



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

titel

Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Science

vorgelegt von

ich

datum

im September 2016

| | |
|---------------------|----------------|
| Erstprüfer: | Prof. Dr.-Ing. |
| Zweitprüfer: | Dr. R. |
| Betreuer: | M.Sc. |



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

Aufgabenstellung

15.04.2016

Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Abschlussarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst zu haben. Sowohl inhaltlich als auch wörtlich entnommene Inhalte wurden als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in dieser oder vergleichbarer Form noch keinem anderem Prüfungsgremium vorgelegen.

Datum: _____ Unterschrift: _____

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Nomenklatur | I |
| Abkürzungsverzeichnis | V |
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Grundlagen | 3 |
| 2.1. Linear-elastische Bruchmechanik(LEBM) | 3 |
| 3. Simulation der Rissausbreitung und Lebensdauerberechnung an einer CT-Probe | 5 |
| 3.1. Analytische Lebensdauerberechnung auf Grundlage von Simulationsergebnissen | 5 |
| 4. Risssimulation an einer Traktorfelge | 7 |
| 4.1. Ermittlung der Randbedingungen | 7 |
| 5. Zusammenfassung und Ausblick | 9 |
| A. CT-Probe | 11 |

Nomenklatur

Lateinische Notation

| Symbol | Einheit | Bezeichnung |
|---------------|----------------------------|--|
| A | mm^2 | Fläche |
| B | m | Probendicke |
| \mathbf{B} | — | Belastungsmatrix |
| C | — | <i>Paris</i> Koeffizient |
| E | $\frac{N}{mm^2}$ | E-Modul |
| E' | $\frac{N}{mm^2}$ | spezifischer E-Modul |
| F | N | Kraft |
| F_{int} | N | interner Lastvektor |
| F_{ext} | N | externer Lastvektor |
| F_G | N | Gewichtskraft |
| F_T | N | Trägheitskraft |
| F_N | N | Normalkraft |
| F_A | N | Antriebskraft, Seitenführungskraft |
| F_S | N | Seitenführungskraft |
| F_F | N | Fliehkraft |
| F_{dyn} | N | dynamischer Kraftvektor |
| F_V | N | Vorspannkraft |
| G | $\frac{N}{mm^2} \sqrt{mm}$ | Energiefreisetzungsrate für Rissmodus <i>I, II, III</i> |
| G_I | (W) | (W) |
| G_{II} | (W) | (W) |
| G_{III} | (W) | (W) |
| G_c | $\frac{N}{mm^2} \sqrt{mm}$ | kritische Energiefreisetzungsrate |
| \mathbf{G} | N | Systembelastung |
| J | $\frac{N}{mm^2} \sqrt{mm}$ | J-Integral für Rissmodus <i>I, II, III</i> |
| J_I | (W) | (W) |
| J_{II} | (W) | (W) |
| J_{III} | (W) | (W) |
| J_c | $\frac{N}{mm^2} \sqrt{mm}$ | kritische Wert J-Integral |
| K | $\frac{N}{mm^2} \sqrt{mm}$ | Spannungsintensitätsfaktor für Rissmodus <i>I, II, III</i> |
| K_I | (W) | (W) |
| K_{II} | (W) | (W) |
| K_{III} | (W) | (W) |
| K_c | $\frac{N}{mm^2} \sqrt{mm}$ | kritische Spannungsintensitätsfaktor |
| K_m | $\frac{N}{mm^2} \sqrt{mm}$ | mittlere Spannungsintensitätsfaktor |
| K_o | $\frac{N}{mm^2} \sqrt{mm}$ | obere Spannungsintensitätsfaktor |
| K_u | $\frac{N}{mm^2} \sqrt{mm}$ | untere Spannungsintensitätsfaktor |
| K_{op} | $\frac{N}{mm^2} \sqrt{mm}$ | Rissöffnungsintensitätsfaktor |
| \mathbf{K} | $\frac{N}{m}$ | Systemsteifigkeitsmatrix |
| M_A | Nm | Antriebsmoment |
| M_b | Nm | Biegemoment |
| $M_{Anzugsd}$ | Nm | Anzugsdrehmoment |
| \mathbf{N} | — | Formfunktion |
| N | LS | Zahl der Lastzyklen |
| R | — | Spannungsverhältnis K_o/K_u |
| R_e | $\frac{N}{mm^2}$ | Streckgrenze |

| Symbol | Einheit | Bezeichnung |
|-----------------|------------------|---|
| S | — | Oberfläche |
| S^+, S^- | — | obere, untere Rissfläche |
| S_ε | — | Oberfläche Riss Schlauch |
| S_{end} | — | Stirnfläche |
| S_h | m | Spurbreite |
| U | $\frac{J}{m^3}$ | Formänderungsenergie dichte |
| U_M | Nm | Mechanische Energie |
| U_o | $\frac{J}{m^2}$ | Oberflächenenergie |
| W | m | Abstand Probenende zu Kraftangriffspunkt |
| W_P | — | Gewichte Integration |
| Y | — | Geometriefaktor |
| a | mm | Risslänge |
| a_0 | mm | Anfangsrisslänge |
| a_c | mm | kritische Risslänge |
| da_i | mm | Rissfortschritt der i-ten Rissfront i=1,2 |
| dlk | m | Lochkreisdurchmesser |
| ds | m | Linienelement |
| f_I | — | Winkelfunktion Riss spitzenfeld |
| f_{II} | — | (\(\mathbb{W}\)) |
| f_{III} | — | (\(\mathbb{W}\)) |
| h_S | m | Schwerpunkthöhe |
| l_R | m | Raadstand |
| m | — | <i>Paris</i> Exponent |
| n | — | Normalenvektor |
| q_k | — | Wichtungsfunktion |
| r | m | Abstand |
| t_i | $\frac{N}{mm^2}$ | Schnittspannungsvektor |
| u | m | Verschiebung |
| u_i | m | Verschiebungsvektor |
| x_m | — | Koordinaten (räumlich) |
| z | — | komplexe Variable |

Griechische Notation

| Symbol | Einheit | Bezeichnung |
|---------------------------------|----------------------------|---|
| Γ | — | Integrationsweg |
| Γ_+, Γ_- | — | oberes, unteres Rissufer |
| $\Delta\sigma$ | $\frac{N}{mm^2}$ | Spannungsschwingbreite |
| ΔK_{th} | $\frac{N}{mm^2} \sqrt{mm}$ | schwellwert Ermüdung |
| Δl_k | m | virtuelle Verrückung der Rissfront |
| ΔF | N | Kraftschwingbreite |
| ΔK | $\frac{N}{mm^2} \sqrt{mm}$ | zyklische Spannungsintensitätsfaktor |
| ΔK_i | $\frac{N}{mm^2} \sqrt{mm}$ | zyklische Spannungsintensitätsfaktor der i-ten Rissfront i=1,2 |
| Ω | mm | Gebitsabmessungen |
| Ω_{\square} | — | Referenzelement |
| $\alpha, \beta, \gamma, \Theta$ | $^{\circ}$ | Winkel |
| γ | $\frac{mN}{m}$ | Oberflächenspannung |
| δ | mm | Rissradius |
| μ | — | Reibkoeffizient $()_{st}$ Stahl, $()_{\text{Straße}}$ Straße-Reifen |
| ν | — | Querkontraktionszahl |
| ξ_i | — | natürliche Elementkoordinaten |
| ρ' | $^{\circ}$ | Gewindereibwert |
| σ | $\frac{N}{mm^2}$ | Spannung |
| σ_{ij} | $\frac{N}{mm^2}$ | Cauchyscher Spannungstensor |
| σ_o | $\frac{N}{mm^2}$ | Oberspannung |
| σ_u | $\frac{N}{mm^2}$ | Unterspannung |
| σ_1 | $\frac{N}{mm^2}$ | Hauptspannung |
| σ_2 | (\backslash) | (\backslash) |
| σ_3 | (\backslash) | (\backslash) |
| τ | $\frac{N}{mm^2}$ | Schubspannung |
| ϕ | $\frac{N}{mm^2}$ | komplexe Spannungsfunktion |
| χ | $\frac{N}{mm^2}$ | komplexe Spannungsfunktion |

Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Bezeichnung |
|------------------|--|
| ASTM | American Society Testing of Materials |
| CAD | Computer Aided Designe |
| CT-Probe | Compact Tension Specimen (Kompakt-Zug-Probe) |
| EDZ | ebener Dehnungszustand |
| EVZ | ebener Spannungszustand |
| FEM | Finite Element Methode |
| LEBM | linear-elastische Bruchmechanik |
| MCCI | Modified Crack Clsure Integral |
| MPC | Multi Point Constraint |
| VCCT | Virtual Crack Closure Technique |
| XFEM | Extended Finite Element Methode |

1. Einleitung

2. Grundlagen

2.1. Linear-elastische Bruchmechanik(LEBM)

3. Simulation der Rissausbreitung und Lebensdauerberechnung an einer CT-Probe

3.1. Analytische Lebensdauerberechnung auf Grundlage von Simulationsergebnissen

4. Rissimulation an einer Traktorfelge

4.1. Ermittlung der Randbedingungen

5. Zusammenfassung und Ausblick

.

A. CT-Probe