

Erweiterte Modelle für die ZfP zur Ermittlung der Auffindwahrscheinlichkeit (POD) von Oberflächen- und Volumenfehlern

M. SPIES*, A. JABLONSKI*, M. RAUHUT*, H. RIEDER*

* Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM,
Fraunhofer-Platz 1, 67663 Kaiserslautern

Kurzfassung

Die Charakterisierung der Nachweiseigenschaften zerstörungsfreier Prüfverfahren anhand des Konzeptes der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (englisch: Probability of Detection, POD) erfährt derzeit wachsendes Interesse, nicht nur bei Anwendungen in sicherheitsrelevanten Bereichen. Mit dem vom US-Department of Defense herausgegebenen Handbuch MIL-HDBK-1823 und der dazugehörigen Berechnungssoftware („mh1823“) liegt ein international akzeptierter Standard zur Durchführung von POD-Analysen vor. Bei dessen Anwendung zur Berechnung von POD-Kurven muss allerdings zweierlei beachtet werden: zum einen wird bei der „ \hat{a} versus a' “-Analyse von einem linearen Verlauf zwischen der Amplitude des Fehler Signals und der Fehlergröße ausgegangen; zum anderen wird von einer im gesamten Messdatenbereich - also für alle betrachteten Fehlergrößen - konstanten Streuung/Varianz der Messwerte ausgegangen.

Da experimentelle Ergebnisse von ZfP-Verfahren bei der „ \hat{a} versus a' “-Analyse in der Regel von diesen Annahmen abweichen, haben wir eine Erweiterung der in der mh1823-Software verwendeten POD-Modelle vorgenommen. Dies betrifft die Berücksichtigung normal-verteilter Messwerte unterschiedlicher Streuung/Varianz sowie nicht-linearer Verläufe der Amplitude-versus-Fehlergröße-Abhängigkeiten. Anhand von Beispielen aus dem Bereich der optischen Oberflächeninspektion und der Ultraschallprüfung schwerprüfbarer Werkstoffe untersuchen wir den Einfluss dieser Erweiterungen auf den charakteristischen POD-Kennwert $a_{90/95}$. Des Weiteren untersuchen wir den Zusammenhang zwischen dem Fehlerdetektions-Schwellwert (z.B. 6 dB über Rauschen), der resultierenden POD-Kurve sowie der Wahrscheinlichkeit für Fehlanzeigen (englisch: Probability of False Indication, PFI).

Erweiterte Modelle für die ZfP zur Ermittlung der Auffindwahrscheinlichkeit (POD) von Oberflächen- und Volumenfehlern

Martin Spies, Andreas Jablonski, Markus Rauhut, Hans Rieder

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Abteilung Bildverarbeitung, 67663 Kaiserslautern, www.itwm.fraunhofer.de

Motivation

- wachsendes Interesse am Konzept der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (englisch: Probability of Detection, POD), nicht nur in sicherheitsrelevanten Bereichen
- US-Department of Defense Handbuch MIL-HDBK-1823 und ‚mh1823‘-Berechnungssoftware => internationaler Standard für POD-Analysen
- Berechnung von POD-Kurven mittels ‚â versus a‘-Analyse, wenn
 - lineare Abhängigkeit der Amplitude von der Fehlergröße
 - konstante Streuung/Varianz der Messwerte

Zielsetzung

- Erweiterung der in der mh1823-Software verwendeten POD-Modelle, da experimentelle Ergebnisse von ZfP-Verfahren bei der ‚â versus a‘-Analyse in der Regel von diesen Annahmen abweichen
- Berücksichtigung normal-verteilter Messwerte unterschiedlicher Varianz und nicht-linearer Amplitude-versus-Fehlergröße-Abhängigkeiten
- Untersuchung des Einflusses auf den POD-Kennwert a90/95
- Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Entscheidungsschwellwert, POD und Probability of False Indication (PFI)

Anwendungsbereich Ultraschallprüfung

- Charakterisierung der Nachweiseigenschaften
- Verbesserung der Inspektionsprozeduren
- Erhöhung der Zuverlässigkeit



Links und Mitte: Versagen einer Turbinenscheibe (Boing 767, 2006) (www.dauntless-soft.com)

Testkörper zur UT-Verfahrensvalidierung, MTU Aero Engines

Anwendungsbereich Optische Oberflächeninspektion

- Auslegung der Inspektions-Hard- und Software, Algorithmenvergleich
- Quantifizierung und Optimierung der Systemperformance
- Verbesserung der Nachweissicherheit



Optisches Prüfsystem für Gusswerkstoffe

Oberflächenfehler

Testkörper zur Verfahrensvalidierung

Erweiterte POD-Modelle

Maximum-Likelihood-Ansatz:

- Signal S als Funktion der Fehlergröße x , beispielsweise

$$S = a \cdot \log(x) + b + \Delta S$$

- Abweichungen ΔS normal-verteilt mit Varianz $\sigma(x)$

$$P(\Delta S) = \frac{1}{\sigma(x)\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\Delta S)^2}{2\sigma^2(x)}\right]$$

- resultierende Likelihood-Funktion

$$P(S) = \frac{1}{\sigma(x)\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(S - a \cdot \log(x) - b)^2}{2\sigma^2(x)}\right]$$

- Maximum-Likelihood-Abschätzung mittels (Weighted) Least-Squares

$$\tilde{S} = \tilde{a} \cdot \log(x) + \tilde{b}$$

- Probability of Detection

$$POD = \int_T^\infty P(\tilde{S}) d\tilde{S}$$

POD-Modell ‚Rice-Verteilung‘:

- Rauschen/Noise: Rayleigh-Verteilung mit Varianz σ_0^2

$$P(N) = \frac{N}{\sigma_0^2} \exp\left[-\frac{N^2}{2\sigma_0^2}\right]$$

- mittlerer Rausch-Level

$$\langle N \rangle = N_0 = \sigma_0 \sqrt{\pi/2}$$

- Signal: Rice-Verteilung

$$P(S) = \frac{S}{\sigma_0^2} \exp\left[-\frac{(S^2 + S_0^2)}{2\sigma_0^2}\right] I_0\left(\frac{SS_0}{\sigma_0^2}\right)$$

- Probability of Detection

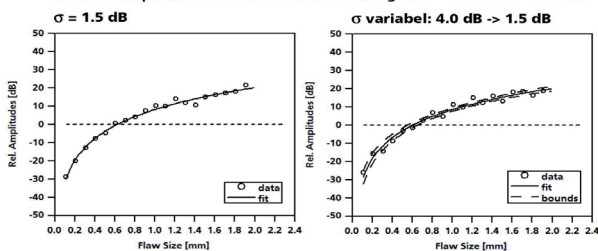
$$POD = \int_T^\infty P(S) dS$$

- Probability of False Indication

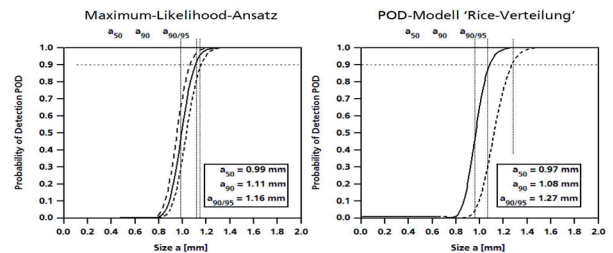
$$PFI = \int_T^\infty P(N) dN$$

Ergebnisse

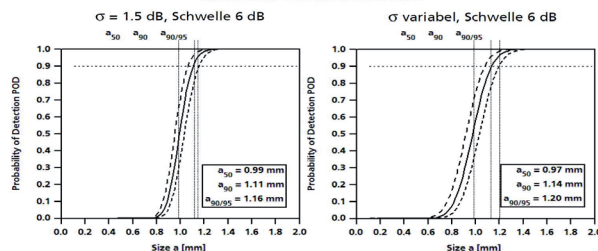
Maximalamplituden als Funktion der Fehlergröße – FBB-Tiefe 50.8 mm



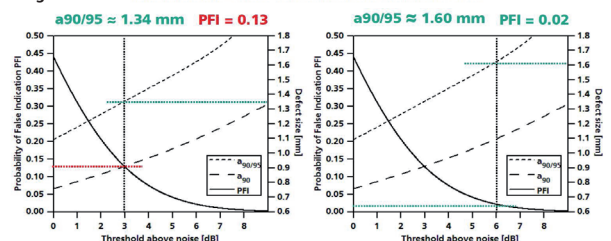
σ = 1.5 dB, Schwelle 6 dB über Rauschen



Maximum-Likelihood-Ansatz



aus Vortrag Mi.3.B.1: Einfluss des Schwellwertes auf PFI und a90/95



Dank

Die Arbeiten wurden im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft geförderten Forschungsvorhabens ‚ProRepa II‘ (Kennzeichen 03SX278) durchgeführt.