

Zerstörungsfreie Prüfung

Wirbelstromprüfung von Rohren

Durchführung der Wirbelstromprüfung

DIN
54 141
 Teil 3

Non-destructive testing; eddy current testing of tubes; procedure

Essais non destructifs; contrôle des tubes par courants de foucault; mode opératoire

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für die zerstörungsfreie Prüfung ferromagnetischer und nichtferromagnetischer Rohre mit Außen- und Innendurchlaufspulen nach der Einfrequenzmethode. Sie ist anzuwenden für die Prüfung von Rohren während der Fertigung oder im eingebauten Zustand (z. B. Kondensatorrohre oder Dampferzeugerrohre).

Übliche Rohrdurchmesser liegen im Bereich von 4 bis 150 mm mit Wanddicken zwischen 0,5 und 5 mm.

2 Zweck

Zweck dieser Norm ist es, allgemeingültige Regeln zur Durchführung der Wirbelstromprüfung zu geben. Grundlagen und Bilder zur Bestimmung der Eigenschaften von Prüfspulen und Vorgehensweisen zur Bestimmung von Prüfparametern sind dem Anhang A zu entnehmen. Anhand eines Beispiels werden im Anhang B für eine vorliegende Prüfaufgabe die im Anhang A dargestellten Zusammenhänge angewendet.

Im Anhang C wird eine Zuordnungstabelle zur Verdeutlichung der Zusammenhänge zwischen DIN 54 141 Teil 2 und Teil 3 angegeben.

3 Ablauf der Wirbelstromprüfung

- a) Kalibrierung des Prüfsystems auf ein vorliegendes Problem:
- Auswahl und Zusammenstellung des Systems (siehe Abschnitt 6)
 - Einstellung des Systems (siehe Abschnitt 7)
- Dabei müssen Festlegungen in der Produktnorm (siehe Abschnitt 4.1) eingehalten werden. Für den Prüfer gibt es

darüber hinaus noch eine Reihe von Freiheitsgraden (siehe Abschnitt 4.2). Allgemeingültige Regeln für die Durchführung des gesamten Prüfablaufes müssen beachtet werden (siehe Abschnitt 5).

- b) Laufende Prüfung und Kontrolle des Prüfsystems (siehe Abschnitt 8).
- c) Prüfbericht (siehe Abschnitt 9).

4 Prüfvorschrift

4.1 Erforderliche Angaben

Eine produktbezogene Prüfvorschrift (z. B. Prüfblatt, Spezifikation) muß mindestens folgende Angaben enthalten, welche die Wirbelstromprüfung in wesentlichen Punkten festlegen:

- Geltungsbereich der Prüfvorschrift
- Zustand der zu prüfenden Rohre
- Vergleichsfehler (z. B. Bohrungen, Nuten)
- Auswertung und Bewertung

Ferner sollten Angaben zur gegebenenfalls erforderlichen Nacharbeit und Nachprüfung der Rohre gemacht werden.

4.2 Freiheitsgrade

Werden in der Prüfvorschrift das Wirbelstromprüfsystem und die Prüffrequenz nicht festgelegt sowie keine Angaben zur Auswertetechnik gemacht, so hat der Prüfer Freiheiten in der Auswahl und Einstellung des Prüfsystems. Der optimale Einsatz setzt Kenntnisse voraus bezüglich

- der Prüfaufgabe
- den Eigenschaften des Prüfsystems.

Fortsetzung Seite 2 bis 12

Zitierte Normen

- DIN 54 140 Teil 2 Zerstörungsfreie Prüfung; Induktive Verfahren; Begriffe
- DIN 54 141 Teil 1 Zerstörungsfreie Prüfung; Wirbelstromprüfung von Rohren; Allgemeines zur Prüfung mit Durchlaufspulen nach der Einfrequenzmethode
- DIN 54 141 Teil 2 Zerstörungsfreie Prüfung; Wirbelstromprüfung von Rohren; Kontrollverfahren zur Bestimmung der Eigenschaften eines Wirbelstromprüfsystems mit Durchlaufspulen

Erläuterungen

Diese Norm ist vom Arbeitskreis „Wirbelstromprüfung“ im Arbeitsausschuß NMP 824 „Elektrische und magnetische Prüfverfahren“ des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. ausgearbeitet worden.

Internationale Patentklassifikation

G 01 N 27/90

Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Anmerkung: Zur Prüfaufgabe gehört auch die Kenntnis der auftretenden natürlichen Fehler in den zu prüfenden Rohren (Darstellung z. B. in einem Fehlerkatalog) sowie die Nachweisbarkeit und Nachweis-sicherheit dieser Fehler bei der Wirbelstromprüfung. Die mit den Kontrollkörpern nach DIN 54 141 Teil 2 bestimmten Eigenschaften des Prüfsystems können

- direkt übertragen
- unter Verwendung einer Übertragungsfunktion übertragen
- analog neu ermittelt werden (siehe Anhang C).

5 Vorgehensweisen

Bei der Durchführung der Wirbelstromprüfung ist wie folgt vorzugehen bzw. folgendes zu beachten:

- Zentrierung von Rohr und Prüfsystem (siehe Abschnitt 6.3.2)
- Minimierung von ungeprüften Enden (siehe Abschnitt 6.6)
- Vermeidung von Kaltverformung bei Kontroll- und Vergleichsfehlern (siehe Abschnitt 7.2.2)
- Beachtung des Zusammenhangs Filtereinstellung/Prüfgeschwindigkeit (siehe Abschnitt 7.2.4)
- Festlegung der Größe der magnetischen Feldstärke (siehe Abschnitt 7.3)
- Kontrollen während und nach der Prüfung (siehe Abschnitt 8).

6 Auswahl des Prüfsystems

6.1 Prüfspule

6.1.1 Spulentypen

Der Spulentyp wird unter Berücksichtigung der folgenden Angaben so gewählt, daß eine möglichst gute Trennung der Störsignale von den Nutzsignalen gelingt:

- Absolutspulen: z. B. zur Erkennung einer durchgehend offenen Schweißnaht oder ähnlich gearteter Fehler.
- Differenz- oder Mehrfachdifferenzspulen: Der Einsatz dieser Spulen wird üblicherweise von den vorliegenden Störgrößen bestimmt. Die Unterdrückung des entstehenden Störsignals gelingt um so besser, je kleiner der Einlaufgradient der Störgröße im Vergleich zur wirksamen Spulenbreite ist. Die Nachweisempfindlichkeit für Fehler wird größer mit zunehmender Angleichung von Einlaufgradient des Fehlers und wirksamer Spulenbreite und ist optimal, wenn Fehlerlänge und wirksame Spulenbreite übereinstimmen.

Innerhalb eines Spulentyps unterscheiden sich Wirbelstromdurchlaufspulen im wesentlichen durch ihre wirksame Spulenbreite.

Die in DIN 54 141 Teil 2 definierten SpulenKennwerte

- Grenzfehlerlänge
- Ortsauflösung

werden durch die wirksame Spulenbreite entscheidend bestimmt.

Wurden diese Kennwerte nach DIN 54 141 Teil 2 für einen Kontrollkörper bestimmt, so lassen sie sich mit Hilfe der im Anhang A bzw. Anhang B beschriebenen Vorgehensweise für ein aktuelles Prüfproblem ermitteln.

Die genannten SpulenKennwerte erlauben eine Beurteilung der Auffindbarkeit der auftretenden Fehler.

6.1.2 Füllfaktor

Um eine hohe Prüfeempfindlichkeit zu erreichen, ist es erforderlich, den Durchmesser der Prüfspule dem Rohrdurchmesser anzupassen.

Übliche nach DIN 54 140 Teil 2 für Außendurchlaufspulen definierte Füllfaktoren η liegen im Bereich zwischen 0,5 und 0,9, wobei die Grenzwerte den Angaben des Durchmesserbereiches nach Abschnitt 1 entsprechen.

Anmerkung: Füllfaktoren, bezogen auf die lichten Durchmesser der Spulen, weichen von den angegebenen Werten ab. Ebenso ergeben sich bei Verwendung von Innendurchlaufspulen andere Werte von η .

6.2 Prüfgerät

Der Aufbau eines Wirbelstromprüfgerätes ist beispielhaft in DIN 54 141 Teil 1 angegeben.

Allgemeingültige Kenndaten des Prüfsystems (Gerät mit Spule und Transporteinrichtung) können nach DIN 54 141 Teil 2 ermittelt und direkt übernommen werden.

Es sind

- a) Kennlinie der Empfindlicheinstellung
- b) Kennlinien der Phaseneinstellung
 - Beziehung Phasenwinkel – Phasensteller
 - Beziehung Signalamplitude – Phasensteller
 - Beziehung Phasenverschiebungswinkel – Phasensteller

6.3 Transporteinrichtung

6.3.1 Allgemeines

Die Transporteinrichtung (z. B. Rollgang bei Außendurchlaufspulen, Zugvorrichtung bei Innenspulen) sollte eine gute Zentrierung von Rohr und Prüfspule ermöglichen. Rohr und Prüfspule sollten mit möglichst gleichbleibender Geschwindigkeit und annähernd schwingungsfrei zueinander bewegt werden.

6.3.2 Kontrolle der Zentrierung

Das Vergleichsrohr mit drei Bohrungen gleichen Durchmessers, die in 120° Winkelabstand auf dem Rohrumfang und in 100 mm Abstand in Rohrlängsrichtung versetzt sind, wird mit möglichst gleichbleibender Geschwindigkeit bei üblicher Filtereinstellung durch die Prüfspule geführt. Eine zentrische Führung ist dann gegeben, wenn die Vektorbeträge der Signale der drei Bohrungen gleich groß sind.

Anmerkung: Die beschriebene Kontrolle der Zentrierung entspricht der Vorgehensweise nach DIN 54 141 Teil 2.

Der Durchmesser der als Kontrollfehler verwendeten Bohrung soll so gewählt werden, daß der Vektorbetrag des Signals den üblichen Störpegel um mindestens den Faktor 5 übersteigt.

6.4 Magnetisierungseinrichtung

Die Magnetisierungseinrichtung wird bei Rohren aus Werkstoffen mit ferromagnetischen Eigenschaften (z. B. Eisen- oder Nickel-Legierungen) sowie aus Werkstoffen, welche zur Ausscheidung von ferromagnetischen oder ferritischen Phasen neigen, eingesetzt.

Sie dient zur Unterdrückung von herstellungsbedingten Permeabilitätsschwankungen im Rohr sowie zur Vergrößerung der Eindringtiefe. Bei ausreichend hoher magnetischer Feldstärke nimmt die Überlagerungspermeabilität (siehe DIN 54 140 Teil 2) gleichmäßig im Rohr nahezu den Wert 1 an, so daß Störsignale durch Permeabilitätsgradienten weitgehend unterdrückt werden.

6.5 Registrier- und Steuereinrichtungen

6.5.1 Allgemeines

Bei automatisierten Wirbelstromprüfanlagen müssen die Registrier- und Steuereinrichtungen so aufeinander abgestimmt sein, daß das Prüfsystem im richtigen Zeittakt prüfbereit ist (z. B. Ausblenden des Endeneffekts) und die Regi-

strierung der Fehleranzeigen und Sortierung der Rohre in Übereinstimmung mit den Prüfbefunden vorgenommen wird.

6.5.2 Funktionskontrolle

Das Vergleichsrohr nach Prüfvorschrift wird bei der geforderten Prüfeempfindlichkeit unter Prüfbedingungen durch das Prüfsystem gefahren.

Die Registriereinrichtungen (z.B. optisches und akustisches Fehlersignal, Schreiber) und Steuereinrichtungen (z.B. Gut-Schlecht-Rohrsortierung, Farbmarkierung) müssen ansprechen.

6.6 Ermittlung der ungeprüften Rohrenden

Die Ermittlung der ungeprüften Enden kann nach zwei verschiedenen Vorgehensweisen durchgeführt werden:

- Mit Hilfe eines kalibrierten Stellers am Prüfgerät zur Endenausblendung. Hierbei wird die einstellbare Länge des ungeprüften Endes von Null beginnend so lange vergrößert, bis der Endeneffekt die gewählte Auswerteschwelle nicht mehr übersteigt.
- Mit Hilfe von Bohrungen am Rohrende.

Anmerkung: Die Bestimmung der ungeprüften Rohrenden mit Bohrungen entspricht der Vorgehensweise nach DIN 54 141 Teil 2.

7 Einstellungen am Prüfsystem

7.1 Transporteinrichtung

An der Transporteinrichtung wird die Prüfgeschwindigkeit so eingestellt, daß die Rohre und die Prüfspule annähernd schwingungsfrei zueinandergeführt werden. Sie sollte möglichst konstant sein.

7.2 Wirbelstromprüfgerät

7.2.1 Prüffrequenz

Die Prüffrequenz wird nach folgenden Gesichtspunkten ausgewählt:

- a) Gewünschter Einfluß der Fehlertiefe
- b) Gewünschtes Verhältnis von Innen- zu Außenfehleranzeigen
- c) Gewünschter Phasenverschiebungswinkel zwischen verschiedenen Nutz- und Störsignalen.

Wurden diese beiden Kennwerte a) und b) nach DIN 54 141 Teil 2 für einen Kontrollkörper bestimmt, so lassen sie sich mit Hilfe der im Anhang beschriebenen Vorgehensweise für ein aktuelles Prüfproblem ermitteln.

Die Phasenverschiebungswinkel zwischen den Anzeigen von Innen- und Außen-Ringnuten können den Bildern im Anhang A entnommen werden.

Anmerkung: Bei einer Prüfung mit Außendurchlaufspulen verkleinert sich mit zunehmender Frequenz das Verhältnis der Vektorbeträge von Innen- und Außen-Fehlersignal. Die relative Empfindlichkeit für kleine Oberflächenfehler nimmt zu und für Innenfehler ab. Gleichzeitig vergrößert sich der Phasenverschiebungswinkel zwischen Innen- und Außen-Fehlersignal.

Bei Innendurchlaufspulen kehren sich die Verhältnisse sinngemäß um.

7.2.2 Prüfeempfindlichkeit

Die Prüfeempfindlichkeit wird in der Regel mittels eines Vergleichsrohres mit Vergleichsfehler eingestellt. Dieses muß unter Prüfbedingungen als fehlerhaft erkannt werden.

Die Prüfeempfindlichkeit kann auch so definiert werden, daß eine Grundeinstellung nach einem Vergleichsfehler vorgenommen und die Empfindlichkeit um einen definierten Betrag erhöht oder erniedrigt wird.

Anmerkung: Das Vergleichsrohr (Testrohr) mit Vergleichsfehler nach Prüfvorschrift entspricht in Maßen und Werkstoff den zu prüfenden Rohren und sollte einen möglichst geringen Störpegel aufweisen. Es dient vorwiegend der Einstellung der Prüfeempfindlichkeit. Im Gegensatz dazu versteht man unter einem Kontrollkörper ein Rohr mit Maßen und Kontrollfehlern nach DIN 54 141 Teil 2 zur Ermittlung der Eigenschaften eines Prüfsystems.

7.2.3 Auswerteverfahren

Bei der Komponentenauswertung (siehe DIN 54 141 Teil 1) muß sichergestellt sein, daß die Anzeigen der durch die Wirbelstromprüfung nachzuweisenden Fehler in den Auswertebereich fallen.

7.2.4 Filter

Die Einstellung erfolgt entsprechend der Prüfgeschwindigkeit (z. B. nach den Geräteherstellerangaben). Zur Optimierung des Nutz-/Stör-Verhältnisses (siehe DIN 54 140 Teil 2) können davon abweichende Werte notwendig werden.

7.3 Sättigungseinrichtung

Bei ferromagnetischen Rohren sollte zur Unterdrückung von Störsignalen aufgrund von Permeabilitätsschwankungen bis in die Sättigung magnetisiert werden. Bei ferritischen Rohren ist dazu eine Tangentialfeldstärke an der Rohroberfläche von mindestens 160 kA/m notwendig.

8 Kontrolle des Prüfsystems

Die Prüfung erfolgt mit unveränderten Einstellungen nach Abschnitt 7. Spätestens alle vier Stunden, nach Schichtwechsel sowie nach Beendigung der Prüfung wird zur Kontrolle der Stabilität das Vergleichsrohr einmal oder mehrmals unter Prüfbedingungen durch das Prüfsystem gefahren.

Wenn sich bei

- der Betragsauswertung ein Empfindlichkeitsabfall größer als 2 dB
- der Phasen- oder Komponentenauswertung eine Änderung des Phasenwinkels größer als $\pm 5^\circ$

ergibt, so sind alle seit der letzten Kontrolle geprüften Rohre mit korrigierten Einstellungen erneut zu prüfen.

9 Prüfbericht

In einem Prüfbericht sind mindestens folgende Prüfdaten festzuhalten:

- a) Prüfgerät: Fabrikat, Typ
- b) Sortier- und Markiereinrichtung
- c) Prüfsystem: Prüfverfahren, Spulen-Typ und -Bezeichnung, Prüffrequenz, Zusatzeinrichtungen (z.B. Sättigungseinrichtung)
- d) Pröfeinstellung: Angaben zur Geräteeinstellung, Justierung und Auswertetechnik
- e) Prüfergebnis
- f) Prüfort, Prüfdatum, Prüfaufsicht, Prüfer.

Anhang A

Grundlagen und Bilder zur Bestimmung der Eigenschaften von Prüfspulen und Prüfparametern

A.1 Spulenkirkbreite (siehe Abschnitt 6.1.1)

A.1.1 Definition der Spulenkirkbreite

Zur Übertragung der bei einer gegebenen Rohrabmessung mit einem bestimmten Spulentyp ermittelten Grenzfehlerlänge auf ein aktuelles Prüfproblem muß die in Bild A.1 a) bis c) für drei verschiedene Spulentypen definierte Spulenkirkbreite bekannt sein.

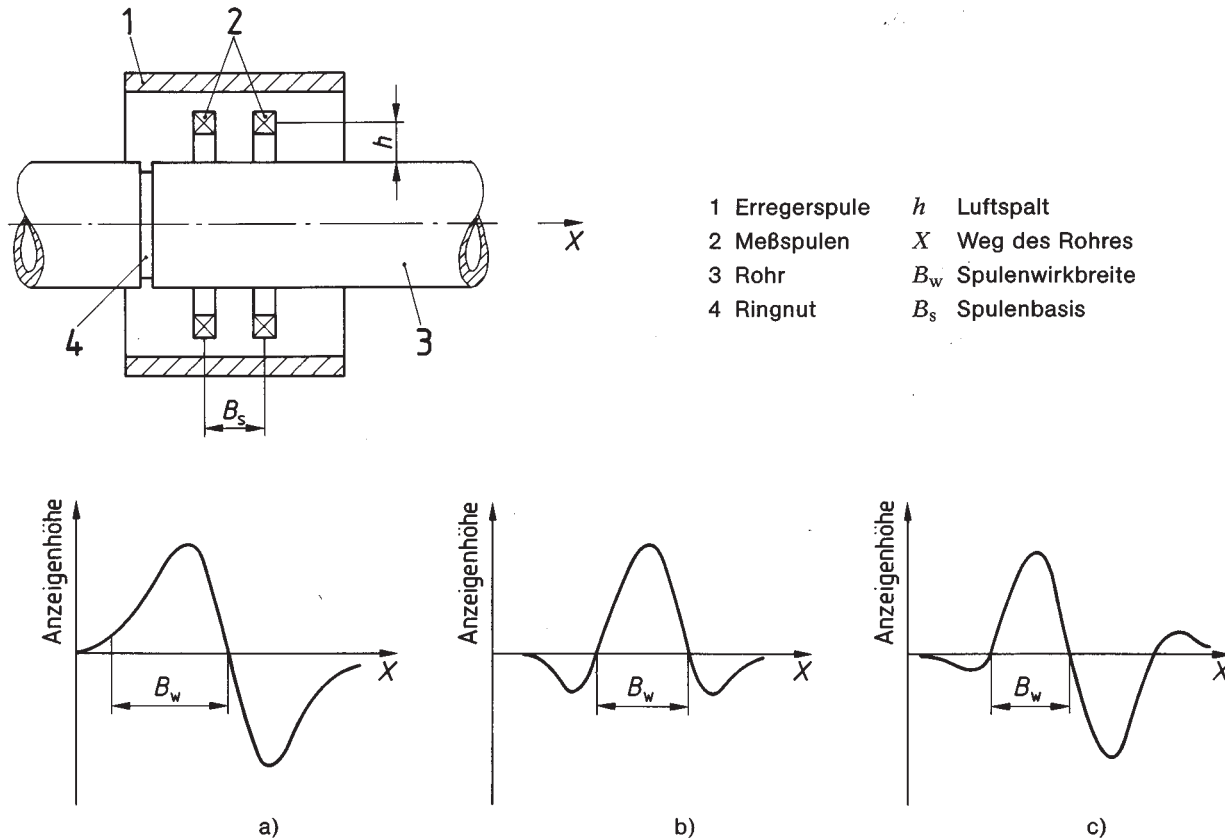


Bild A.1. Definition der Spulenkirkbreite B_w bei

- a) einer Differenzspule
- b) einer Doppeldifferenzspule
- c) einer Mehrfachdifferenzspule

A.1.2 Bestimmung der Spulenkirkbreite

Die Spulenkirkbreite B_w kann nach drei verschiedenen Vorgehensweisen ermittelt werden:

- a) Messung am Vergleichsrohr
- b) aus Tabellen oder Diagrammen, welche vom SpulenhHersteller mitgeliefert werden. Daraus kann direkt die Spulenkirkbreite für verschiedene Werte der Parameter Rohrdurchmesser, Luftspalt, Prüffrequenz, Wanddicke und elektrische Leitfähigkeit entnommen werden.
- c) aus reduzierten Angaben des Spulenh Herstellers. Die Spulenkirkbreite wird dabei für eine hohe Prüffrequenz, z. B. 100 kHz, und z. B. für einen Luftspalt $h = 4$ mm angegeben.

Für das aktuelle Prüfproblem kann der Einfluß der Prüfparameter auf die Spulenkirkbreite wie folgt abgeschätzt werden:

– Luftspalt

Mit größer werdendem Luftspalt nimmt die Spulenkirkbreite zu. Annähernd gilt:

$$B_w(h_2) = B_w(h_1) \cdot \left[1 + \frac{0,15}{\text{mm}} (h_2 - h_1) \right] \quad (\text{A.1})$$

h_1 Luftspalt bei bekanntem Rohrdurchmesser in mm und bekannter Spulenkirkbreite

h_2 Luftspalt bei zu prüfendem Rohrdurchmesser in mm

– Prüffrequenz

Die Spulenkirkbreite wird mit steigender Prüffrequenz kleiner und bleibt bei Frequenzen größer als 100 kHz konstant.

Die Korrekturwerte können Bild A.2 entnommen werden.