

## **Ermittlung von Eigenspannungen, herrührend von kohärenten nanoskaligen Ausscheidungen**

Projektbeginn: 01.12.2007

Projektende: 31.01.2010

### **Ziele**

Nanoskalige kohärente Ausscheidungen spielen bei der Werkstoffverfestigung von Stahl, die sicherheitsrelevant sein kann, eine dominante Rolle. Kohärente Ausscheidungen sind von Mikroeigenspannungen umgeben, die unter anderem ein Maß für die Existenz solcher Ausscheidungen sind. Dieses Forschungsvorhaben hat zum Ziel, durch Messung des Barkhausen-Rauschens einen mikromagnetischen Verfahrensansatz zur quantitativen, zerstörungsfreien, kostengünstigen und schnellen Ermittlung von Mikroeigenspannungen II. und III. Art, herrührend von nanoskaligen Ausscheidungen (z.B. Cu in Fe) zu entwickeln. Die Kombination aus mikromagnetischen Prüfverfahren und atomistischen Simulationsrechnungen bietet das Potenzial zur quantitativen Ermittlung solcher Mikroeigenspannungen. Auf der Basis dieses abzusichernden Verfahrensansatzes lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Mikroeigenspannungszustand, dem Ausscheidungszustand und den damit verbundenen makroskopisch messbaren mechanischen Werkstoffeigenschaften (wie z.B. Härte) herstellen.

### **Werkstoff**

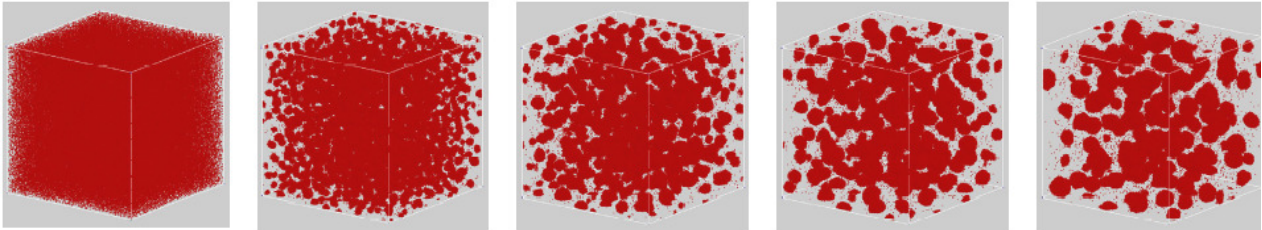
Als Modellwerkstoff dient reines Eisen, das gezielt mit Kupfer oder / und Nickel legiert wird, und in dem durch anschließende Wärmebehandlung Ausscheidungen in gewünschter Quantität und mit gewünschten mittleren Größen und Abständen wachsen.

### **Vorgehensweise**

Beim Ummagnetisieren einer ferromagnetischen Probe werden die Wände der Weiss'schen Bezirke, die Blochwände, von Ausscheidungen festgehalten und an der Bewegung gehindert. Dies erzeugt beim Ummagnetisieren der Probe in einem Wechselfeld Störsignale, genannt Barkhausen-Rauschen, das nachgewiesen und als Maß für den Ausscheidungszustand herangezogen werden kann.

Aus chemisch reinen Elementen werden Modell-Legierungen von Eisen mit Zulegierung von Cu, Ni oder Cu und Ni erschmolzen. Ni ist wichtig, weil aus neueren Erkenntnissen die Rolle von Nickel bei der Ausscheidungsbildung als nicht vernachlässigbar erkannt wurde. Aus den Schmelzen werden durch Wärmebehandlungen Proben mit verschiedenen Ausscheidungs-Zuständen hergestellt. Diese Proben werden

anschließend mit Elektronenmikroskopie, Kleinwinkelneutronenbeugung und Atom Probe Field Ion Microscopy / Topographic Atom Probe charakterisiert, so dass der Volumenanteil und die mittlere Größe der Ausscheidungen bekannt ist. Da diese Messungen mit Unsicherheiten behaftet sind, werden sie durch atomistische Simulationen der Ausscheidungsbildung mit einem Monte-Carlo-Verfahren ergänzt. Diese verschaffen Zugang zur statistischen Streuung der Ausscheidungsgrößen und -abstände.



**Bild 1:** Beispiel für eine Monte-Carlo-Simulation zu Bildung, Wachstum und Vergrößerung von Cu-Ausscheidungen in Fe. Fe-Atome sind transparent dargestellt. Die Kantenlänge des Würfels beträgt 46,3nm.

An den somit umfassend charakterisierten Proben werden die mikromagnetischen Messungen des Barkhausen-Rauschens numerisch fundiert durchgeführt.

Parallel dazu werden mit atomistischer Simulation / Molekulardynamik die Mikroeingenspannungen um die Ausscheidungen herum simuliert.

Durch Abgleich zwischen simulierten Eigenspannungen und gemessenem Barkhausen-Rauschen-Effekt wird ein quantitativer Zusammenhang zwischen Barkhausen-Rauschen und Ausscheidungszustand etabliert. Endziel des Projektes ist die Möglichkeit, aus der Messung des Barkhausen-Rauschens direkt Rückschlüsse auf den Ausscheidungszustand zu ziehen.

## Partner

Dieses Projekt wird gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren (IzfP), Saarbrücken, Dr. Iris Altpeter und Dr. Maddalina Pîrlog und der MPA-Stuttgart, Peter Kizler, durchgeführt.

Am IzfP erfolgt die Probenpräparation, die Wärmebehandlung und die Charakterisierung der Proben und die mikromagnetischen Messungen / Barkhausen-Rausch-Effekt

Dazu werden am GKSS Forschungszentrum, Geesthacht, Neutronen-Kleinwinkelstreuexperimente durchgeführt und an der Universität Göttingen Atom Probe Field Ion Microscopy / Topographic Atom Probe Messungen.

Weiterhin besteht Kontakt zum Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (Frankreich) anlässlich eines neuen Verfahrens, mit Thermokraft-Messungen den Gehalt an gelösten Legierungselementen zu bestimmen.

## **Danksagung**

Die Untersuchungen werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unter Schm 746/56-1 und 2 sowie Schm 746/71-2 gefördert. Für die finanzielle Unterstützung sei gedankt.

## **Ansprechpartner**

Dr.-Ing. Peter Binkele

Tel.: +49 / 711 685-62547

Fax: +49 / 711 685-62635

E-mail: [peter.binkele@mpa.uni-stuttgart.de](mailto:peter.binkele@mpa.uni-stuttgart.de)

Dr. rer. nat. Peter Kizler

Tel.: +49 / 711 685-62013

Fax: +49 / 711 685-62635

E-mail: [peter.kizler@mpa.uni-stuttgart.de](mailto:peter.kizler@mpa.uni-stuttgart.de)