

Multimodales Sensorsystem zur mikromagnetischen Materialcharakterisierung

Kevin SCHMITZ¹, Sargon YOUSSEF¹

¹ Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

Kontakt E-Mail: kevin.schmitz@izfp.fraunhofer.de

Kurzfassung

In der Praxis wird heute ein breites Spektrum an zerstörungsfreien Prüfverfahren eingesetzt. Aufgrund von Nachhaltigkeits- und Qualitätsaspekten in der Stahlindustrie gewinnen die mikromagnetischen Verfahren zunehmend an Bedeutung. Diese Verfahren nutzen die gegenseitigen Abhängigkeiten der magnetischen und mechanischen Eigenschaften von ferromagnetischen Materialien. Änderungen der Mikrostruktur, sowie Last- und Eigenspannungen bilden sich in der magnetischen Hysterese ab. Die zerstörungsfreie Messung des magnetischen Werkstoffverhaltens erlaubt durch diese Abhängigkeit Rückschlüsse auf mechanische Eigenschaften, die sonst nur zerstörend bestimmt werden können.

Eine direkte Bestimmung der magnetischen Hysteresekurve ist unter Praxisbedingungen meist nicht möglich, teils wegen der langen Messzeit, teils wegen der Notwendigkeit, gut definierte Proben zur Messung der Flussdichte über eine proben umfassende Spule zu entnehmen. Das am Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP entwickelte 3MA-X8 Verfahren kombiniert unterschiedliche mikromagnetische Methoden unter Einsatz minimalistischer und robuster Sensortechnik. Als Sensor kommt ein Elektromagnet zum Einsatz, der ein definiertes magnetisches Wechselfeld in das zu messende Objekt einbringt, welches die Impedanz des Elektromagneten beeinflusst. Ziel dieser Technologie ist es, mit hoher Messgeschwindigkeit in Aufsatztechnik an beliebigen Geometrien, zur Hysterese äquivalente Merkmale zu extrahieren und diese in Korrelation zu den mechanischen Referenzwerten zu setzen.

Aufgrund der Charakteristik des hochpermeablen Elektromagneten wird der 3MA-X8-Sensor bei verhältnismäßig geringen Frequenzen betrieben. Durch den Skineneffekt werden Eindringtiefen von mehreren Millimetern erreicht. Die Auflösung sehr oberflächennaher Effekte, wie beispielsweise Eigen- bzw. Lastspannungen, ist mit der bisherigen Lösung nur eingeschränkt möglich. Im Rahmen dieses Beitrags wird ein Sensorkonzept vorgestellt, das die 3MA-X8 Technik dahingehend erweitert, über zusätzliche Sensorperipherien mit höheren Frequenzen eine erhöhte Messempfindlichkeit für oberflächennahe Effekte zu erzielen.

Multimodales Sensorsystem zur mikro-magnetischen Materialcharakterisierung

Kevin Schmitz, Sargon Youssef
 Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP

PROBLEMSTELLUNG

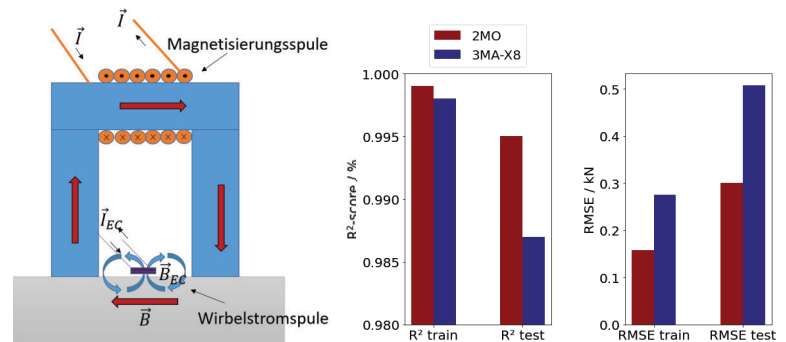
Das am Fraunhofer IZFP entwickelte 3MA-X8-Verfahren nutzt Effekte in der magnetischen Hysterese zur Charakterisierung ferromagnetischer Materialien. Als Sensorelement dient ein hochpermeabler Elektromagnet, durch dessen Charakteristik und Parametrierung Eindringtiefen im Millimeterbereich erzeugt werden. Die Auflösung oberflächendominanter Effekte, welche u.a. bei Eigen- bzw. Lastspannungen auftreten, ist mit der bisherigen Lösung nur eingeschränkt möglich, da die Messinformation aus der Tiefe lediglich integral abgebildet wird. Höherfrequente wirbelstrombasierte Messverfahren erlauben verglichen mit dem 3MA-X8-Verfahren eine Auflösung sehr oberflächennaher Effekte.

ZIEL

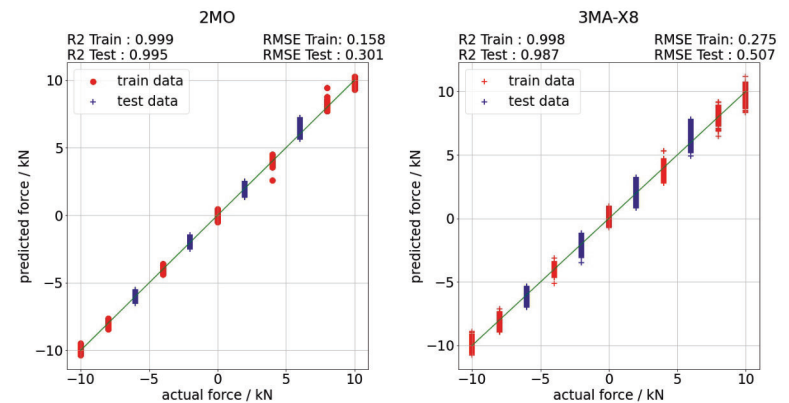
Um die Vorteile beider Verfahren nutzen zu können, ist ein multimodales Sensorkonzept notwendig, das die geräte- und softwareseitige Anbindung beider Systeme in Echtzeit erlaubt. In einem Vierpunkt-Biegeversuch soll die Sensorkombination mit dem bisher eingesetzten 3MA-X8-Verfahren in Hinblick auf die Vorhersagequalität verglichen werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Ergebnis entstand ein multimodales Messsystem, in dem beide Verfahren kombiniert betrieben und im Vierpunkt-Biegeversuch bewertet werden konnten. Dabei ließ sich nachweisen, dass auf Basis des MicroMagnetic Observers (kurz 2MO) die Vorhersage der aufgebrachten Kraft der Zugmaschine mit Hilfe maschineller Lernalgorithmen signifikant verbessert wurde. So konnte beispielsweise der RMSE (Root-Mean-Squared-Error) durch die Sensorkombination um 43% für die Trainingsdaten und 41% für die Testdaten reduziert werden.



links: Sensorkonzept des MicroMagnetic Observers (2MO)
 rechts: R^2 und RMSE als Bewertungskriterien für das 2MO- und 3MA-X8-Verfahren



Vergleich der Vorhersage der Regressionsmodelle (links: 2MO, rechts: 3MA-X8)