

Knochenähnliche Eigenschaften von Stahl verhindern Materialermüdung

Steel with bone-like properties prevents materials' fatigue

Dirk Ponge, Dierk Raabe

Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH, Düsseldorf

Korrespondierender Autor

E-Mail: ponge@mpie.de

Zusammenfassung

Materialien, die zyklischer Belastung ausgesetzt sind, sind anfällig gegenüber Materialermüdung und -bruch. Ein internationales Team rund um Materialwissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung hat einen neuen Stahl entwickelt, der sich am lamellenartigen Aufbau des Knochens orientiert und damit eine Rissbildung auf Mikroebene, die zur Materialermüdung führen würde, verhindert.

Summary

Materials which are subject to cyclic load, are often prone to fatigue and failure. An international team of scientists at the Max-Planck-Institut für Eisenforschung developed a new steel inspired by the laminated structure of bone and thus preventing crack propagation on the microscale which would lead to fatigue.

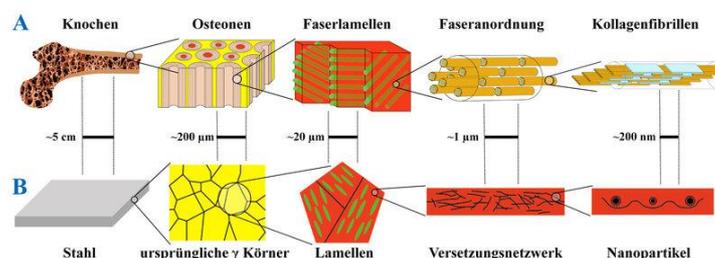


Abb. 1: Schematische Darstellung des hierarchischen Aufbaus von Knochen und des neu entwickelten Stahls. Die lamellenartige Struktur ist in beiden Materialien entscheidend für den guten Ermüdungswiderstand.

© Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH

Materialermüdung führt immer wieder zu teils gefährlichen Unfällen wie 1998 bei einem der schwersten Zugunglücke Deutschlands im niedersächsischen Eschede. Der Bruch eines Radreifens brachte den Zug zur Entgleisung. Zyklische Belastung bestimmter Bauteile beispielsweise in Zügen, Flugzeugen oder auch Kraftwerken birgt ein hohes Risiko für Materialermüdung und -bruch. Mit bisherigen Methoden versucht man,

dieses Risiko zu mindern, indem man die Ermüdungswahrscheinlichkeit einzelner Bauteile berechnet und diese vorzeitig austauscht. Dieses Verfahren ist nicht nur teuer, da gegebenenfalls Bauteile zu früh ausgetauscht werden und zahlreiche Kontrollen notwendig sind, sondern auch unzuverlässig, da die Berechnungen ein Restrisiko bergen. Aufgrund der vielfältigen Facetten von Materialermüdung blieb die Mikrostruktur der verwendeten Materialien bisher unbeachtet. Inspiriert durch die exzellenten Eigenschaften von Knochen bezüglich Ermüdung hat ein internationales Team rund um Materialwissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung in Düsseldorf nun einen Stahl entwickelt, der in seiner Struktur dem menschlichen Knochen ähnelt und dadurch einen ähnlich hohen Ermüdungswiderstand aufweist. Ihre Forschungsergebnisse veröffentlichten sie 2017 in der Fachzeitschrift Science.

Lamellenartige Mikrostruktur erhöht Ermüdungswiderstand

Wenn ein Material regelmäßig belastet wird, bilden sich auf der Mikro- und Nanoebene feinste Risse, die mit der Dauer der Belastung fortschreiten und zum Materialversagen führen können. Das Ziel des internationalen Forscherteams war es, ein Material zu entwickeln, welches auf der Mikro- und Nanoebene die Ausbreitung dieser Risse frühestmöglich stoppt. Dazu kreierten die Wissenschaftler eine Legierung, also eine Metallkombination, aus Eisen, Mangan, Nickel und Aluminium. Sie besteht aus verschiedenen Kristallstrukturen, sogenannten Phasen, die die Anordnung der Atome in der Legierung beschreiben. In dieser Legierung sind die Phasen in nanometergroßen Lamellen geordnet. Diese lamellenartige Struktur ähnelt der Struktur im Knochen. Das Knochengewebe ist besonders ermüdungsresistent, da sich kleinste Risse nicht ungehindert durch den Knochen ausbreiten können, sondern an jeder Grenzen zwischen den einzelnen Phasen, den sogenannten Grenzflächen, durch bestimmte Mikromechanismen daran gehindert werden. Diesen Mechanismus verwendete das Forscherteam für die Entwicklung des neuen Stahls und passte die Grenzflächen und die Stabilität der Phasen so an, dass die neue Legierung resistent gegen multiple Rissbildung auf der Mikroebene ist.

Neuer Stahl nutzt drei Mechanismen zur Ermüdungsresistenz

Doch wie lässt sich feststellen, ob der erreichte exzellente Ermüdungswiderstand tatsächlich durch diese lamellenartige Struktur zustande gekommen ist? Hierfür verglich das internationale Team die Ermüdungseigenschaften des neuen Stahls mit denen von Dual-Phasen-Stählen, die typischerweise für Kraftfahrzeuge verwendet werden, mit perlitischen Stählen, welche in Stahlseilen für Brücken angewendet werden, und mit TRIP-Stählen, die vor allem in Fahrzeugkarossen verbaut werden. Jeder dieser Stähle nutzt einen bestimmten Mechanismus, um den Ermüdungswiderstand zu verbessern. Beim neu entwickelten Stahl implementierten die Wissenschaftler die Mechanismen aller drei Stahltypen und vereinten somit den Effekt der Phasenumwandlung, die lamellenartige Mikrostruktur und den TRIP-Effekt - einen mechanischen Effekt auf Mikroebene. Zudem veränderten die Wissenschaftler testweise die Mikrostruktur ihrer neuen Legierung und beobachteten dabei eine Verschlechterung der Ermüdungsresistenz. Das bestätigte ihre Annahme, dass der verbesserte Ermüdungswiderstand des neu entwickelten Stahls auf seine lamellenartige Multiphasen-Mikrostruktur zurückzuführen ist.

Optimierung weiterer Legierungen geplant

Geplant sind nun weitere Optimierungsschritte, unter anderem durch thermodynamische und kinetische Verbesserungen zur weiteren Stabilisierung der Phasen, um die bestmögliche Ermüdungsresistenz herzustellen. Das Team aus Forschern des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung, der Kyushu University

Japan und des Massachusetts Institute of Technology, USA, geht davon aus, dass sich unter Anwendung des gleichen Materialaufbaus auch weitere Legierungen verbessern lassen. Somit birgt diese Strategie ein enormes Potenzial, die Sicherheit von Strukturwerkstoffen, welche zyklischer Belastung ausgesetzt sind, zu optimieren.

Literaturhinweise

[1] **Koyama, M.; Zhang, Z.; Wang, M.; Ponge, D.; Raabe, D.; Tsuzaki, K.; Noguchi, H.; Tasan, C. C.**

Bone-like crack resistance in hierarchical metastable nanolaminate steels.

Science 355, 1055-1057 (2017)