

Magnetpulverprüfung in Felddurchflutung mit Kreuz- und orthogonalen Zusatzspulen – Prüfung von Werkstücken großer Abmessungen

Rainer LINK¹, Nathanael RIESS²

¹ Unternehmensberatung Dr. Rainer Link, Kerpen

² Helling GmbH, Heidgraben

Kurzfassung. In der Magnetpulverprüfung als wichtigstem Prüfverfahren ferromagnetischer Werkstücke ist oft der Nachweis von Oberflächenfehlern sowohl in horizontaler als auch vertikaler Ausdehnungsrichtung erforderlich. Dies kann durch Drehung des Prüflings oder durch gleichzeitige oder nacheinander durchgeführte Feld- und/oder Stromdurchflutung gewährleistet werden.

In diesem Vortrag wird ein Magnetpulverprüfsystem vorgestellt, das aus einer Kreuzspule besteht, die mit einem um 90 Grad phasenverschobenen Wechselstrom betrieben wird, das Magnetfelder in allen Richtungen der horizontalen Ebene des Werkstückes bewirkt.

Gleichzeitig erzeugt ein Spulenpaar, dessen Achse vertikal verläuft und in etwa einer Helmholtz-Anordnung entspricht, ein den Prüfling vertikal durchsetzendes Magnetfeld.

Auf diese Weise können auch Objekte großer Dimension in einem Arbeitsgang auf horizontal und vertikal verlaufende Oberflächenfehler in allen Richtungen nachgewiesen werden.

Im Folgenden werden die physikalischen Aspekte dargestellt und Anwendungen an großen Eisenbahnkomponenten vorgestellt.

Einführung

Die Magnetpulverprüfung ist eines der am häufigsten eingesetzten zerstörungsfreien Prüfverfahren. Der eigentliche Prüfvorgang ist relativ unkompliziert und äußerst sensitiv auf Oberflächenfehler.

Die Magnetisierungsvorrichtung zur Erzeugung einer hinreichend starken magnetischen Erregung, des H-Feldes (Magnetische Erregung H und magnetische Flussdichte B werden im Folgenden der Einfachheit halber als Magnetfeld bezeichnet, Unterscheidung siehe z. B. [2]) erfordert jedoch insbesondere bei kompliziert geformten oder großen Prüfobjekten aufwendige Magnetisierungsvorrichtungen, um rissartige Oberflächenfehler in allen Richtungen, longitudinal und transversal, zu detektieren.

Die derzeit am häufigsten eingesetzten Prüfanordnungen sind die Stromdurchflutung und die Jochmagnetisierung (Abb. 1).

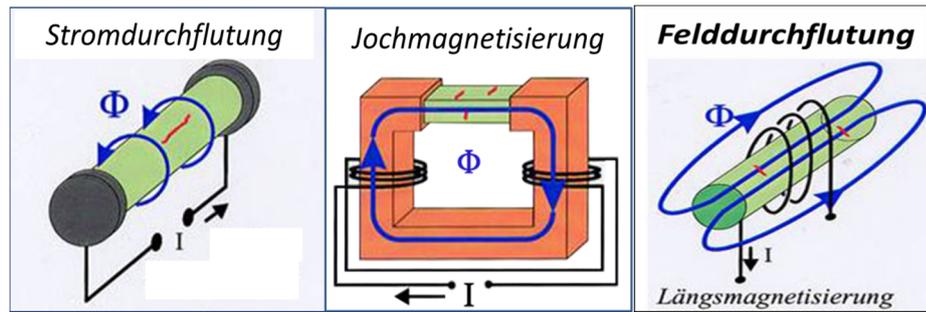


Abb. 1. Stromdurchflutung, Jochmagnetisierung und Felddurchflutung [1]

Ein Beispiel für die Magnetpulverprüfung einfacher geformter Bauteile, einer Achswelle, ist in Abbildung 2 dargestellt.



Abb. 2. Stromdurchflutung und Jochmagnetisierung mittels Felddurchflutung zur Prüfung einer Achswelle (Helling GmbH)

Bei komplizierteren Geometrien der Prüfobjekte können mehrere Stromkreise für die Stromdurchflutung, Jochmagnetisierungen und gegebenenfalls noch zusätzliche Magnetspulen für die Felddurchflutung (Abb.1) erforderlich werden.

Die diversen Magnetisierungskreise und damit die Prüfung müssen oft nacheinander durchlaufen werden, was zu erheblich längeren Prüfzeiten führt. Zusätzlich müssen die Objekte noch manipuliert – im einfachsten Fall gedreht - werden, um eine vollständige Prüfung für Oberflächenrisse in allen Richtungen durchzuführen.

Die bei den genannten Prüfanordnungen entstehenden wesentlichen Nachteile sind zusammengefasst:

- Kontakteinbrand bei inhomogenen Ankopplungen des Werkstückes
- Mehrere Stromkreise und Jochmagnetisierungen evtl. mit zusätzliche Feldspule
- Aufwendige Manipulation des Werkstückes und /oder der Ankopplung
- Relativ hohe Investitions- und Betriebskosten
- Hoher Zeitaufwand für die Prüfung

Das Ziel der hier vorgestellten Entwicklungen ist eine Magnetisierungseinrichtung auch für Prüfobjekte sehr großer Abmessungen und komplizierter Geometrien (und gemeint sind wirklich große Abmessungen, siehe Abb. 3), die erlaubt:

- berührungslos zu prüfen,
- mit minimaler Manipulation,
- dem simultanen Nachweis von Oberflächenrissanzeigen in allen Richtungen
- und somit geringen Prüfzeiten.



Abb. 3. Prüfobjekt Achsträger eines Güterwagens

Lösung des Prüfproblems

Das Entwicklungsziel wird durch eine Magnetisierungsanordnung mit Kreuzspulen und zusätzlichen Parallelspulen in Helmholtz-Anordnung erreicht.

Sie besteht, wie in der folgenden Abbildung 4 schematisch dargestellt ist, aus zwei unter einem rechten Winkel gekreuzten Spulen, den Kreuzspulen, deren Magnetfelder um einen Phasenwinkel von 90° gegeneinander verschoben sind. Dies bewirkt ein in der horizontalen Ebene rotierendes resultierendes Magnetfeld. Zwei senkrecht hierzu angebrachte Parallelspulen erzeugen ein Magnetfeld in vertikaler Richtung.

Die erforderlichen Wechselströme werden durch drei Transformatoren mit etwa 1400 A jeweils bereitgestellt.

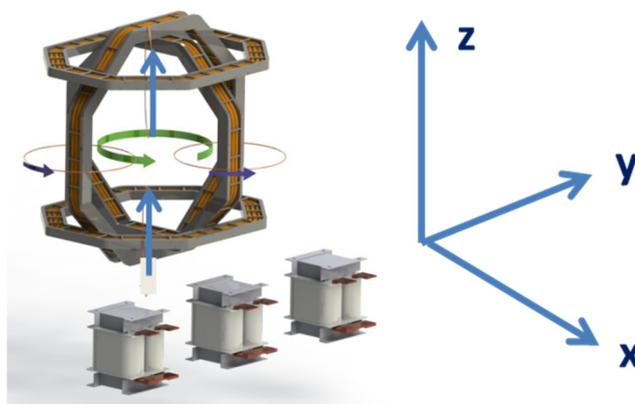


Abb. 4. Schematische Darstellung der Magnetisierungsanordnung, Kreuzspule mit zusätzlichen Parallelspuln

Physikalischer Hintergrund

Magnetfelder unterschiedlicher Herkunft addieren sich vektoriell (Abb. 5, links)

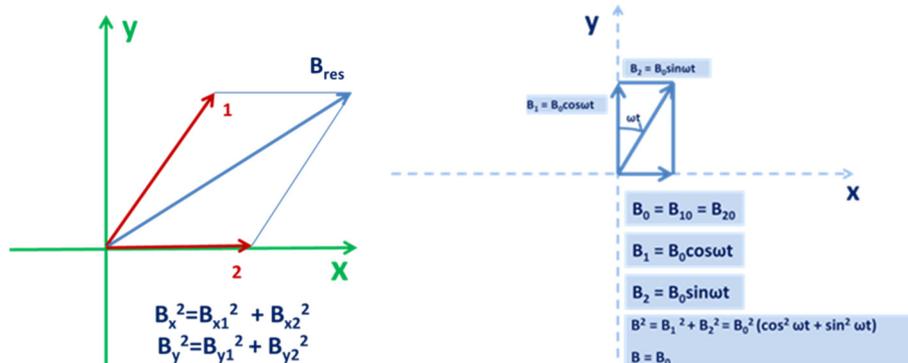


Abb. 5. Vektorielle Addition von Magnetfeldern und schematische Darstellung der Überlagerung der beiden Magnetfelder der Kreuzspulen, bei einem Phasenwinkel von 90° zwischen beiden.

Für eine Kreuzspulenordnung ist die Situation bei einer Phasenverschiebung von 90° zwischen den beiden Magnetfeldern in Abb. 5 rechts dargestellt.

Das resultierende Magnetfeld rotiert in der x-y-Ebene, was man auch mit einem eingebrachten Kompass sehr schön nachweisen kann, dessen Nadel die Rotation des Magnetfeldes mitmacht.

Man erreicht somit ein Magnetfeld, das in allen Richtungen der x-y-Ebene zeigt und somit auch alle rissähnlichen Anzeigen entsprechend darstellt.

Die Magnetfelder der beiden Parallelsolen ergeben dann das noch fehlende Magnetfeld in z-Richtung.

Berechnung der Magnetfelder der Kreuz- und Parallelsolen

Die Berechnung der Magnetfelder erfolgt gemäß dem Bio-Savart'schen Gesetz für stromdurchflossene Leiter, das mathematisch in der Abb. 6 beschrieben ist.

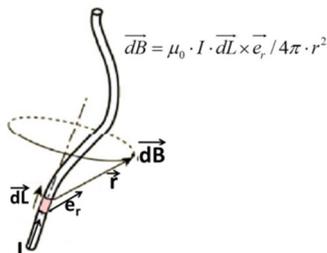


Abb. 6. Biot-Savart'sches Gesetz zur Berechnung von Magnetfeldern bei stromdurchflossenen Leitern

Auf der z-Achse einer kreisförmigen kurzen Spule ist das Magnetfeld B mit den Spulengwerten Strom I , Windungszahl N , Radius R der Spule, der Permeabilitätskonstante μ_0 im Vakuum und dem Abstand z vom Mittelpunkt der Spule

näherungsweise (bei Länge der Spule \ll als Durchmesser und Abstand z) durch die folgende Relation gegeben:

$$N \cdot I = 2 \cdot B / (\mu_0 R^2) \cdot \sqrt{(R^2 + z^2)^3}$$

Bei der hier beschriebenen Anordnung der Spulen, die alle Magnetfelder senkrecht oder parallel zueinander erzeugen, kann man durch einfache Superposition die resultierenden Magnetfelder erhalten.

Für diverse Anordnungen wurden die Magnetfelder berechnet und mit den gemessenen Werten verglichen.

Sie stimmen, wie nicht anders zu erwarten, sehr gut überein.

Magnetfeldanordnungen für Kreuzspulen und Parallelspeulen

Eine einfache Kreuzspule ist in Abb. 7 zu sehen. Für Rohrprüfungen mit einer zusätzlichen Drehung des Rohres um 90° kann man horizontale und vertikale Fehlerrichtungen nachweisen.



Abb. 7: Einfache Kreuzspule, mit einfacher Drehung des Prüfkörpers um 90° kann man horizontale und vertikale Risse nachweisen.

Mit einer zusätzlichen orthogonalen Zusatzspule werden bei einem Magnetisierungsvorgang alle Fehlerrichtungen abgedeckt (Abb. 8)

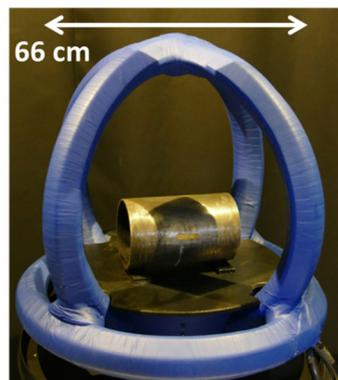


Abb. 8. Kreuzspule mit einer zusätzlichen senkrecht angeordneten Spule

Das eigentliche Ziel war große Werkstücke mit komplizierten Geometrien in einem Magnetisierungsvorgang berührungslos zu prüfen.

Hierzu wurde eine entsprechende Versuchs- und Applikationsanlage im Technik Zentrum der Fa. Helling GmbH aufgebaut (Abb. 9).

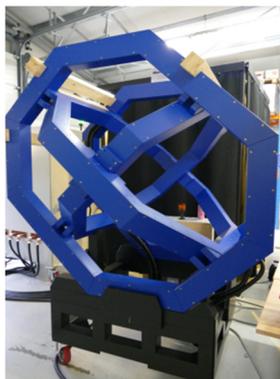


Abb. 9. Versuchs- und Applikationsanlage mit Kreuzspulen und orthogonalen Parallelspeulen

Messungen

Mit dieser Anlage wurden die Magnetfeldmessungen entlang der angegebenen Messpunkte für die einzelnen Spulen und für die resultierenden Felder bei Einschaltung aller Spulen durchgeführt (Abb. 10). Der Durchmesser der Spulen beträgt ca. 160 cm.

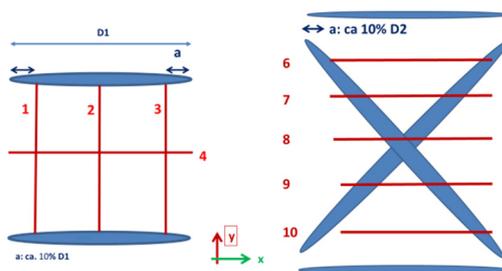


Abb. 10. Messprogramm für die einzelnen Kreuz- und orthogonalen Parallelspeulen, getrennt und gemeinsam, D1 und D2 ca. 160 cm.

Als Beispiel sei die Messung angeführt, wenn alle Spulen bei einem Spulenstrom von 1.400 A ($N=6$ Windungen pro Spule) betrieben werden.

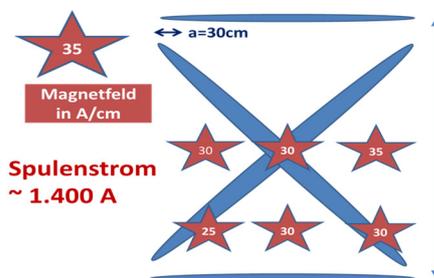


Abb. 11. Messergebnisse der Anlage von Abb. 9 bei einem Spulenstrom von 1.400 A und 6 Windungen pro Spule, Durchmesser der Spulen ca. 160 cm.

Überprüfung mit Kontrollkörper

Mit Burmah Castrol Kontrollkörpern wurde an einem eingefahrenen Rohr (Abb. 12) überprüft, ob das Magnetfeld mit den oben beschriebenen Parametern hinreichend groß für eine Magnetpulverprüfung ist.

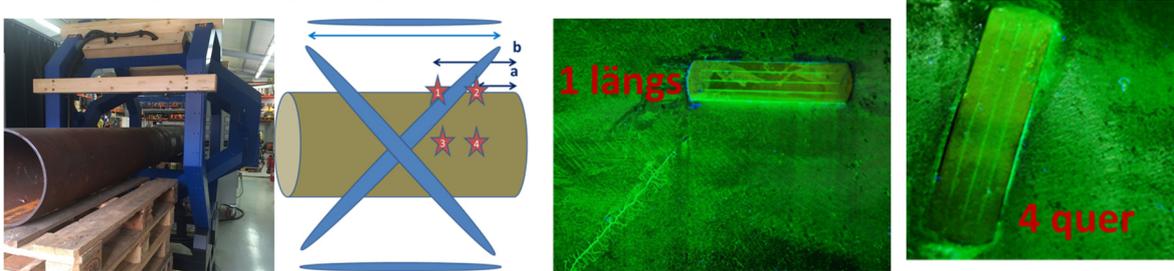


Abb. 12. Überprüfung mit Burmah Castrol Kontrollkörper

Prüfung eines Komplexen Bauteils: Achsträger eines Güterzugs

Für die MT-Prüfung eines Waggonwagen-Achsträgers wurde eine Magnetpulverprüfanordnung hergestellt mit der alle relevanten Fehler in einem Magnetisierungsvorgang pro Prüfabschnitt gefunden wurden. Diese ist in der folgenden Abb. 13 zu sehen.



Abb. 13. Prüfung eines großen komplexen Bauteils

Referenzen

- [1] Einführung in die zerstörungsfreie Prüfung, Folien zur Unterstützung im Fach Werkstoffkunde, DGZfP, TU Magdeburg
- [2] R. Link, N. Riess, Oberflächenrissprüfung, Sichtprüfung, Eindringprüfung, Magnetpulverprüfung, 2013, ISBN 978-3-00-043274-3
- [3] Pat. Pending EP 14172219