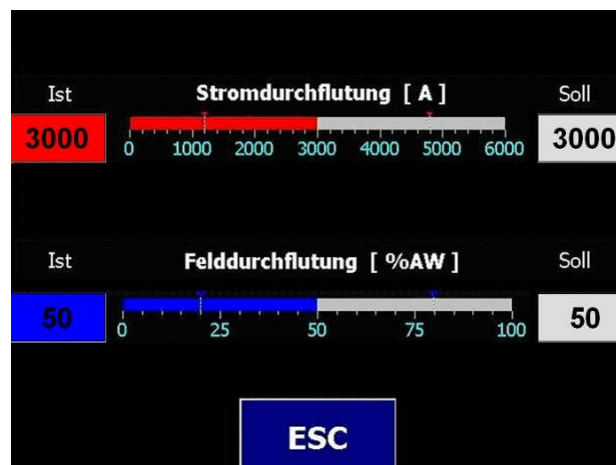


Bild Feldüberwachung. Beide Magnetisierkreise werden getrennt überwacht und als Balkenanzeige visualisiert.



Bild Prüfteilauswahl. Mit der MEMORY-Software ist eine übersichtliche Bauteilauswahl über Fotos realisierbar.

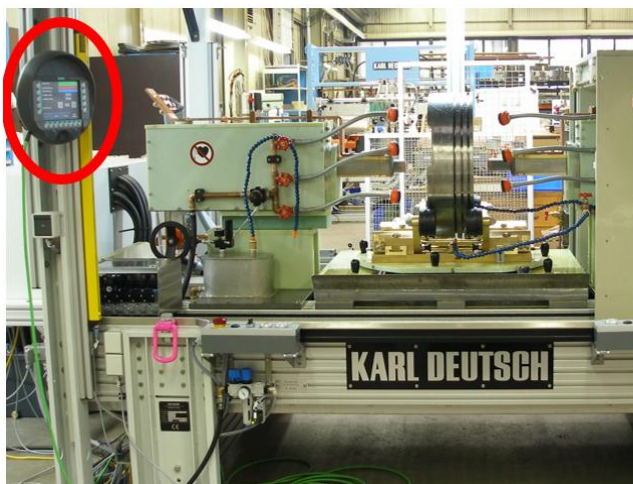


Bild Mobile Touch Panel. Bei Bedarf kommen auch mobile Touch Panels zum Einsatz.

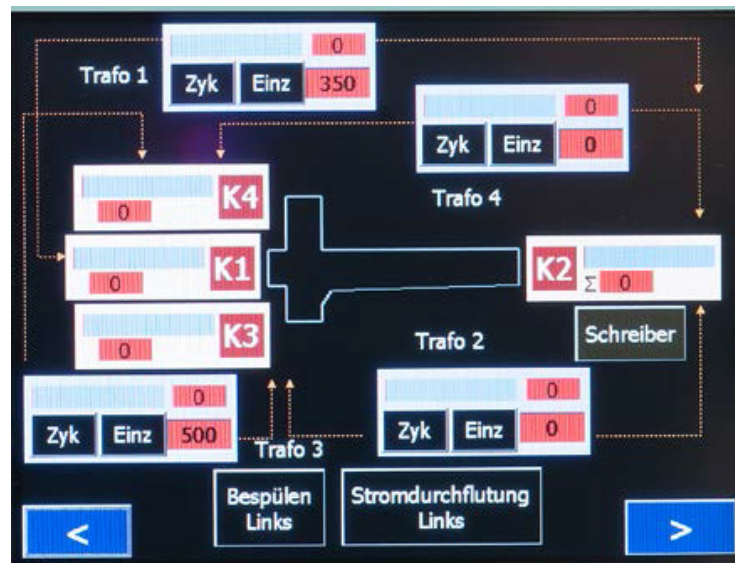


Bild Touch Panel für Mehrkontaktmaschine. Auch komplexe Prüfmaschinen und Prüfaufgaben können übersichtlich verwaltet werden. Im Beispiel können die Feldstärken pro Kontakt durch Drücken auf die Flächen K1 bis K4 komfortabel eingegeben werden.

Rissprüfmittel für die Magnetpulver-Rissprüfung

Aufgrund der chemischen Neutralität bestehen die heutigen Prüfmittel aus oxidiertem Eisenpulver (Rost). Abhängig von der Oxidationsstufe sind diese Pulver von Natur aus rostrot oder schwarz. Um einen ausreichenden Kontrast zum Bauteil zu erzielen, wird bei der mobilen MT-Prüfung das Bauteil oft mit weißer Untergrundfarbe versehen. Hierbei ist darauf zu achten, dass diese Farbschicht nicht dicker als 50 µm ist, da bei dickeren Farbschichten die Nachweiswahrscheinlichkeit deutlich geringer wird.

Bei der Serienprüfung mit stationären Prüfmaschinen wird in der Regel mit fluoreszierenden Prüfmitteln gearbeitet. Hierbei werden die oxidierten Eisenteilchen mit einem Fluoreszenzfarbstoff versehen. In abgedunkelten Räumen unter ultraviolettem Licht leuchten die Rissanzeigen dann meistens gelblich-grün und bilden so einen deutlich höheren Kontrast als die schwarzen oder rostroten Magnetpulver, die unter Tageslicht genutzt werden.

Das Magnetpulver lässt sich trocken oder nass mit einem flüssigen Trägermedium aufbringen. Aus gesundheitlichen und praktischen Gründen wird für die Trockenprüfung relativ grobkörniges Pulver verwendet, welches dann auch nur recht große Risse zur Anzeige bringt. Die Prüfung mit Trockenpulver beschränkt sich daher in der Regel auf die Halbzeugprüfung (Stahlknüppel), auf grobe Risse und auf die Prüfung heißer Bauteile, wo ein flüssiges Trägermedium nicht einsetzbar ist.

Bei der Serienprüfung wird das Prüfmittel meist als Suspension aufgebracht. Als Trägermedium kommen hier Öle oder Wasser zum Einsatz. Auf die Fehlererkennbarkeit hat das Trägermedium keinen Einfluss. Öle zeigen eine gute Benetzbarkeit des Bauteils und zwar unabhängig davon, ob das Bauteil trocken, nass oder ölig/fettig ist. Bei öligen Prüfteilen kann daher ein Waschvorgang vor der Prüfung entfallen. Es ist darauf zu achten, dass die Öle keine eigene Untergrundfluoreszenz aufweisen. Die Langzeit-Lagerfähigkeit wird oft vorteilhaft bei der Prüfung mit Öl bewertet. Eine gute Lagerfähigkeit kann aber auch über eine verstärkte Zugabe von Korrosionsschutzmitteln bei der Prüfung mit Wasser erzielt werden. Die Entflammbarkeit von Ölen und die Kosten für die Anschaffung und Entsorgung sind als Nachteil zu werten. Auch die Prüfzeit verlängert sich durch die höhere Viskosität und die entsprechend längere Abtropfzeit. Die Rissanzeigen können zudem durch ablaufendes Öl wieder überwaschen werden.

Gerade bei der Entsorgung sind wasserbasierte Prüfmittel umweltfreundlicher und daher auch preiswerter. In vielen Städten kann das Prüfmittel über die normale Kanalisation entsorgt werden, wenn eine entsprechende Einigung mit den lokalen Wasserwerken erreicht werden kann. Als Zusätze sind Entspannungsmittel für ein gutes Benetzungsverhalten, aber auch Entschäumer und Korrosionsschutzmittel wichtige Bestandteile der Rezepturen. Als Entspannungsmittel kommen z.B. Tenside zum Einsatz, deren Schaum-Neigung wieder durch den Entschäumer kompensiert wird. Das Korrosionsschutzmittel ist eine preislich sehr relevante Komponente des Prüfmittels und daher sollte man die Anteile auf das für die Prüfaufgabe notwendige Maß beschränken. In der Regel werden die Prüfmittel als wasserbasierte Konzentrate verwendet, um immer einen reproduzierbaren Prüfmittelansatz mit korrektem Mischungsverhältnis zu erhalten. Bei Ansätzen mit Trockenpulver oder Pasten unterlaufen den Bedienern oft Fehler. Daher werden diese Produkte in Europa inzwischen selten verwendet.

Chemikalien unterliegen immer strengeren Regelwerken (z. B. den Verordnungen REACH, GHS und CLP). Daher müssen die technischen Datenblätter und Sicherheitsdatenblätter entsprechend angepasst werden. Eine korrekte Kennzeichnung ist ebenfalls zwingend und mehrsprachig auszuführen.

Eine Chargenprüfung mit Abnahmezeugnis (Qualitätsprüf-Zertifikat) belegt die Überwachung aller wichtigen Kennwerte mit Messergebnissen und Toleranzen. Hierbei werden folgende Daten, Kennwerte und Messwerte protokolliert:

- Produktidentifizierung und Artikelnummer
- Herstellungsdatum
- Charge bzw. Batch
- Korrosionstest nach DIN 51360-2
- Fluoreszenzkoeffizient nach DIN EN ISO 9934-2
- Dichte in g/cm³
- pH-Wert nach DIN 19261
- Oberflächenspannung nach DIN 5391
- Schaumverhalten
- Magnetpulvergehalt bzw. Absetzvolumen nach ASTM E 1444
- Betriebsbeständigkeit nach DBL 6785 und DIN EN ISO 9934-2



Bild Chargenprüfung. Vielfältige Messungen werden durchgeführt und normgerecht protokolliert.

Ein Rückmuster-Lager lässt in Zweifelsfällen eine spätere erneute Untersuchung einer fraglichen Charge zu. Zusätzlich ist eine Musterprüfung durch ein externes Prüflabor (z. B. MPA Hannover) nach DIN EN ISO 9934 wichtig.

FLUXA-Control zur automatisierten Überwachung des Rissprüfmittels

Durch Schmutzeintrag in das Prüfmittel und durch Austrag der Eisenpartikel an den Bauteilen unterliegt das Rissprüfmittel in einer stationären Prüfmaschine einer ständigen Verschlechterung seiner Anzeigefähigkeit. Gängige Praxis zur Überprüfung des Prüfmittels ist die Verwendung von Vergleichskörpern mit bekannten Rissmustern. Dieses Vorgehen führt bei wechselnden Bedienern und wechselnden Betrachtungsbedingungen häufig zu unbefriedigenden Ergebnissen. Sowohl die visuelle Betrachtung als auch zahlreiche Versuche, den Prozess zu automatisieren, scheiterten an der Problematik der regelmäßigen und vollständigen Reinigung des verwendeten Testkörpers. Ein neuer Ansatz schafft nun Abhilfe und wird nach langjährigen Vorversuchen seit 2007 erfolgreich in der Praxis eingesetzt. Der Messaufbau besteht aus einem vom Prüfmittel durchströmten Glasrohr und einem magnetisierten Testkörper mit zwei Sägeschnitten als Testfehler. Ein Glasrohr lässt sich ungleich besser reinigen als jeder direkt gespülte Testkörper. An den beiden Sägeschnitten bilden sich die bekannten Prüfmittelraupen. Zwei Sägeschnitte werden verwendet um redundante Messinformationen zu erzeugen. Zwei weitere Messpunkte überwachen den Reinigungszustand und die Hintergrund-Fluoreszenz im Glasrohr. Das Glasrohr ist über einen Bypass an die Prüfmaschine angeschlossen und wird alle zwei Minuten neu geflutet. Eine UV-sensitive Optik vermisst alle vier Messpunkte und leitet die Ergebnisse an das Steuermodul weiter. Einstellbare Schwellwerte steuern eine Leuchtanzeige, die über den Zustand des Rissprüfmittels Auskunft gibt. Wenn gewünscht, kann die Prüfmaschine bei Schwellwertunterschreitung automatisch stillgesetzt werden. Das Messgerät eignet sich sowohl für die Ausstattung von Neugeräten als auch für die Nachrüstung bestehender Maschinen. Derzeit können nur wasserbasierte Prüfmittel überwacht werden.

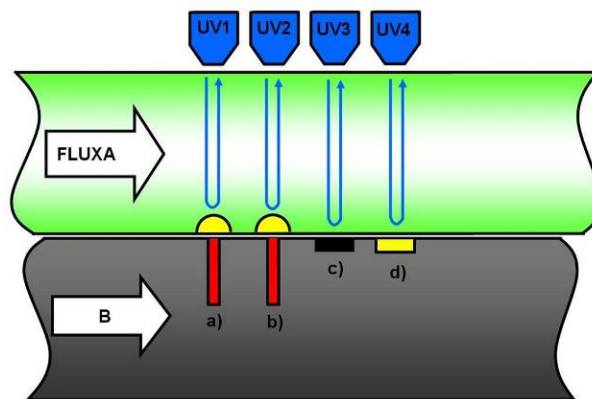


Bild Prinzip der Prüfmittelüberwachung. Der Messaufbau enthält ein von Prüfmittel durchströmtes Glasrohr oberhalb eines magnetisierten Testkörpers. Zwei Rissanzeigen (Sägeschnitte) werden überwacht (a+b) wie auch die Hintergrundfluoreszenz (c) und der Verschmutzungsgrad (d).



Bild Prüfmaschine mit Prüfmittelüberwachung. Das Bedien- und Anzeigemodul (A) gibt über eine farbige Balkenanzeige Auskunft über die Güte des Rissprüfmittels. Das Messmodul (B) ist ebenfalls direkt an der Maschine montiert.

Vollautomatische Auswertung der Rissanzeigen

Viele Jahrzehnte lang wurde versucht, den Auswerte-Prozess komplett zu automatisieren. Bereits in den 80-er Jahren konnte in Ringversuchen gezeigt werden, dass mit der Bewertung durch Menschen keine 100%ige Fehlerfindung erreichbar ist. Diese Untersuchungen durften damals nicht veröffentlicht werden, um Verunsicherungen zu vermeiden. Heute ist es allgemein anerkannt, dass beim manuellen Prüfprozess Fehlstellen übersehen werden können (z. B. auch bei der Ultraschallprüfung, wo inzwischen viele Prüfaufgaben vollautomatisch ablaufen). Dennoch sind vollautomatische Lösungen in der Praxis der MT-Prüfung bis heute selten anzutreffen. Dies hat vielfältige Ursachen. Zunächst sind die zu prüfenden Bauteile sehr komplex geformt. Um eine vollständige Erfassung der Bauteiloberfläche zu gewährleisten, müssen entweder viele Kameras oder eine Manipulation des Bauteils vor der Kamera oder eine Kombination beider Möglichkeiten verwendet werden. Bei einer Vollautomatisierung sollte der Bauteiltransport ebenfalls automatisiert werden. Während man viele Prüfprobleme mit einem apparativen Aufwand in der Größenordnung von 30.000 EUR lösen kann, ist man bei einem Vollautomaten schnell bei einem Investvolumen von 300.000 EUR oder mehr. Dieser große Preisunterschied verhindert oft eine Umsetzung.

Zudem ist eine gefluxte Oberfläche voller Pseudo-Anzeigen in Form von Flecken, Bauteilkanten oder Schmiedegraten. Der Software zur Kamera-Auswertung muss es gelingen, diese Anzeigen von Rissen zu unterscheiden, was eine schwierige Aufgabe ist. Oft müssen die Teilbereiche der Bauteilkanten ausmaskiert werden, was eine präzise Positionierung innerhalb der Prüfmaschine erfordert und ungeprüfte Teilbereiche hinterlässt.

Auch die Pflichtenhefte mancher Projekte machen eine Umsetzung schwierig: Während eine 100%ige Fehlerfindung verlangt wird, ist die Rate der Falschalarme gleichzeitig auf ein sehr niedriges Niveau gesetzt. Gerade, wenn ein Automat sehr kleine Risse finden muss, wird auch die Anzahl der Pseudoanzeigen steigen und ggf. eine manuelle Nachuntersuchung der zweifelhaften Bauteile nach sich ziehen. Die wirklich relevanten Rissgrößen müssen sorgfältig definiert werden. Eine „vollständige Rissfreiheit“ zu verlangen ist ggf. gar nicht zielführend. Vielleicht reicht auch die Prüfung von Teilbereichen der Prüfteiloberfläche, um eine ausreichende Sicherheit des Bauteils zu gewährleisten. Auch bei anderen Prüfverfahren wie Wirbelstrom werden oft nur Teilbereiche oder nur manche Riss-Vorzugsrichtungen erfasst (bedingt durch die Relativbewegung vom ET-Sensor zum Riss).

Eine große Hürde ist aber auch die mangelnde Bereitschaft vieler Betreiber, sich um eine komplexe Prüfmaschine zu kümmern. Ein MT-Vollautomat muss sorgfältig gewartet werden, d. h. die Linsen der Kameras müssen regelmäßig gereinigt werden und das Prüfmittel muss immer gleiche Eigenschaften haben. Hierzu wäre z. B. die FLUXA-Control-Messeinrichtung bestens geeignet. Die Prüfparameter müssen immer gleiche Einstellungen aufweisen, was mit dem MEMORY-Parameterspeicher vorbildlich gelöst werden kann.

Dennoch gibt es Beispiele einer erfolgreichen Umsetzung bei der vollautomatischen Auswertung von Rissanzeigen. Kürzlich umgesetzte Projekte sind leider alle durch Geheimhaltungsvereinbarungen geschützt und Bilder dürfen nicht gezeigt werden. Daher muss auf alte Bilder zurückgegriffen werden:

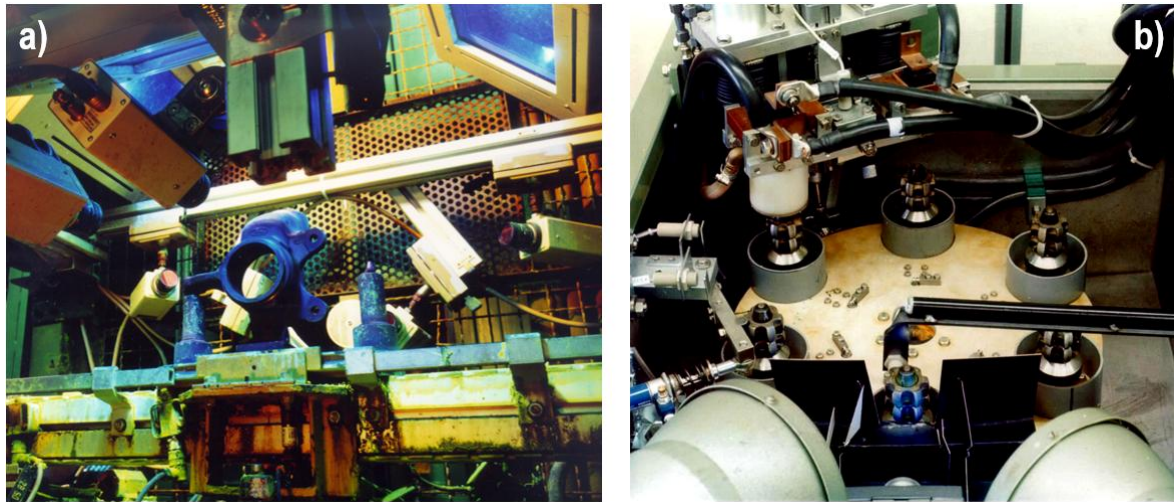


Bild Kamera-Auswertung bei der MT-Prüfung. a) Prüfmaschine mit Kettentransport bei FORD zur Prüfung von Achsschenkeln, b) Rundtisch zur Prüfung von Kugelnaben bei VW

Ultraviolette Leuchten für die Magnetpulver-Rissprüfung

Die Tageslichtprüfung kommt eigentlich nur bei der mobilen Anwendung der Magnetpulver-Prüfung zum Einsatz. Hierbei wird eine minimale Beleuchtungsstärke von 500 Lux gefordert. Im Regelfall wird das Bauteil mit einer weißen Untergrundfarbe versehen, um den Kontrast zum schwarzen Rissprüfmittel zu verbessern. Die Prüfung an Serienteilen erfolgt im Regelfall mit fluoreszierenden Prüfmitteln und die Auswertung unter UV-Licht.

Da die Intensität der meisten UV-Strahler im Gegensatz zu Glühbirnen im Laufe der Zeit kontinuierlich abnimmt, ist eine regelmäßige Überwachung notwendig, um sicherzustellen, dass die normgerechte minimale Strahlungsintensität von 10 W/m^2 nicht unterschritten wird. Die Messung sollte immer an der Stelle erfolgen, wo sich das zu betrachtende Prüfobjekt normalerweise befindet. Da sichtbares Licht bei der Betrachtung unter UV-Licht stört, soll nur ein geringer Anteil sichtbaren Lichtes unterhalb von 20 Lux vorhanden sein.

Gemäß der Richtlinie EM6 der DGZfP sind UV-Strahler in Risikoklassen von 0 bis 4 einzuordnen. Aus dieser Richtlinie geht dann hervor, welche Schutzmaßnahmen am Arbeitsplatz notwendig sind. Die Klassen 0 und 1 kommen für die Magnetpulver-Rissprüfung nicht in Betracht. Solche Leuchten würden keine ausreichende Bestrahlungsstärke für die Magnetpulver-Rissprüfung erreichen. Einsetzbar sind daher Strahler ab der Risikoklasse 2. Stärkere Leuchten könnten zwar mehr Umgebungslicht erlauben und gerade bei der mobilen Prüfung oft hilfreich sein, werden aber kaum noch eingesetzt. Für die Risikoklasse 2 reicht es aus, wenn das Prüfpersonal körperbedeckende Arbeitskleidung, eine UV-Schutzbrille sowie Handschuhe trägt und gewährleistet ist, dass der Prüfer nicht direkt in den Strahler hineinsehen kann (bei stationären Leuchten sollte sich die Leuchtenunterkante unterhalb der Augenhöhe befinden). Die Risikoklasse 2 kann für viele konventionelle UV-Strahler dadurch erreicht werden, dass neben der üblichen Filterscheibe noch ein zusätzlicher „Kantenfilter“ (eine zweite Filterscheibe) angebracht wird. Hierdurch reduziert sich zwar die Bestrahlungsstärke, was aber dem Schutz des Prüfers dient. Bei der Bestimmung der Risikoklasse handelt es sich um eine UV-Spektralmessung, die mit einer Risikofunktion gewichtet und oft durch externe Labore durchgeführt wird. Die einfachen und weit verbreiteten Messgeräte sind dazu nicht in der Lage. Bei diesen Geräten wird ein summiertes Messergebnis über einen größeren Bandbreitenbereich erzeugt und keine Risikogewichtung nach Wellenlängen durchgeführt. Daher sind die einfachen Messgeräte auch nur in der Lage, den Abfall der UV-Intensität über die Zeit zu protokollieren und einen rechtzeitigen Leuchtmittel-Tausch zu ermöglichen.

Seit einigen Jahren sind UV-LED-Leuchten verfügbar und inzwischen stark verbreitet. Nur spezielle UV-LEDs dürfen verbaut werden, die eine Fluoreszenz-Anregung bei 365 nm erzeugen. Die LED-Leuchten haben viele Vorteile. Sie sind energiesparend, benötigen keine Hochlaufzeit und viele Leuchten laufen ohne Lüfter, was sie sehr servicefreundlich macht. Mobile Leuchten profitieren besonders von der Energieersparnis, weil die Betriebszeit pro Akkuladung deutlich länger ist als bei konventionellen UV-Leuchten. Bei Großflächenleuchten,

die dreischichtig ein Einsatz sind, wird allerdings die Lebensdauer der LEDs schneller erreicht, als von vielen Betreibern gedacht. Eine Betriebsdauer von 10.000 Stunden wird fast in einem Jahr erreicht. Die Angaben zur LED-Lebensdauer schwanken (noch) zwischen 10.000 und 35.000 Stunden, wobei die Kühlung der LEDs auf den Platinen ausschlaggebend ist. Moderne Leuchten sind daher mit einem Betriebsstunden-Zähler ausgestattet.

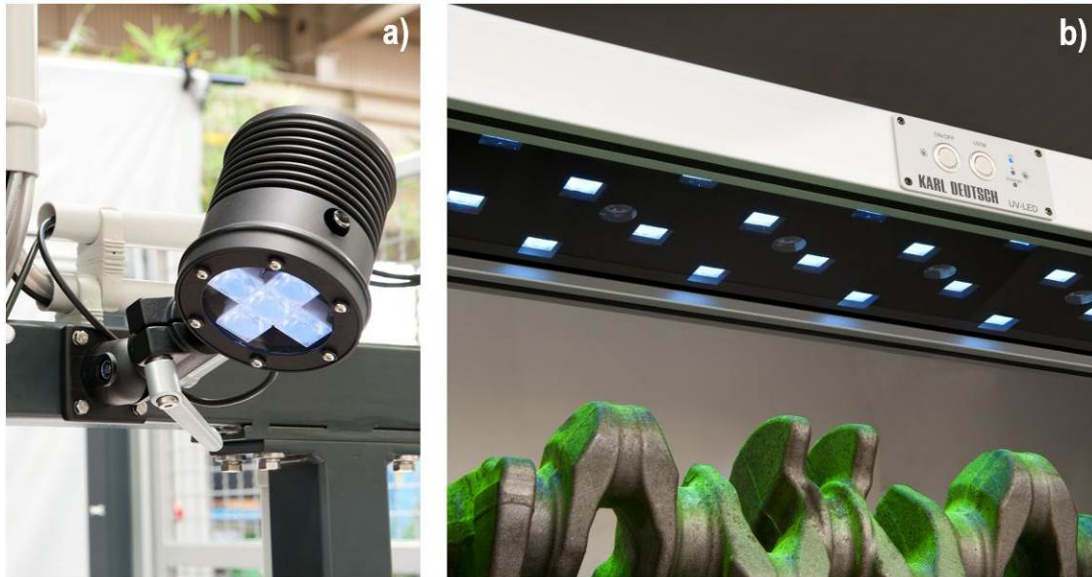


Bild UV-LED-Leuchten. a) Auch mobile UV-LED-Leuchten sind bei der Serienprüfung gut einsetzbar, um schwierig zugängliche Bereiche auszuleuchten. b) UV-LED-Großflächenleuchten verfügen über eine Matrix von LEDs, deren Abstand so gewählt ist, dass eine homogene Ausleuchtung des Prüfteils erreicht wird.

Blaulicht-Leuchten auf LED-Basis sind ebenfalls zur Prüfung mit fluoreszierenden Prüfmitteln einsetzbar. Sie ermöglichen eine Auswertung unter Tageslicht unter Verwendung einer Brille mit optischem Filter. Wenn man allerdings mit ungeschütztem Auge in die Lampen schaut, sind ernste Augenschädigungen denkbar. Daher müssten die Aspekte der Arbeitssicherheit für die Prüfbereiche sorgfältig betrachtet werden. Die gängigen Normen sahen keine Blaulicht-Leuchten vor. Bis heute ist die Normungslage zu diesem Thema nicht einheitlich. Es sollte nicht unterschätzt werden, wie empfindlich das Prüfpersonal bei Veränderungen der Ausleuchtung reagiert. Ein etablierter Prüfprozess sollte nicht leichtfertig verändert werden. Auch von Blendungen durch Bauteiloberflächen wurde berichtet. Die Serienprüfung arbeitet daher bis heute im Regelfall mit gängigen UV-Leuchten im Wellenlängenbereich von 365 nm.

Vergleich der Magnetpulver-Prüfung mit anderen Oberflächen-Rissprüfverfahren

Es gibt viele Prüfmethode zur Detektion von Oberflächenrissen. Der denkbare Automatisierungsgrad und der apparative Aufwand unterscheiden sich dabei erheblich.

Die Sichtprüfung wird bei der Prüfung von Automobil-Serienteilen auf Oberflächenrisse in der Regel keine Ergebnisse liefern.

Die Wirbelstromprüfung ist gut automatisierbar und für einfache Bauteilgeometrien weit verbreitet. Die korrekte Auslegung der Sensorik ist sehr wichtig, um relevante Fehlergrößen und Fehlerorientierungen zu liefern. Durch den Einsatz einer ausgefeilten Sensorführung (Mehrachssysteme, Robotik) steigen die Einsatzmöglichkeiten bei komplex geformten Bauteilen. Allerdings vergrößert sich auch der apparative Aufwand. Der erforderliche geringe Sensorabstand zur Bauteiloberfläche führt zu hohen Anforderungen bei der Sensorführung und die Sensoren sind im Regelfall Verschleißteile. Bei vielen Schmiedeteilen, die heute einer MT-Prüfung unterzogen werden, erlauben Geometrien, Maßtoleranzen und Oberflächenrauigkeiten keine Wirbelstromprüfung.

Die Farbeindringprüfung kommt bei vielen Serienteilen zum Einsatz, wo die Materialien nicht magnetisch sind. Der Trend zum Aluminium für viele Schmiedeteile im Automobilbereich liefert daher viele neue Prüfaufgaben. Die Eindringprüfung ist langsamer und verlangt bei hohen Durchsatzraten aufwändige Prüfanlagen, wo die einzelnen

Prozessschritte parallel in vielen Stationen ablaufen. Die Automatisierbarkeit ist ähnlich schwierig oder noch schwieriger als bei der MT-Prüfung. Daher erfolgt die Auswertung in der Regel durch das Prüfpersonal.



Bild Vollautomatische Penetrieranlage. Der Bauteiltransport zwischen den einzelnen Stationen ist über pneumatisch geschobene Werkstückträger vollautomatisiert. Die Bestandteile des Prüfmittelsystems (hier Eindringmittel, Waschwasser und Trockenentwickler) unterliegen einer vollständigen und komplexen Prozesskontrolle.

Die Thermografie ist ein recht neues Prüfverfahren, welches sich für manche Prüfteile in der Luftfahrtbranche bereits etabliert hat. Große, relativ gleichmäßige CFK-Flächen werden hierbei betrachtet. Auch zur Knüppelprüfung im Durchlauf sind neue (aber sehr teure) Prüfanlagen verfügbar. Es gibt zahlreiche Versuche, das Verfahren auch in der Serienprüfung von Auto-Schmiedeteilen einzusetzen. Der apparative Aufwand ist relativ groß, bedingt u. a. durch die relativ teuren Wärmekameras. Der Auswerteprozess wäre dann wieder manuell oder automatisiert auszuführen und es gelten dieselben Ausführungen wie zur MT-Prüfung: Eine Software zur vollständigen Erfassung aller Bauteiloberflächen ist recht aufwändig. Der Richtung von Wärmefluss im Bauteil und die Orientierung der damit auffindbaren Risse sind zu beachten. Zudem ist es auch mit diesem Prüfverfahren schwierig, Aussagen zur Fehlergröße und/oder Fehlertiefe zu machen.

Nach den vorgenannten Ausführungen wird deutlich, dass jedes Prüfverfahren Vor- und Nachteile aufweist. Bei vielen Prüfteilen ist klar, welches Prüfverfahren optimal geeignet ist. Bei manchen Prüfteilen werden die Prüfverfahren im Wettbewerb stehen. Die Magnetpulver-Rissprüfung wird dabei weiterhin eine wichtige Prüfmethode bleiben.

Literatur zur Magnetpulver-Rissprüfung

- [1] V. Deutsch, W. A. K. Deutsch, W. Morgner, V. Schuster, R. Wagner, M. Vogt, F. Bartholomai: Magnetpulver-Rissprüfung - Grundlagen und Praxis, Castell Verlag Wuppertal, 256 Seiten, 2012.
- [2] V. Deutsch, M. Vogt, M. Platte, V. Schuster: ZfP Kompakt und Verständlich, Band 3: Die Magnetpulver-Rissprüfung, Castell Verlag Wuppertal, 55 Seiten, 1999.
- [3] W. A. K. Deutsch, R. Wagner, W. Weber: Abnahmekriterien bei der Qualitätssicherung von Magnetpulver-Rissprüfmitteln, DGZfP-Tagung Berlin, Mai 2001.
- [4] W.A.K. Deutsch, R. Wagner: Zeitgemäßer Umgang mit MT- und PT-Prüfmitteln – Auswahl und Anwendungstechnik, Sonderdruck Fa. KARL DEUTSCH, April 2004.
- [5] W. Weber, W. Deutsch, V. Schuster, F. Bartholomai: Konzepte zur Reduzierung der Taktzeit bei der Magnetpulver-Rissprüfung, Schmiedejournal, März 2005.

Stand der Technik bei der Magnetpulver-Rissprüfung

- [6] V. Schuster, F. Bartholomai, P. Müller, W. A. K. Deutsch: „Automatische Überwachung der Anzeigefähigkeit des Magnetpulver-Prüfmittels mit FLUXA-Control“, DGZfP-Tagung Fürth, Mai 2007.
- [7] M. Ratmann, F. Bartholomai, V. Schuster, W. Deutsch: Magnetpulver-Rissprüfanlagen für große Lagerringe und Getriebe-Komponenten unter anderem für die Windenergie-Erzeugung, Schmiedejournal, September 2008.
- [8] V. Schuster: Optimale Parameterwahl bei der Magnetpulverprüfung und ihre Auswirkungen auf die Fehlererkennbarkeit, Symposiumsbeitrag bei der SLV-Duisburg, 2008.
- [9] W. A. K. Deutsch, F. Bartholomai, D. Herkenrath: MEMORY-Parameterspeicher für komplexe Magnetpulver-Rissprüfmaschinen, DGZfP-Tagung Münster, Mai 2009.
- [10] W. A. K. Deutsch, F. Bartholomai: Magnetpulver-Rissprüfung an Eisenbahn-Komponenten DGZfP-Tagung Dresden, Mai 2013.
- [11] DGZfP-Richtlinie EM 6: „Merkblatt über Betrachtungsplätze für die fluoreszierende Prüfung mit dem Magnetpulver- und Eindringverfahren - Ausrüstung und Schutzmaßnahmen bei Arbeiten mit UV-Strahlung“, 2012.

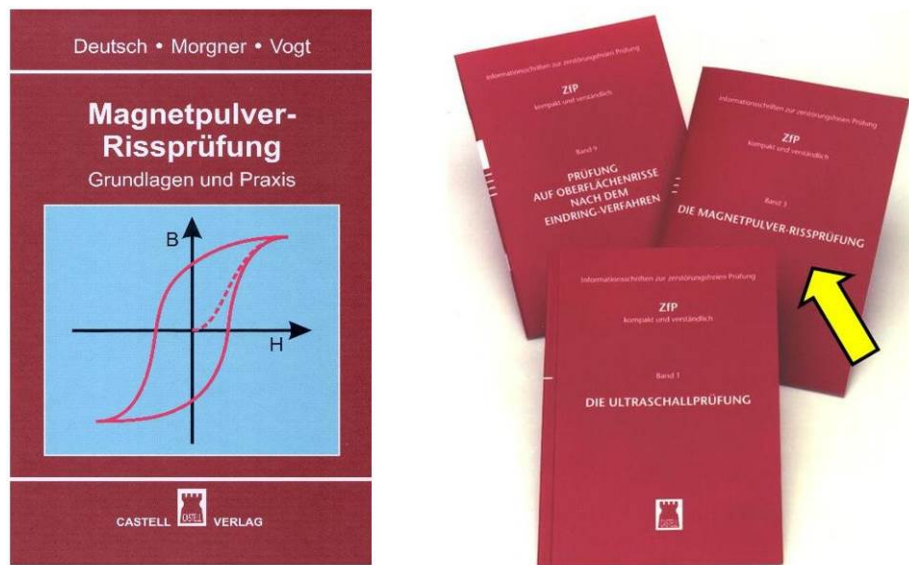


Bild Literatur. Bücher zur Magnetpulver-Rissprüfung aus dem Hause KARL DEUTSCH