

## Anwendung von bruchmechanischen Konzepten zur Optimierung der Lebensdauer von Bauteilen & Komponenten aus thermoplastischen Kunststoffen

Berer Michael<sup>1)</sup>, Gerald Pinter<sup>2)</sup>

Polymer Competence Center Leoben GmbH
 Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe / Montanuniversität Leoben



Competence Centers for Excellent Technologies

4a Technologietag 2014

#### Ermüdung von Kunststoff-Bauteilen



Bauteilermüdung





Quelle: Degaz, Ungarn

#### Oberflächenermüdung



#### Grundlegende Konzepte der Ermüdungscharakterisierung





## Solution Spannungsbasierender Ansatz S/N Methode







# Thermoplastische Kunststoffe (unverstärkt) im klassischen ungekerbten Ermüdungsversuch (1)

- "Low cycle fatigue" bzw. "Thermally dominated fatigue"
  - Bruch nach wenigen 1000 Zyklen
  - Ursache: plastische Verformung & hysteretische Erwärmung
  - Instabiler Zustand
  - !!!Muss in der praktischen Auslegung unbedingt vermieden werden!!!
- "High cycle fatigue" bzw. "Mechanically dominated fatigue"
  - Bruchzyklenzahlen ab ca. 10<sup>5</sup> Zyklen (grob)
  - Rissinitiierung & Risswachstum an inhärenten Fehlstellen (z.B. Lunker, Einschlüsse, Materialinhomogenitäten, ...) oder Kerben
  - Zyklenzahlen bis Rissinitiierung / Bruch hängen von Größe, Form und Oberfläche der Defekte ab (definiert durch Verarbeitung)
  - Ergebnisse besitzen wenig Aussagekraft bezüglich Materialeigenschaften



Thermoplastische Kunststoffe (unverstärkt) im klassischen ungekerbten Ermüdungsversuch (2)

• Teilweise scharfer Übergang zwischen beiden Bereichen

Beobachtet für Polyamid 66, Polyoxymethylen Copolymer (Lesser 1995 & 1996) & für Polyetheretherketone (Berer et al. 2013)



- Abhilfe: Verwendung von bruchmechanischen Probekörpern
  - Erlauben definierte Bedingungen (Kerben & Geometrie)
  - Messung von Materialeigenschaften (unabhängig vom Probekörper)

### **Bruchmechanischer Ansatz**



Prüfkörper und Belastung



Ermüdungs-Performance Diagramm

#### Ermüdungs-Lebensdauer Modellierung

Bruch



 $\mathbf{C}_{\mathbf{K}_{iss}} = \mathbf{N}_{in} + \mathbf{N}_{prop}$   $\mathbf{N}_{in} = \mathbf{B} \cdot \Delta \mathbf{K}_{in}^{n}$   $\mathbf{N}_{prop} = \int_{a_{0}}^{a_{cr}} \frac{1}{\mathbf{A} \cdot \Delta \mathbf{K}^{m}} \cdot \mathbf{da}$ 

Quelle: Lang & Pinter, 2007

#### **Bruchmechanischer Ansatz**



#### **Bruchmechanische Probekörper**

- Definierte Kerbung & Geometrie
- Kontrollierte Rissinitiierung & Risswachstum
- Oftmals relativ einfache Unterscheidung zwischen Rissinitiierung und Risswachstum
  - →Lebensdauermodellierung (bei einfachen Bauteilen)
- Sehr gut geeignet für Materialranking



Quelle: Major, 2002



#### **Bruchmechanischer Ansatz**



#### **Bruchmechanische Probekörper**

- Rissspitze: Spannungserhöhung durch Kerbwirkung
- Ausbildung von plastischen Zonen
- Größe der plastischen Zone bestimmt bruchmechanische Methode





Konzepte zur Beschreibung der Situation vor der Rissspitze

- Spannungsintensitätsfaktor "K" (Spannungsbetrachtung)
- Energiefreisetzungsrate "G" (Energetische Betrachtung)



#### Linear elastische Bruchmechanik



#### Prinzipielle Annahmen der LEFM:

- Linear elastisch / kleinbereichs plastisches Materialverhalten
- K beschreibt das Rissspitzennahfeld

## Potentielle Einschränkungen für Kunststoffe:

- Großbereichs
  Rissspitzenplastizität
- Nichtlinear viskoelastisches Verhalten
- (lokale) Effekte bezüglich
  Spannungsvorgeschichte
- Hysteretische Erwärmung (zykl. Belastung)
  - $\Delta T \sim Frequenz, \Delta K^2$ , Material

## Nahfeld an der Spannungsspitze



#### **Bruchmechanik – Praktische Umsetzung**





#### Umsetzung

- Servohydraulische oder
- Elektrodynamische Prüfmaschine



#### Risskinetik





#### Lebensdauermodellierung am Bsp. Rohr





Picture: Pinter, G. et. al., Polymer Testing 2007

#### Lebensdauermodellierung am Bsp. Rohr



Typical fracture surface

#### Lebensdauervorhersage von PE-BF & PE 80 bei 60°C

Quasi-spröder Bruch, Charakterisierung mit Zeitstandinnendruckversuche Simulierte Fehlerzeiten von PE-BF im Vergleich zu gemessenen Daten



#### Lebensdauermodellierung am Bsp. Rohr



PE 100 Rohr unter Innendruck bei 23°C (ISO 9080) + Externe Belastung (Einbettung, 80cm) + Punktlast



Quelle: Frank & Pinter 2012

#### Lebensdauermodellierung



• Gute Ergebnisse für einfache Bauteile (z.B. Rohr)



- Schwierigkeiten bei komplexen Bauteilen & komplexen Lastsituationen am Bauteil
  - inhomogene Spannungsverteilungen (hohe lokale Spannungskonzentrationen)
  - Scherung in der Rissfläche (K<sub>II</sub> & K<sub>III</sub> Mode sind zu berücksichtigen)
  - Triaxialität (hydrostatische Spannungszustand!)
  - Unterschiedliches R-Verhältnis zwischen Messg. & Bauteil

#### → Messung kann reale Situation nicht wiedergeben

28.02.2014, mB

#### Materialranking



### "Ranken" von Materialien mittels Bruchmechanik

- Definierte Probekörper
  - Geometrie
  - Kerbung
- Reiner Materialvergleich

→Veränderungen im Material können gut detektiert werden

- Füllstoffeffekte
- Verarbeitung
- Alterung
- Qualitätscheck
- Wissenschaftlicher Aspekt

Gezielte Untersuchung von Struktur – Eigenschaftsbeziehungen

## Materialranking – Bsp.



#### **Ranking verschiedener POM Typen**

- Sehr gute Übereinstimmung mit Bauteilverhalten (Lagerrolle)
- Unterscheidung Rissinitiierung / Bruch



#### Materialranking – Bsp.



### **Ranking von Rohrmaterialien**

- Standardprozedur im Rohr-Bereich (ONR 25194)
- ISO Norm in Vorbereitung



#### Materialranking – Bsp.



**CRB** 

#### Ranking von versch. Kunststoffklassen





Die vorliegende Forschungsarbeit wurde an der Polymer Competence Center Leoben GmbH im Rahmen des Kompetenzzentren-Programms COMET des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie und des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend unter Beteiligung der Montanuniversität Leoben (Lehrstuhls für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe) durchgeführt und mit Mitteln des Bundes und der Länder Steiermark und Oberösterreich gefördert.







EOBEN











Competence Centers for Excellent Technologies

28.02.2014, mB