

DIN 54183

ICS 19.100

**Zerstörungsfreie Prüfung –
Thermografische Prüfung –
Induktiv angeregte Thermografie**

Non-destructive testing –
Thermographic testing –
Eddy-current excited thermography

Essais non destructifs –
Analyses thermographiques –
Thermographie excitée par induction

Gesamtumfang 20 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	4
4 Personalqualifikation	5
5 Funktionsweise der induktiv angeregten Thermografie und Geräteaufbau.....	5
5.1 Allgemeines	5
5.2 Zeitliche Anregungsarten	6
5.2.1 Induktiv angeregte Thermografie mit Impulsanregung (Burstanregung)	6
5.2.2 Induktiv angeregte Thermografie mit periodischer Anregung (Lock-in-Thermografie)	6
5.2.3 Induktiv angeregte Thermografie mit Relativbewegung von Prüfobjekt und Induktor.....	7
5.3 Formen von Induktoren	7
5.3.1 Allgemeines	7
5.3.2 Rund- oder Rechteckspulen sowie formangepasste Spulen	7
5.3.3 Flächige Spulen (Pancake)	7
5.3.4 Linearspulen.....	7
5.3.5 Doppel-D-Spule.....	7
5.3.6 Helmholtz-Spulen	7
5.3.7 Magnetjoch	7
5.4 Anforderungen an die Induktoren	8
5.5 Anforderungen an den Induktionsgenerator	9
5.5.1 Allgemeines	9
5.5.2 Wahl der Induktionsfrequenz.....	9
5.5.3 Verdeckte Fehler.....	11
5.5.4 Kontraste durch Wärmeströme im Prüfobjekt	11
5.5.5 Signalabhängigkeit von der Risstiefe	12
5.6 Anforderungen an die IR-Kamera	12
5.7 Elektromagnetische Verträglichkeit	13
5.8 Probenpositionierung.....	13
5.9 Sicherheitstechnische Anforderungen	13
5.10 Auswertetechniken für Bildsequenzen bei der aktiven Thermografie	14
5.11 Überprüfung des Gerätesystems.....	14
6 Referenzprobekörper für die Prüfung.....	14
7 Durchführung der Prüfung	14
8 Beurteilung von thermischen Auffälligkeiten.....	15
8.1 Allgemeine Vorgehensweise.....	15
8.2 Klassifizierung der Prüfergebnisse	15
9 Prüfbericht.....	16
Anhang A (informativ) Beispiele für Referenzprobekörper	17
A.1 Allgemeines	17
A.2 Referenzprobekörper Risstiefe.....	17
A.3 Referenzprobekörper Risslänge.....	18
A.4 Referenzprobekörper Risseinlaufwinkel	18
A.5 Referenzprobekörper Ortsauflösung.....	19
Literaturhinweise.....	20

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 062-08-27 AA, „Visuelle und thermografische Prüfung“, im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP) erarbeitet.

Der Normvorschlag für dieses Dokument wurde von einer Arbeitsgruppe zur induktiv angeregten Thermografie im Rahmen des Förderprogramms „TNS — Transfer von FuE-Ergebnissen durch Normung und Standardisierung“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie angestoßen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Durchführung der induktiv angeregten Thermografie zum Zweck der Oberflächenfehlerprüfung fest.

Diese Prüfungen dienen

- dem Nachweis von Oberflächenrissen und
- dem Nachweis von verdeckten, oberflächennahen Ungängen.

Die induktiv angeregte Thermografie wird dazu unter Verwendung unterschiedlicher Anregungsquellen (Induktoren) in Reflexions- und Transmissionskonfiguration eingesetzt.

Anwendungsgebiete der induktiv angeregten Thermografie sind in der industriellen Fertigung (Fahrzeug-, Triebwerks- und Kraftwerkskomponenten, Fügetechnik, Halbzeuge usw.) zu finden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 54184, *Zerstörungsfreie Prüfung — Impulsthermografie mit optischer Anregung*

DIN EN 16714-1, *Zerstörungsfreie Prüfung — Thermografische Prüfung — Teil 1: Allgemeine Grundlagen*

DIN EN 16714-2, *Zerstörungsfreie Prüfung — Thermografische Prüfung — Teil 2: Geräte*

DIN EN 16714-3, *Zerstörungsfreie Prüfung — Thermografische Prüfung — Teil 3: Begriffe*

DIN EN 17119, *Zerstörungsfreie Prüfung — Thermografische Prüfung — Aktive Thermografie*

DIN EN ISO 9712, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung*

DGUV Vorschrift 15, BG-Vorschrift — *Elektromagnetische Felder¹⁾*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN EN 16714-3, DIN EN 17119 und die folgenden Begriffe.

3.1 elektrische Abklingzeit

t_a

<Schwingkreis-Technik> Dauer vom Abschaltzeitpunkt bis zum Zeitpunkt, an dem der Induktorstrom auf 36,8 % (e^{-1}) seines Anfangswertes abgeklungen ist

1) Nachgewiesen in der DITR-Datenbank der DIN-Software GmbH, zu beziehen bei: Carl Heymanns Verlag GmbH, Luxemburger Str. 449, 50939 Köln.

3.2**elektrische Einschwingzeit** t_e

Dauer vom Einschaltzeitpunkt bis zum Zeitpunkt, an dem der Induktorstrom 63,2 % ($1-e^{-1}$) seines Sollstroms erreicht

3.3**Skintiefe**

Eindringtiefe

 d

Eindringtiefe des elektromagnetischen Feldes in den Prüfkörper, bei der die magnetische Feldstärke auf 36,8 % (e^{-1}) des Oberflächenwertes abfällt

3.4**elektromagnetische Dicke**

geometrische Dicke in Einheiten der Skintiefe

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Prüfobjekt ist elektromagnetisch dick, wenn seine geometrische Dicke größer als zwei Skintiefen ist, ansonsten ist das Prüfobjekt elektromagnetisch dünn.

3.5**Induktionsfrequenz**

Frequenz des vom Induktionsgenerator an den angeschlossenen Induktor abgegebenen Wechselstroms

3.6**Induktionsgenerator**

Gerät, das einen Wechselstrom ausreichender Leistung mit einstellbarem Zeitprofil erzeugt, mit dem der Induktor betrieben wird

Anmerkung 1 zum Begriff: In der Regel kann der Induktionsgenerator extern gesteuert und synchronisiert werden. Alternativ wird bei der Prüfung mit durchlaufendem Prüfobjekt die einstellbare Leistung als Wechselstrom freilaufend abgegeben.

3.7**Induktor**

elektromagnetisches Element, das mithilfe eines eingespeisten Wechselstroms ein zeitlich veränderliches Magnetfeld und damit einen zeitlich veränderlichen Induktionsstrom im zu prüfenden Bauteil erzeugt

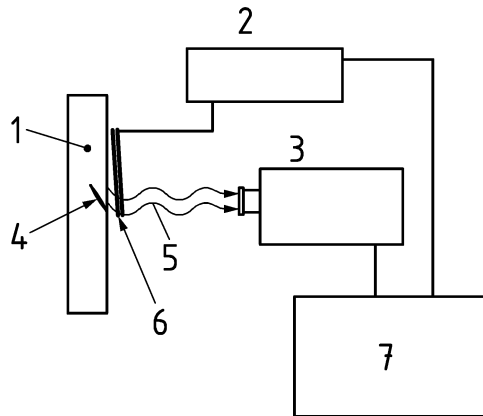
4 Personalqualifikation

Kenntnisse und Fertigkeiten in der induktiv angeregten Thermografie müssen durch eine Qualifizierung nachgewiesen werden. Als Nachweis dient ein Qualifizierungsnachweis nach DIN EN ISO 9712 oder gleichwertig. Das Prüfpersonal muss hinreichende Kenntnisse über die Prüfgegenstände, ggf. über die Fertigungsprozesse und über die möglicherweise auftretenden nachzuweisenden Fehler besitzen.

5 Funktionsweise der induktiv angeregten Thermografie und Geräteaufbau**5.1 Allgemeines**

Die induktiv angeregte Thermografie ist eine Methode der aktiven Thermografie und anwendbar an elektrisch leitenden Prüfobjekten. Bei der induktiv angeregten Thermografie wird über einen Induktor ein Strom im Prüfobjekt erzeugt. Der induzierte Strom führt zu einer Erwärmung proportional zum Quadrat der lokalen Stromdichte. An Rissen werden die Induktionsströme in deren Ausbreitung verändert und es entstehen Bereiche vergrößerter oder verringerter Stromdichte am Riss sowie zusätzliche stromdurchflossene Bereiche (Rissflanken). Die dadurch erzeugten Temperaturveränderungen können für eine Infrarot (IR)-Kamera an der Probenoberfläche sichtbar werden. Weiterhin treten durch Temperaturgradienten Wärme-

ströme auf, die thermisch mit Fehlern wechselwirken und zu nachweisbaren Temperaturkontrasten führen. Eine Steuereinheit (Computer) sorgt in vielen Anwendungen (aber nicht bei Prüfobjekten in Bewegung) für eine zeitliche Synchronisation von Wärmequelle und Bildaufnahme (siehe Bild 1). In der Regel wird eine längere Bildsequenz aufgenommen, die anschließend in der Steuereinheit analysiert werden kann.



Legende

- | | | | |
|---|-----------------------|---|---------------|
| 1 | Prüfobjekt | 5 | IR-Strahlung |
| 2 | Hochfrequenzgenerator | 6 | Induktor |
| 3 | IR-Kamera | 7 | Steuereinheit |
| 4 | Fehler | | |

Bild 1 — Schema der induktiv angeregten Thermografie

Induktoren können z. B. offene Luftspulen sein oder Spulen auf offenen Magnetjochen. Bei sehr hohen Induktionsfrequenzen können antennenartige Elemente verwendet werden.

Bei elektromagnetisch dünnen Prüfobjekten (z. B. Solarzellen, kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffplatten (CFK-Platten)) oder zur Prüfung mittels Wärmeflussmethode kann die Induktionsspule auch auf der IR-Kamera abgewandten Seite liegen (Transmissionskonfiguration).

Prüfobjekte können auch in Relativbewegung zum Induktor untersucht werden.

Der Zeitverlauf der induktiven Anregung des Prüfobjekts beeinflusst das Fehlernachweisvermögen.

5.2 Zeitliche Anregungsarten

5.2.1 Induktiv angeregte Thermografie mit Impulsanregung (Burstanregung)

Zur Anregung wird ein zeitlich kurzer Puls aus dem Induktionsgenerator verwendet. Zeitlich kurz bedeutet, dass Kontraste von Fehlern nach dem Puls noch nachweisbar sind. Nach unten begrenzt sind die Pulslängen durch die elektrischen Reaktionszeiten, d. h. Einschwing- und Abklingzeiten, sowie durch die verfügbare Höchstleistung des Generators.

5.2.2 Induktiv angeregte Thermografie mit periodischer Anregung (Lock-in-Thermografie)

Zur Anregung wird der Induktionsgenerator mit einer Modulationsfrequenz deutlich kleiner als die Induktionsfrequenz amplitudenmoduliert. Die Anregungsform der abgegebenen Leistung ist im Idealfall sinusförmig. Auch rechteckförmige Modulation wird verwendet, wobei ein Tastverhältnis von 1 : 1 effizient ist.