

## Programm der Frühjahrssitzung 2018 der DGM/DVM-AG Materialermüdung

am 12. und 13. April 2018 bei KME Germany in Osnabrück

---

Donnerstag, 12. April 2018

---

13:00

Dr. Wobker (KME Germany), U. Krupp (Hochschule Osnabrück), G. Biallas (HAW Hamburg)  
Begrüßung – Organisatorisches – Vorstellung KME

13:30

H. Schulze (KME Germany)

Ermüdungsprüfung an Kupferbasislegierungen für Gießformen

KME fertigt unter anderem Gießformen, die im Stahlstrangguss oder bei der Herstellung von Aluminium- bzw. Kupfer-Gießwalzdraht eingesetzt werden. Die Gießformen, unabhängig von ihrer Konstruktion, unterliegen unter anderem einer thermischen, zyklischen Beanspruchung. Zur Entwicklung und Verbesserung der Kupferbasislegierungen führt KME niederzyklische Ermüdungsprüfungen (LCF-Versuche) durch. Um die thermischen Dehnungen zu simulieren, die im Einsatz der Gießformen auftreten, werden vorrangig dehnungsgeregelte Versuche durchgeführt. Am Beispiel des Gießformwerkstoffs Elbrodur® G werden die Ergebnisse und die daraus abgeleiteten Werkstoffentwicklungen beschrieben.

14:00

A. Sandström (Epiroc Rock Drills AB, Sweden), Å. Sällström (Volvo Car Corporation, Sweden), T. Sjögren (RISE Research Institutes of Sweden)

UTMIS - Swedish Fatigue Network

UTMIS is a non-profit-making network of Swedish companies, research institutes and university departments working in the field of fatigue of materials. UTMIS will be presented together with typical network activities that are arranged every year. In addition, technical presentations from two UTMIS member companies, Epiroc Rock Drills and Volvo Cars, with examples on fatigue applications will be shown.

UTMIS and DGM have discussed the possibility to form a joint event for German and Swedish members in 2019. Therefore UTMIS has been invited to the working group meeting in Osnabrück, 12-13 April 2018. To plan for such a joint event with UTMIS and DGM, UTMIS wants to initiate the discussion regarding how, when and where the joint event could take place.

### 15:00-15:30 Kaffeepause

15:30

J. Lian (RWTH Aachen)

Numerical study of inclusion parameters and their influence on fatigue lifetime

The understanding of the influence of inclusion parameters like size, shape and surface roughness on the material's fatigue behavior can provide important guidelines for future material design. In this study, a numerical model is used to calculate the influence of inclusions on fatigue properties. The model consists of the statistical evaluation of numerous representative volume element (RVE) calculations in combination with a crystal plasticity (CP) constitutive model. The RVEs contain inclusions which differ in size, shape, surface roughness and elastic mismatch to the matrix. These parameters have been identified to determine the fatigue lifetime for the case that inclusions are the origin of failure. For each inclusion type, up to 100 RVEs are generated. The RVEs have statistically equivalent distributed microstructural properties but differ in detail, though. The results show that the inclusion size has the biggest influence on the lifetime. The influence of shape and roughness of the inclusion surface is negligible small. The study of the elastic mismatch is matching literature findings. All in all, this study shows that the numerical model can be used to calculate the influence of inclusions on fa-

tigue lifetime. The use of the model can help to reduce the experimental effort for specifying the minimum cleanness requirement of a steel to guarantee the structural integrity under cyclic loading.

16:00

J.-M. Tiemann (Hochschule Osnabrück)

Fatigue and Damage Behavior of Long Carbon Fiber Reinforced Polyamide

Long fiber reinforced thermoplastics (LFT) are being used in a variety of industry sectors due to their good combination of process ability and high specific mechanical properties. Especially in automotive industry, metals, short fiber reinforced thermoplastics and thermoset plastics are substituted more and more by LFT. LFT combine both the reduction of costs and vehicle weight. The possibility of injection molding lowers the time of production with minimal finishing procedures. LFT consist of long reinforcement fibers like carbon, glass, aramid or natural fibers, with lengths larger than 1 mm. During processing, the included fibers build a dense fiber network improving the overall mechanical and thermal properties. Thus, general advantages of LFT's are high flexural, tensile and impact properties, lowest creep tendencies, low shrinkage, high fatigue strengths and a lower moisture absorption for hygroscopic matrix materials. Due to the frequent use of LFT's for structural applications with high periodically applied loads, the objective of the present work is to achieve a clear understanding of the fatigue behavior. LFT's show a distinct anisotropic behavior caused by injection molding. To combat this, dog bone shaped specimen have been cut out of injection molded plates with different orientations relative to the melt flow. In contrast to metals fatigue life of fiber reinforced thermoplastics is governed by the crack initiation phase. Within this period, the whole specimen volume deteriorates while micro cracks are formed. It was shown that once a defect density threshold is exceeded ultimate failure occurs. Beside hysteresis measurements giving macroscopic impressions of how the specimen microstructure alters in between the measuring length an IR-thermography camera was used. The thermography is a spatially resolved method allowing the monitoring of the specimen surface temperature as well as incipient damage in the form of thermal hot spots. With respect to fatigue fracture surfaces, two different types of matrix behavior could be found. Stable crack propagation was characterized by ductile matrix behavior whereas unstable crack propagation was apparent in the form of brittle matrix fracture.

16:30

S. Saalfeld, T. Oevermann, B. Scholtes, Th. Niendorf (Uni Kassel)

Einfluss des Hochtemperaturfestwalzens auf das Ermüdungsverhalten und die Eigenspannungsstabilität des unlegierten Vergütungsstahls C45E

Das Festwalzen rotationssymmetrischer Komponenten ist ein weit verbreiteter Prozess in Industrie und Forschung. Hauptvorteile sind die erzeugten Druck-Eigenspannungen, welche sich positiv auf die Lebensdauer zyklisch belasteter Bauteile auswirken. [1] Eine Weiterentwicklung des Standardprozesses ist das Festwalzen bei erhöhter Temperatur. Das Blockieren („Pinnen“) von Versetzungen aufgrund statischer und dynamischer Reckalterungseffekte führt zu einer Stabilisierung günstiger Eigenspannungszustände mit zusätzlich positiven Auswirkungen auf die Sicherheit und Zuverlässigkeit [2]. Die durchgeführten Untersuchungen entstanden an dem unlegierten Stahl C45E im vergüteten Zustand. Mittels Röntgendiffraktometrie und Schwingfestigkeitsuntersuchungen wurde die Eigenspannungsstabilität in der festgewalzten Randschicht sowie das plastische Dehnungsverhalten unter zyklischer Belastung analysiert. Das Verhältnis zwischen Eigenspannungsstabilität und der Höhe der plastischen Dehnung in Abhängigkeit von der Belastungsamplitude wird anhand der ermittelten Ergebnisse hergeleitet und diskutiert.

[1] V. Schulze (2006): Modern Mechanical Surface Treatment. States, Stability, Effects. 1. Auflage. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

[2] A. Cherif, H. Hochbein, W. Zinn, B. Scholtes: Increase of fatigue strength and lifetime by deep rolling at elevated temperature of notched specimens made of steel SAE 4140. HTM J. Heat Treatm. Mat. 66 (2011), p. 342 - 348

17:00

M. Laub, F. Schäfer, M. Thielen, M. Marx (Uni Saarbrücken)

Dehnungsfeld- und CTOD-Messungen an Stadium-I und -II-Rissen mittels digitaler Bildkorrelation und HR-EBSD

Die Digitale Bildkorrelation (DIC) ermöglicht hochauflösende Dehnungsmessungen an der Probenoberfläche und wurde in den vergangenen Jahren zunehmend in der Materialermüdungs- und in bruchmechanischen Forschung eingesetzt. Obwohl diese Methode wertvolle Daten auch über das Verhalten insbesondere von kurzen Rissen liefern kann, ist die Methode jedoch sehr anfällig für Messfehler, besonders im Bereich der Messung elastischer Dehnungen bei Materialien mit hohem E-Modul. Unser Beitrag befasst sich mit Optimierungsstrategien für den Einsatz der DIC im REM. Am Beispiel ausgewählter Risstypen bei statischer und unter in situ Laststeigerung, werden wir zeigen, welche zusätzlichen Informationen neben der Dehnungsmessungen gewonnen werden können (Größe der plastischen Zone, CTOD). Aus der Verbindung von DIC und EBSD mittels der Software CrossCourt, können wir bei geeigneter Probenpräparation mit einer Auflösung von 100nm und besser die plastische Zone an Rissen abbilden.

**ab 18:00 Uhr: Stadtführung Osnabrück, Treffpunkt am Rathaus - Marktplatz, anschließend Gelegenheit zum gemeinsamen Abendessen im Brauhaus Rampendahl**

---

Freitag, 13. April 2018

---

9:00

M. Böcker (TU Bergakademie Freiberg)

Ermüdungsverhalten von Kohlenstofffaserverbundwerkstoff unter kombinierter Scher- und Druckbelastung

Viele Konstruktionen weisen Fügestellen auf. CFK-Bauteile werden dazu zum Großteil mit anderen CFK-Bauteilen oder Metallen verschraubt oder genietet. Diese Bereiche stellen potentielle Schwachstellen dar, da Löcher benötigt werden und mehrachsige und zyklische Spannungszustände auftreten. Diese Belastungskombinationen beeinflussen die Werkstoffeigenschaften und Lebensdauer und müssen für die sichere Auslegung bekannt sein.

In dieser Untersuchung wurde das mehrachsige Verhalten eines CFK-Gewebes unter zyklischer interlaminarer Schubbeanspruchung mit einer überlagerten interlaminaren Druckbeanspruchung in Laststeigerungsversuchen untersucht und mit statischen Untersuchungen verglichen. Hierfür wurde ein Prüfaufbau komplettiert und in Betrieb genommen. Für die Bestimmung der Verformung und Schädigung wurde unter anderem die digitale Bildkorrelation verwendet.

Die Ergebnisse zeigten geringere zyklische Festigkeiten in Anhängigkeit der Druckspannung im Vergleich zu statischen Versuchen. Zudem konnte zyklisches Risswachstum im Scherbereich nachgewiesen werden.

9:30

F. Kümmel, B. Diepold, C. Schunk, A. Prakash, H.W. Höppel, M. Göken (FAU Erlangen-Nürnberg)

Gesteigerte zyklische Lebensdauer in ultrafeinkörnigen lamellaren metallischen Verbundwerkstoffen

In lamellaren metallischen Verbundwerkstoffen werden unterschiedliche Metalle, sowohl hinsichtlich der Festigkeit als auch des Elastizitätsmoduls, in alternierender Reihenfolge verbunden. Eine Möglichkeit der Herstellung dieser Verbundwerkstoffe bietet der kumulierte Walzprozess, bei dem es zusätzlich zur Ausbildung einer ultrafeinkörnigen Mikrostruktur in den Materialien kommt. Im Rahmen des Vortrages wird der Einfluss eines Gradienten in Festigkeit und Elastizitätsmodul auf die Ermüdungseigenschaften in ultrafeinkörnigen Aluminium/Stahl Verbundwerkstoffen geklärt. Die zyklischen mechanischen Eigenschaften wurden in Dreipunkt-Biegeversuchen an einem Hochfrequenzpulsator bestimmt. Um den Einfluss der Meso- und Mikrostruktur zu klären wurden die Spannungsverteilung mittels Finite-Elemente-Simulationen berechnet sowie der Rissverlauf im Rasterelektronenmikroskop untersucht.

10:00

B. Blinn (TU Kaiserslautern)

Bestimmung des Aufbaurichtungseinflusses auf das Ermüdungsverhalten additiv gefertigter Werkstoffproben aus dem austenitischen Stahl AISI 316L mit Hilfe physikalisch basierter Kurzzeitmethoden

Die additive Fertigung bietet enorme Potentiale zur Fertigung von Bauteilen mit hoher Komplexität und variabler Beanspruchung. Um die Potentiale dieser innovativen Fertigungstechnologie auszuschöpfen, ist es unabdingbar, die komplexen Werkstoffeigenschaften der additiv gefertigten Strukturen zu untersuchen und deren Zusammenhang mit den Fertigungsparametern zu verstehen. In den hier präsentierten Untersuchungen wurde der Einfluss der Aufbaurichtung bei unterschiedlichen additiven Fertigungsprozessen auf die Werkstoffeigenschaften bei zyklischer Beanspruchung untersucht. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden Laststeigerungsversuche sowie zyklische Mikroeindringprüfungen (PhyBa<sub>LCHT</sub>) zur effizienten Ermittlung der Ermüdungseigenschaften der additiv gefertigten Strukturen genutzt. Zusätzlich wurde der Einfluss einer Wärmebehandlung auf das anisotrope Ermüdungsverhalten additiv gefertigter Strukturen mit Hilfe der erwähnten Kurzzeitmethoden untersucht.

### **10:30-11:00 Kaffeepause**

11:00

J. Tenkamp, A. Koch, F. Walther (TU Dortmund), S. Knorre, U. Krupp, W. Michels (Hochschule Osnabrück)

Einfluss der Mikrostruktur auf das zyklische Spannungs-Dehnungs-Verhalten und die Lebensdauer der Aluminiumgusslegierung EN AC-AISi7Mg0,3

Moderne Aluminiumgusslegierungen eignen sich aufgrund ihres hervorragenden Festigkeit-zu-Masse-Verhältnisses für hochbeanspruchte Leichtbaukomponenten. Um für diese Legierungen eine sichere Auslegung zu gewährleisten, muss der Zusammenhang zwischen Mikrostruktur und Ermüdungsfestigkeit bekannt sein. Hierzu wurde der Einfluss der Eiformung der eutektischen Siliziumausscheidungen und der Al-Mischkristallhärte auf das zyklische Spannungs-Dehnungs- und Rissinitiierungsverhalten in Form von Dehnungs-Wöhlerkurven bestimmt. Das zyklische Spannungs-Dehnungs-Verhalten wurde mittels Incremental-Step-Tests (IST) sowie Einstufenversuchen (ESV) im LCF- (low cycle fatigue) und HCF-Bereich (high cycle fatigue) charakterisiert. Unterschiede in den Ermüdungseigenschaften wurden mittels digitaler Bildanalyse an lichtmikroskopischen Aufnahmen am Ausgangsgefüge und mittels fraktografischer Methoden im Rasterelektronenmikroskop mit der Mikrostruktur korreliert.

11:30

N. Baak, J. Nickel, D. Biermann, F. Walther (TU Dortmund)

Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit auf das Ermüdungsverhalten tiefgebohrter Proben aus dem Vergütungsstahl 42CrMo4+QT

Um die stetig steigenden Anforderungen der Industrie an Werkstoffe und Bauteile erfüllen zu können, ohne dabei die Herstellkosten signifikant zu erhöhen, bieten optimierte Zerspanungsprozesse vielversprechende Möglichkeiten. Diese Studie behandelt den Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit beim Tiefbohren auf das Ermüdungsverhalten von Proben aus dem Vergütungsstahl 42CrMo4+QT. Dazu wurde eine konventionelle Probengeometrie entlang der Längsachse tiefgebohrt. Die Vorschubgeschwindigkeit des Tiefbohrprozesses wurde bei ansonsten konstanten Parametern variiert. Die Ermüdungsversuche wurden mit stufenförmig steigender Spannungsamplitude und instrumentiert mit Extensometer, Thermoelementen und Wechselstrompotentialsonde durchgeführt. Mithilfe der detektierten Werkstoffreaktionen wurden die Spannungsamplituden für Versuche mit konstanter Last abgeleitet. Dadurch konnte der Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit mechanismenorientiert beurteilt werden.

12:00

R. Gerzen, A. Abboud, H.-J. Christ, U. Pietsch (Uni Siegen)

Untersuchung des Verformungsverhaltens und der Ermüdungsschädigungsentwicklung von Nickel 201 mit der Laue-Röntgenbeugung unter Einsatz eines energiedispersiven 2D Flächendetektors

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Anwendbarkeit der Laue Methode unter Verwendung eines energiedispersiven Flächendetektors auf vielkristalline Werkstoffe auszuweiten. Anhand von Modellwerkstoffen, die unterschiedliches Gleitverhalten aufweisen, soll die Eignung zur Charakterisierung der Ermüdungsschädigung festgestellt werden.

Für diesen Zweck wurde zunächst der Werkstoff Nickel 201, welcher welliges Gleitverhalten aufweist, im LCF- und HCF-Bereich ermüdet. Unterschiedliche Ermüdungszustände, die sich in Form von typischen Versetzungsanordnungen äußern, wurden durch Ermüdung an einer servohydraulischen Prüfmaschine dehnungsgeregelt eingestellt und durch Untersuchungen am Transmissionselektronenmikroskop nachgewiesen. Anschließend Untersuchungen der Proben mit der Laue-Beugung, unter Verwendung von hochenergetischer Röntgenstrahlung an der Synchrotron Strahlenquelle BESSY II zeigen eine Verbreiterung der detektierten Beugungspunkte abhängig von dem Deformationszustand und den Versetzungsanordnungen.

Die Auswertung der Spektralprofile der Beugungspunkte (Energie gegen Braggwinkel) ermöglicht die Berechnung des Dehnungszustandes der bestrahlten Körner. So ist ein neuer Einblick in die Schädigungsentwicklung der einzelnen Körner, abhängig von ihrer Orientierung, mit der innovativen Methode möglich.

12:20

F. Schäfer, M. Thielen, M. Marx, Ch. Motz (Uni Saarbrücken)

Rissspitzenspannungen und die Jagd nach dem Hundeknochen im Synchrotron

Um den Einfluss der Proben- oder Bauteildicke auf die Bruchzähigkeit und damit die Festigkeit eines Bauteils abschätzen zu können, ist es unabdingbar das Spannungs- und Dehnungsfeld vor einer Rissspitze qualitativ und quantitativ beschreiben zu können. Das Dogbone-Modell, das insbesondere die Größe der plastischen Zone vor einer Rissspitze beschreibt, basiert auf der Annahme, dass an der Rissspitze ein (generalisierter) ebener Spannungszustand vorliegt. Diese Näherungslösung verletzt jedoch die Beltrami-Michell-Kompatibilitätsgleichungen. FE-Simulationen zeigen signifikante Abweichungen der Spannungs- und Dehnungsfelder von der angenommenen Hundeknochenform. Durch Einsatz von in situ (Eigen-)spannungsmessung konnte unter Verwendung von hochenergetischer Röntgenstrahlung am Synchrotron BESSY II (EDDI-Beamline) mittels energiedispersiver und damit eindringtiefsensitiver XRD-Spannungsmessung gezeigt werden, dass die sich an einer angerissenen AW7075-CT-Probe einstellenden Spannungsfelder nur in Näherung dem Dogbone-Modell entsprechen und qualitativ gut durch FE-Simulationen beschrieben werden. Die Form der an der Probenoberfläche gemessenen Spannungsfelder ist dabei in guter Übereinstimmung mit Messungen mittels Digitaler Bildkorrelation und Barkhausenrauschen.

12:50

U. Krupp (Hochschule Osnabrück), G. Biallas (HAW Hamburg)

Abschließende Diskussion – nächste Sitzung