

## **Experimentelle und simulative Erforschung des Ermüdungsverhaltens von Werkstoffverbunden aus Cr basierten nitridischen Hartstoffschichten auf Stahlsubstrat unter zyklisch stoßenden Belastungen und Biegebeanspruchungen**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kirsten Bobzin, Institut für Oberflächentechnik (IOT) der RWTH Aachen University

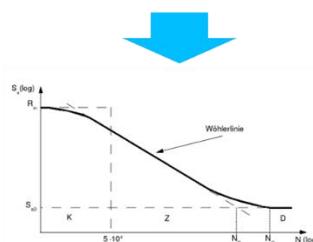
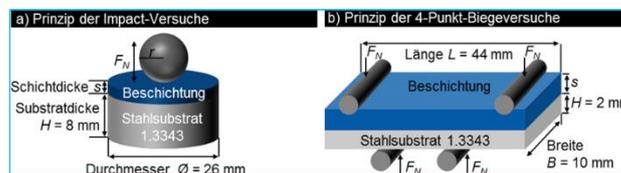
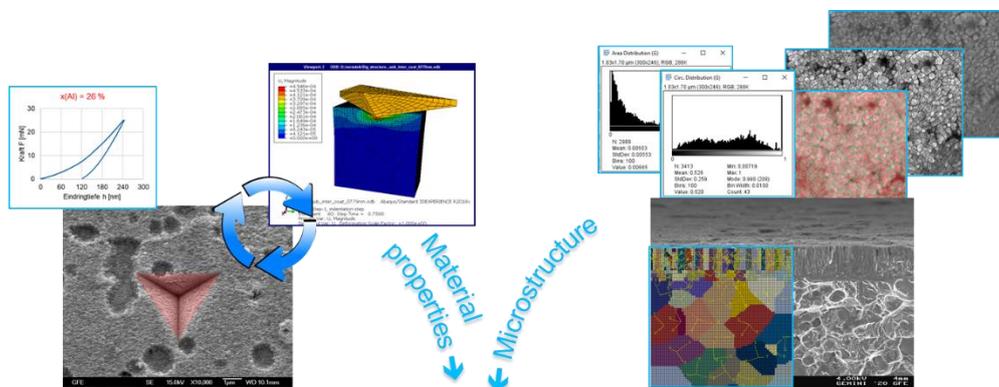
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c. Siegfried Schmauder, Institut für Materialprüfung, Werkstoffkunde und Festigkeitslehre (IMWF) der Universität Stuttgart

Das übergeordnete Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Erforschung des Ermüdungsverhaltens des Werkstoffverbundes Hartstoffschicht/Werkzeugwerkstoff sowohl unter zyklischer und stoßender Belastung als auch unter Biegebeanspruchung. Als Hartstoffschicht wird das technisch relevante ternäre Schichtsystem  $(Cr_{1-x},Al_x)N$  betrachtet, das bereits am IOT erfolgreich entwickelt wurde und bei dem das Cr/Al-Verhältnis mit  $x = 0,20$ ,  $x = 0,40$  und  $x = 0,60$  variiert wird. Dieses Schichtsystem zeichnet sich durch eine hohe Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit auch unter anspruchsvollen Bedingungen aus. Die geplante Variation der chemischen Zusammensetzung bietet hierbei die Möglichkeit, das Ermüdungsverhalten gezielt in Abhängigkeit variiert Schicht und mechanischen Eigenschaften untersuchen zu können. Zudem kann das ausgewählte Schichtsystem als stellvertretend für ähnliche ternäre Nitride weiterer Refraktärmetalle gelten, wie z. B.  $(Ti,Al)N$ . Als Werkzeugwerkstoff wird mit HS6-5-2C (1.3343) ein Stahlsubstrat im PVD-Prozess beschichtet. Dieser Stahl findet breite Anwendung in der Herstellung von Kaltformwerkzeugen, wie z. B. in Kaltfließpressmatrizen, die während der Einsatzdauer zyklischen Schlag- und Biegebeanspruchungen ausgesetzt sind. Insgesamt soll ein grundlegender Beitrag zur Beschreibung der Versagensmechanismen von Werkstoffverbunden geleistet werden. Hierfür werden die Expertise des IOT im Bereich der Synthese und Analyse von Hartstoffschichten und die Fachkompetenz des IMWF bei der numerischen Werkstoffsimulation zusammengeführt, um die unten formulierten Teilziele durch umfassende experimentelle und simulative Untersuchungen zu erreichen:

- Verständnis der Einflüsse von den Eigenschaften Schichtdicke, Morphologie, chemische Zusammensetzung sowie den mechanischen Eigenschaften und Eigenspannungen auf das mechanische Ermüdungsverhalten des Werkstoffverbundes aus Beschichtung und Substrat
- Erkenntnisse über die Versagensarten des Schichtsystems  $(Cr,Al)N$  unter zyklischen und stoßenden Belastungen sowie unter Biegebeanspruchungen und deren Beschreibung unter Berücksichtigung tiefenabhängiger elastisch-plastischer Eigenschaften und Eigenspannungen
- Erarbeitung eines FE-Modells zur Untersuchung der Dauerfestigkeit des Werkstoffverbundes unter zyklischen Belastungen und Beobachtung von Spannungszuständen
- Beitrag zur Erklärung der Versagensmechanismen, die dem experimentell und simulativ beobachteten Ermüdungsverhalten und Ermüdungsversagen des Werkstoffverbundes zugrunde liegen

Um grundlegende Erkenntnisse über den Einfluss der chemischen Zusammensetzung der Hartstoffschichten auf das Ermüdungsverhalten von Werkstoffverbunden gewinnen zu können, werden Beschichtungen mit unterschiedlichen Aluminiumgehalten abgeschieden. Bisher wurde lediglich das Ermüdungsverhalten für verschiedene Werkstoffverbunde untersucht, jedoch die Korrelation zwischen dem Ermüdungsverhalten und den elastisch-plastischen Eigenschaften nicht thematisiert. Die elastisch-plastischen Eigenschaften zusammen mit den tiefenabhängigen Eigenspannungen sind für die Rissbildung und Rissausbreitung und schließlich für das Ermüdungsverhalten entscheidend. Daher kann ein für den betrachteten Werkstoffverbund gültiges, allgemeines Verständnis von dem Ermüdungsverhalten und dessen Abhängigkeit von Schichteigenschaften die Übertragung der Erkenntnisse auf weitere Schichtsysteme, z. B.  $(Ti,Al)N$  und

(Ti,Al,Cr)N, ermöglichen. Durch die Herstellung der Beschichtungen mit drei Aluminiumgehalten werden unterschiedliche elastisch-plastische Eigenschaften und Eigenspannungen der Schichtsysteme (Cr,Al)N realisiert, die zum Verständnis des Einflusses dieser Eigenschaften auf das Ermüdungsverhalten des Werkstoffverbundes beitragen. Zur Untersuchung des Einflusses der Schichtdicke und tiefenabhängigen Eigenspannungen auf das Ermüdungsverhalten werden vier unterschiedliche Schichtdicken berücksichtigt. Die beschichteten Stahlproben werden hinsichtlich der Dauerfestigkeit unter zyklischer Belastung mit unbeschichteten Proben verglichen. Der Unterschied in der Dauerfestigkeit von beschichteten und unbeschichteten Proben wird durch eine ausführliche Analyse des Ermüdungsversagens erklärt und mit den tiefenabhängigen elastisch-plastischen Eigenschaften und Eigenspannungen korreliert. Zur Analyse des Werkstoffverhaltens unter zyklischer und stoßender Belastung werden Impact-Tests durchgeführt. Für zyklische Biegebeanspruchungen werden 4-Punkt-Biegeversuche verwendet. Da der Einfluss der Schichtdicke, der chemischen Zusammensetzung, der elastisch-plastischen Eigenschaften, der Eigenspannungen und der Belastungsart auf das Werkstoffverhalten nicht vollumfänglich bekannt sind, werden die genannten Schichtvarianten vollfaktoriell untersucht. Das Ermüdungsverhalten aller Varianten wird sowohl durch experimentelle (IOT) als auch durch simulative (IMWF) Arbeiten erforscht. Ein großer Teil der Arbeiten dieses Forschungsvorhabens liegt in der Analyse des Ermüdungsverhaltens und der Versagensarten der Prüfkörper in den Bereichen der Beschichtung und der Grenzfläche nach den Impact- und 4-Punkt-Biegeversuchen. Für ein detailliertes Verständnis der auftretenden Schädigungen werden Kurzzeitversuche mittels in-situ-4-Punkt-Biegeuntersuchungen im Großkammer-REM durchgeführt. Es werden sowohl die Versagensmechanismen der Beschichtung und des Substrats selbst, als auch die der Grenzfläche Beschichtung/Substrat nach den zyklischen Belastungen erforscht. Hierfür werden grundlegende Analysen mittels konfokaler Laserscanningmikroskopie (CLSM), REM und TEM durchgeführt. So wird zum einen geklärt, wie sich die eingesetzten beschichteten und unbeschichteten Prüfkörper im Impact-Test und in den 4-Punkt-Biegeversuchen mechanisch verhalten. Zum anderen wird der Einfluss der PVD-Schichten auf die Dauerfestigkeit des Werkstoffverbundes erforscht.



In diesem Projekt kooperieren wir mit dem IOT der RWTH Aachen:



Dr.-Ing., Univ.-Prof. Kirsten Bobzin  
M. Sc. Muhammad Tayyab  
Institut für Oberflächentechnik im Maschinenbau  
RWTH Aachen

Ansprechpartner:



Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c. Siegfried Schmauder  
Dipl.-Ing. Wolfgang Verestek  
Institut für Materialprüfung, Werkstoffkunde und Festigkeitslehre  
Universität Stuttgart