

**Programm der Frühjahrssitzung 2017
der DGM/DVM-AG Materialermüdung**
am 16. und 17. März 2017 an der Universität Duisburg

Donnerstag, 16. März 2017

13:00

A. Fischer (Universität Duisburg-Essen), U. Krupp (Hochschule Osnabrück), G. Biallas (HAW Hamburg)

Begrüßung – Organisatorisches – Vorstellung des Lehrstuhls für Werkstofftechnik der Universität Duisburg-Essen

13:30

S. Güler, A. Fischer (Universität Duisburg-Essen)

Einfluss der Kaltverformung auf die quasistatischen und zyklischen mechanischen Eigenschaften von hoch-interstitielllegierten austenitischen Stählen

Interstitiell legierte austenitische CrMnCN-Stähle haben im lösungsgeglühten Zustand bessere quasistatische und zyklische mechanische Eigenschaften als klassische CrNi-Stähle. Mit Hilfe von Kaltverformung können die quasistatischen Eigenschaften weiter verbessert werden. Je höher der interstitiell gelöste C+N-Anteil ist, desto stärker können mittels Kaltverformung Zugfestigkeit sowie Dehngrenze erhöht werden. Die zyklischen mechanischen Eigenschaften folgen dieser Tendenz nicht.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die quasistatischen und zyklischen mechanischen Eigenschaften von CrMnCN-Stählen im kaltverformten Zustand mit variierenden C+N-Gehalt von 0,85 - 1,07 Gew% untersucht. Nach den mechanischen Versuchen wurden die getesteten CrMnCN-Stähle im Limi, REM sowie TEM untersucht. Zusätzlich erfolgte die Analyse ausgewählter Ermüdungsproben mittels EBSD.

14:00

B. Mitevski (Universität Duisburg-Essen)

LCF und HCF Untersuchungen an oligokristallinen, dünnen Blechen und Drähten aus dem Implantatwerkstoff 1.4441 (316LVM)

Der medizinische, austenitische CrNi-Stahl X2 CrNiMO 18-15-3 wird neben der Anwendung für chirurgische Instrumente und Knochenplatten auch in Form von dünnstrebigen Implantaten, den koronaren Stents, eingesetzt. Der medizinisch notwendige dünnstrebige Aufbau von Stents mit einem Drahtdurchmesser von 80-100µm hat eine relativ geringe Anzahl von Kristallen im Querschnitt einer Strebe zur Folge. Der Bereich von etwas weniger als 10 Kristallen im Querschnitt wird als oligo- bzw. wenigkristallin bezeichnet und bildet eine mikrostrukturelle Zwischenform des einkristallinen und polykristallinen Aufbaus ab.

Aus monotonen Untersuchungen an dünnen, oligokristallinen Drähten geht ein verstärkter kristallographischer Orientierungseinfluss hervor, welcher oftmals eine Verminderung der monotonen Festigkeits- und Zähigkeitskennwerte in Kombination mit einer hohen Streuung bewirkt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das axiale Ermüdungsverhalten sowohl sequentiell während des Versuchs als auch nach dem Versuch mithilfe der Rückstreuungselektronenbeugung (EBSD) untersucht. Diese Untersuchung zeigt den kristallographischen Orientierungseinfluss auf die Ermüdung von oligokristallinen Mikrostrukturen auf.

14:30-15:00 Kaffeepause

15:00

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

Mikrostrukturkorrelierte Charakterisierung des zyklischen Verformungs- und Schädigungsverhaltens 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. Daher wurde der Einfluss prozessbedingter Mikrostrukturcharakteristika (u.a. Porosität, Dendritenarmabstand) auf das Rissinitiierungs- und Rissfortschrittsverhalten unter zyklischer Beanspruchung charakterisiert. Die Porosität wurde dazu durch Schmelzenreinigung und heißisostatisches Pressen angepasst. Unterschiede in den Ermüdungseigenschaften wurden mit der Mikrostruktur korreliert, die mittels fraktografischer Methoden im Rasterelektronenmikroskop, digitaler Bildanalyse an lichtmikroskopischen Aufnahmen und Volumenrekonstruktionen im Computertomograph ermittelt wurden. Der Zusammenhang zwischen Defektgröße und Ermüdungsfestigkeit wurde mit Hilfe des Kitagawa-Takahashi-Diagramms bewertet.

15:30

M. Thielen, F. Schäfer, P. Grünewald, M. Laub, M. Marx, C. Motz (Uni Saarbrücken)
Materialermüdung im Synchrotron: tiefere Einblicke durch hochaufgelöste Spannungsanalyse (Übersichtsvortrag)

Ermüdungsrissausbreitung ist getrieben durch die lokale Spannungsüberhöhung vor der Risspitze. Sämtliche Mechanismen, die zu Änderungen im Risswachstumsverhalten führen, gehen mit Änderungen in den Spannungsfeldern einher. Eine experimentelle Ermittlung der Felder ist jedoch alles andere als einfach, da der lokale Spannungsgradient ein sehr kleines Messvolumen erfordert. Eine Möglichkeit der Messung ist die röntgenographische Spannungsanalyse in Nutzung mit einem stark reduzierten Strahlquerschnitt an einer Strahlenquelle hoher Brillanz.

Wir zeigen anhand von in situ Experimenten und Spannungsmappings am Synchrotron, wie sich in Abhängigkeit verschiedener Lasten Spannungsfelder vor Rissen aufbauen, und wie diese durch Überlagerung mit lokalen Eigenspannungsfeldern variiert werden. Die Auswertung verschiedener Beugungspeaks unter Ausnutzung der Dispersion erlaubt zudem eine Auswertung der Tiefenverläufe der Spannungen. Aus Korrelationen mit Risswachstumsänderungen durch überlastinduzierte Eigenspannungsfelder und in situ Messungen im Rasterelektronenmikroskop werden abschließend Mechanismen, die das Risswachstum beeinflussen, diskutiert.

18:00 Uhr: Führung am Düsseldorfer Flughafen, anschließend dort Gelegenheit zum gemeinsamen Abendessen

Freitag, 17. März 2017

9:00

A. Schmiedt, M. Manka, W. Tillmann, F. Walther (TU Dortmund)
Einfluss von Korrosion in synthetischem Abgaskondensat auf das Ermüdungsverhalten gelöteter AISI 304/BNi-2-Verbindungen

In gelöteten Abgaswärmetauschern werden statische und dynamische Beanspruchungen von korrosiven Beanspruchungen durch aggressive Abgaskondensate überlagert, so dass das Korrosionsermüdungsverhalten der Fügeverbindungen für die Lebensdauer der Wärmetauscher ausschlaggebend ist. In der Arbeit wurden gelötete AISI 304/BNi-2 Verbindungen in situ im synthetischen Abgaskondensat K2.2 unter Einsatz einer Korrosionszelle sowie an Luft nach einer gemäß VDA 230 214 ausgeführten 6-wöchigen Vorkorrosion zyklisch getestet. Für die vorangegangene bzw. überlagerte Korrosionsbeanspruchung wurde ein signifikanter Abfall der Ermüdungsfestigkeit bei der Grenzlastspielzahl $2 \cdot 10^6$ bis zu 43% nachgewiesen. Dabei hat sich die neue Prüfsystematik mit lokaler Dehnungsmessung unter Einsatz eines neuentwickelten Extensometers sowie elektrischen und elektrochemischen Messmethoden als geeignetes Instrument zur Charakterisierung des Korrosionsermüdungsverhaltens von Lötverbindungen erwiesen. Ferner wurden korrosions- und verformungsinduzierte mikrostrukturelle Änderungen der Verbunde mittels Licht- und Elektronenmikroskopie analysiert.

9:30

S. Mrzljak, D. Hülsbusch, R. Scholz, F. Walther (TU Dortmund)

Computertomographische Charakterisierung der Schädigungsentwicklung an glasfaserverstärktem Polyurethan

Tiefgreifende Informationen zur Schädigungsentwicklung von glasfaserverstärktem Polyurethan werden benötigt, um dessen Eignung für sicherheitsrelevante Bauteile prognostizieren zu können. In diesem Kontext wurden auf mikroskopischer Ebene anhand von in-situ Computertomographie (CT) zyklisch eingebrachte Schädigungsabläufe charakterisiert. Hierfür wurde ein intermittierendes Verfahren angewendet, bei dem nach ausgewählten Laststeigerungen und Lastspielzahlen die Schädigung stufenweise durch CT abgebildet und der Schädigungsverlauf detektiert werden konnte. Durch visuelle Evaluation der CT-Aufnahmen konnten für Faserverbundkunststoffe charakteristische Schädigungsmerkmale, wie intralaminare Zwischenfaserbrüche und Delaminationen, festgestellt und Rückschlüsse auf die zugehörigen Beanspruchungsintensitäten gezogen werden. Dazu ergänzend zeigte die Quantifizierung der Schädigungen (Rissentwicklung) den laminatspezifischen Fortschritt und dessen Besonderheiten bei der Schädigungsausbreitung. Im Hinblick auf das angewendete Vorgehen kann durch den Einsatz der CT ein beachtlicher Einblick in bis dato für glasfaserverstärktes Polyurethan unbekannt mikrostrukturelle Schädigungsabläufe ermöglicht werden, der die Erkenntnisse aus konventionellen materialographischen Prüfverfahren (LiMi, REM, etc.) entscheidend erweitert.

10:00

G. Seiler (Uni Saarbrücken)

Erweiterung der Bemessung ermüdungsbelasteter metallischer Strukturen in der Energietechnik unter Nutzung zerstörungsfreier Prüfverfahren

Die Bewertung der Restlebensdauer großer Bauteile in der Energietechnik erfolgt gemäß der gebräuchlichen Regelwerke bisher hauptsächlich aufgrund von Werkstoffdaten und Lastverläufen. Die maßgeblichen Zustandsgrößen sind dabei Spannung und (plastische) Dehnung, die sich aus der klassischen σ - ϵ -Hysterese des Werkstoffverhaltens herleiten. Diese Größen erlauben es aber nur den zweiten Teil eines gesamten Schädigungsprozesses zutreffender zu beschreiben, nämlich dann, wenn ein mikroskopischer Anriss entstanden ist, nicht jedoch die teilweise viel längere Phase früher mikrostruktureller Ermüdungsvorgänge, während derer Schädigung immer noch als linear akkumulierend angenommen wird, obwohl diese in Wahrheit nicht-linear akkumuliert. Diese durch die Nichtlinearität bedingte Diskrepanz wird noch deutlicher, wenn Medieneinflüsse ins Spiel kommen. Ein Ansatz diese Lücke zu schließen ist, Ermüdungsversuche zusätzlich mit Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) bzw. der Werkstoffcharakterisierung zu instrumentieren und so in Echtzeit zusätzliche Messgrößen zu gewinnen, die das nicht-lineare Verhalten besser beschreiben. Hier sind z.B. mit Resistometrie und Thermometrie in der Vergangenheit gute Ergebnisse erzielt worden. Wie bisher mit Spannung und Dehnung sollen auch hier die zusätzlichen Messgrößen von großen komplexen Bauteilen auf kleine Werkstoffproben und vice versa bei ein- und mehrstufiger Beanspruchung übertragen werden können.

In dem vorliegenden Beitrag wird der in der Kerntechnik verbreitete austenitische Stahl 1.4550 beispielhaft untersucht. Die betrachteten ZfP-Verfahren sind die Magnetik und der elektromagnetisch induzierte Ultraschall (EMUS). Es wird gezeigt, wie einerseits mit diesen ZfP-Verfahren die klassischen Spannungs- und Dehnungsgrößen, andererseits mit Hilfe von Stromdurchflutung in Verbindung mit Magnetfeldsensoren zusätzliche elektromagnetische Größen ermittelt werden können. Eine experimentelle Herausforderung ist hierbei die Messung unter betriebsnahen Bedingungen ($T > 200$ °C und z.T. unter Druck- und Mediumbeanspruchung), die über die ZfP-Verfahren erfüllbar erscheint. Nach einem Überblick über den Stand der Technik und die einschlägige Bewertungspraxis werden die mit den ZfP-Verfahren erweiterten Ansätze anhand von bisher erzielten Ergebnissen vorgestellt.

10:30-11:00 Kaffeepause

11:00

P. Starke, C. Boller (Uni Saarbrücken)

Einsatz zerstörungsfreier Prüfverfahren in Kurzzeitmethoden zur Abschätzung von Ermüdungsdaten

Im Rahmen dieses Beitrages wird gezeigt, wie die Potentiale der zerstörungsfreien Prüfung, der Digitalisierung der Messtechnik und der Signalverarbeitung genutzt und mit einer neuartigen Ein-Proben Prüfstrategie kombiniert werden können, um hierdurch einen deutlichen Informationsgewinn bezüglich des Ermüdungsverhaltens bei einer gleichzeitigen Reduktion von Versuchsaufwand und -kosten zu erzielen. Es entsteht somit nicht nur ein erheblicher Vorteil gegenüber der konventionellen Ermittlung von Ermüdungsdaten, sondern auch gegenüber etablierten Kurzzeitverfahren, wenn es gelingt eine Vielzahl an Werkstoffeffekten an einer einzelnen Probe mittels Datenanalyse zu separieren und dies als eine Grundlage für eine Lebensdauerberechnung zu nutzen.

In dem neuen Lebensdauerberechnungsverfahren SteBLife (Stepped Bar Fatigue Life Evaluation), welches am Lehrstuhl für Zerstörungsfreie Prüfung und Qualitätssicherung an der Universität des Saarlandes entwickelt wurde, wird eine gestufte Ermüdungsprobe mit mehreren Prüfstrecken eingesetzt und die lokalen Werkstoffreaktionen über zugeordnete Messgrößen der ZfP erfasst. In ersten Untersuchungen für Proben aus C45E wurden die Werkstoffreaktionen mittels Infrarotkamera und einem selbstentwickelten mikromagnetischen Messsystem auf der Basis von Hall-Sensoren erfasst.

Die hier vorgestellte Vorgehensweise reduziert nicht nur Versuchszeit und -kosten um mehr als 90 % und führt hierdurch zu enormen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Ersparnissen, sondern bietet auch den Verfahren der ZfP ein neues und vielversprechendes Anwendungsfeld.

11:30

C. Derks, M. Solovev, S. Worpenberg, M. Harwarth, U. Krupp (Hochschule Osnabrück)

Einstellung verschiedener Gefügestrukturen im Vergütungsstahl 50CrMnB5-3 durch thermomechanische Behandlung und ihr Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften

Der Forschungsschwerpunkt "OptiHeat" befasst sich mit der Optimierung von Umform- und Wärmebehandlungsprozessen für eine wirtschaftliche Gestaltung von Hochleistungswerkstoffen. Im Beitrag werden die Ergebnisse der thermomechanischen Einstellung bainitischer und martensitischer Vergütungsgefüge im Stahl 50CrMnB5-3 direkt aus der Umformhitze von 950°C vorgestellt. Neben der Darstellung des Prozessablaufs bestehend aus induktiver Erwärmung der Rohlinge, gefolgt von einem Fließpressen bei 950°C und einer gezielt gesteuerten Abkühlung, liegt der Fokus auf der Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften. Insbesondere die Gefügestruktur mit selbstangelassenem Martensit zeigt vielversprechende Kerbschlag- und Zugversuchsergebnisse. Entsprechende Proben wurden daraufhin einer Dauerfestigkeitsanalyse mit Hilfe einer Resonanzprüfmaschine der Firma RUMUL unterzogen. Im VHCF-Bereich überwiegt innere Rissinitiierung an Einschlüssen.

12:00

M. Harwarth, W. Michels, U. Krupp (Hochschule Osnabrück), H. Zoz, H. U. Benz, (Zoz GmbH Wenden)

Ultrafeinkörnige partikelverstärkte Aluminiumlegierungen: Herstellung und mechanisch-technologische Eigenschaften

Es wird ein neues Werkstoffkonzept vorgestellt, das auf einer Kombination der pulverförmig vorliegenden Aluminiumlegierungen Al 5083, Al 2024 und Al 7075 mit darin fein verteilten -Zinkferrite-Dispersionen (Spinell $ZnFe_2O_4$) besteht. Dazu kommt eine Hochenergiekugelmühle (Simoloyer) zum Einsatz, mit welchem die Zinkferrite durch mechanisches Legieren in die Aluminiummatrix eingebaut werden. Unter Berücksichtigung geeigneter Parameter lässt sich so ein ultrafeinkörniges Legierungspulver mit fein verteilter Verstärkungsphase erzeugen. Gezeigt werden der Prozessablauf, bestehend aus Pulverherstellung und die angewendeten Fertigungsverfahren zur Konsolidierung. Die schließlich resultierenden Gefüge wurden auf ihre mechanischen Kennwerte hin überprüft und durch REM- und TEM-Untersuchungen klassifiziert. Dabei zeigte sich eine gegenüber den herkömmlichen Aluminiumwerkstoffen deutlich gesteigerte statische und zyklische Festigkeit und eine erstaunlich hohe Kriechbeständigkeit, die auf die Stabilität der ultrafeinkörnigen Struktur auch bei erhöhten Temperaturen von 300°C zurückzuführen ist.

Anschließend:

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

Abschließende Diskussion – nächste Sitzung