



Pressemeldung

6. August 2026

Sind Gasturbinen bereit für die Wasserstoffwirtschaft?

Internationales Forschungsteam zeigt, wie Wasserstoff Turbinenwerkstoffe bei hohen Temperaturen schädigt.

Auf den Punkt gebracht:

- **Herausforderung:** Gasturbinen für die Stromerzeugung und Luftfahrt werden bislang mit fossilen Brennstoffen betrieben und verursachen 15% der weltweiten Kohlendioxid-Emissionen. Wasserstoff gilt als CO₂-freie Alternative. Bislang war unklar, wie sich Wasserstoff bei hohen Temperaturen auf die Turbinenschaufeln aus Nickelbasis-Superlegierungen auswirkt.
- **Forschungsfrage:** Was geschieht mit Nickelbasis-Superlegierungen, wenn sie bei hohen Temperaturen Wasserstoff ausgesetzt werden?
- **Ergebnisse:** Wasserstoff versprödet den Turbinenwerkstoff bei erhöhten Temperaturen mindestens doppelt so schnell wie bei Raumtemperatur. Verursacht wird die Versprödung durch chemische Reaktionen zwischen Wasserstoff und Kohlenstoff, die Karbide abbauen und Methan bilden. Dies führt zu frühem Materialversagen.
- **Ausblick:** Karbide erhöhen die Festigkeit von Nickelbasis-Superlegierungen. Gleichzeitig greift der Wasserstoff bei erhöhten Temperaturen genau dort an. Um Gasturbinen mit Wasserstoff zu betreiben, müssen künftige Legierungen auf andere Festigungsmechanismen zurückgreifen.

Gasturbinen, die mit fossilen Brennstoffen betrieben werden, liefern 22% des globalen Stroms. Gleichzeitig sind sie für 15% der weltweiten CO₂-Emissionen verantwortlich. Um Gasturbinen CO₂-frei zu betreiben, könnte Wasserstoff als umweltfreundliche Alternative in Gasturbinen zur Stromerzeugung und in der Luftfahrt eingesetzt werden. Doch wie beeinflusst Wasserstoff Nickelbasis-Superlegierungen – der Werkstoff aus dem die Turbinenschaufeln bestehen – unter den extremen Bedingungen innerhalb der Turbine?

Während die Wirkung von Wasserstoff auf metallische Werkstoffe bei Raumtemperatur bereits intensiv untersucht wurde, ist über das Verhalten bei erhöhten Temperaturen wie in Gasturbinen, bislang deutlich weniger bekannt. Ein internationales Forschungsteam unter anderem vom Max-Planck-Institut für Nachhaltige Materialien (MPI-SusMat) hat untersucht, wie sich Wasserstoff bei erhöhten Temperaturen auf Nickelbasis-Superlegierungen auswirkt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Turbinenschaufeln bei erhöhten Temperaturen mindestens doppelt so schnell verspröden wie bei Raumtemperatur. Dies stellt eine erhebliche Herausforderung für Bauteile dar, die höchsten Anforderungen an Sicherheit und Zuverlässigkeit genügen müssen.

Die Forschungsergebnisse wurden jetzt in der Fachzeitschrift *Nature Materials* veröffentlicht.

Warum Wasserstoff bei hohen Temperaturen schädlicher ist

„Dringt Wasserstoff bei Raumtemperatur in eine Nickelbasis-Superlegierung ein, setzt er sich in der Regel an Grenzflächen und Versetzungen fest und führt zur Versprödung. Bei erhöhten Temperaturen kommt noch ein weiterer Effekt hinzu: Wasserstoff dringt in die Karbide, die eigentlich für die Festigkeit des Werkstoffs verantwortlich sind, und verbindet sich dort mit Kohlenstoff. Wasserstoff und Kohlenstoff reagieren zu Methan, welches einen hohen lokalen Druck auf die Grenzflächen zwischen Karbiden und Nickelmatrix ausübt und so schneller zu Materialversagen führt“, erklärt Dr. Xizhen Dong, Postdoktorandin am MPI-SusMat und eine der Erstautorinnen der Studie.

Die Temperatur ist entscheidend

Dong und ihr Team untersuchten, wie sich Wasserstoff auf Nickelbasis-Superlegierungen bei Temperaturen zwischen 400°C und 1000°C auswirkt. Mithilfe der Atomsonde analysierten sie den Werkstoff auf atomarer Ebene und simulierten die Bildung von Methan mit Methoden der Dichtefunktionaltheorie. Dabei konnten sie zeigen, dass wasserstoffbedingte Schädigungen aufgrund thermodynamischer Bedingungen ausschließlich bei 400°C auftreten. Denn nur bei dieser Temperatur ist die Reaktion von Wasserstoff und Kohlenstoff zu Methan thermodynamisch begünstigt. Oberhalb von 400 °C wurde keine Methanbildung beobachtet.

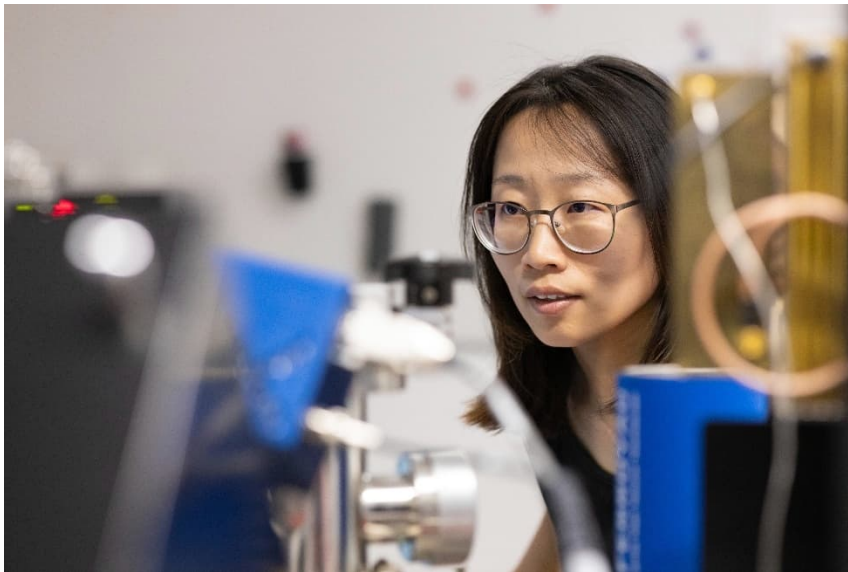
„Dieses Ergebnis ist insbesondere für Gasturbinen in der Energieerzeugung und für Flugtriebwerke von großer Bedeutung“, erklärt Professor Dierk Raabe, Direktor am MPI-SusMat und einer der korrespondierenden Autoren der Studie. „Im Gegensatz zu stationären Dampfturbinen, die dauerhaft bei sehr hohen Temperaturen laufen, werden Gasturbinen häufig an- und abgeschaltet. Dadurch sind sie einem deutlich größeren Temperatur- und Belastungsspektrum ausgesetzt und genau in diesem Bereich kann wasserstoffbedingte Versprödung verstärkt auftreten.“

Zwischen hoher Festigkeit und Wasserstoffresistenz

Karbide erhöhen die Festigkeit von Nickelbasis-Superlegierungen, Stählen und Verbundwerkstoffen. Die jetzigen Untersuchungen zeigen allerdings, dass bei erhöhten Temperaturen und der Verwendung von Wasserstoff als Energieträger Karbide die Eintrittspforte für Wasserstoffversprödung sein können. Um zukünftig Gasturbinen mit Wasserstoff und somit CO₂-frei betreiben zu können, sollten alternative Verfestigungsmechanismen gefunden werden. Alternativ müssten die Werkstoffe so angepasst werden, dass ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der durch Karbide erzielten Festigkeit und der Widerstandsfähigkeit gegenüber wasserstoffinduzierter Versprödung erzielt wird.

Die Ergebnisse unterstreichen, wie wichtig es ist vorhandene Legierungen unter realen Einsatzbedingungen zu testen, um deren Sicherheit und Lebensdauer optimieren zu können.

Die Studie wurde von Forschenden der East China University of Science and Technology (China), des Max-Planck-Instituts für Nachhaltige Materialien (Deutschland) und der Hunan University (China) geleitet.



Mit Hilfe der Atomsonde untersuchte Xizhen Dong, eine der Erstautorinnen der Studie und Postdoktorandin am Max-Planck-Institut für Nachhaltige Materialien, wie sich Wasserstoff bei erhöhten Temperaturen auf Nickelbasis-Superlegierungen auswirkt. Solche Legierungen werden unter anderem für Turbinenschaufeln in Gasturbinen und Flugzeugen eingesetzt. Copyright: Max-Planck-Institut für Nachhaltige Materialien GmbH

Originalveröffentlichung:

S. Kong, X. Dong, Z. Zhong, J. Hou, Y. Zhao, B. Gault, S. Wei, A. Saksena, K.-S. Li, B. Sun, X.-C. Zhang, D. Raabe, S.-T. Tu: Hydrogen-induced damage in Ni-based superalloys at elevated temperatures. In: Nature Materials (2026). DOI: 10.1038/s41563-026-02680-w

Am Max-Planck-Institut für Nachhaltige Materialien (MPI-SusMat) entwickeln wir neue Wege, Materialien für eine klimaneutrale Zukunft zu gestalten, herzustellen und zu recyceln. Von grünem Stahl und recycelbarem Aluminium bis hin zu langlebigen Batterien – unsere Forschung adressiert zentrale Herausforderungen in den Bereichen Energie, Mobilität, Infrastruktur und Ressourceneffizienz. Durch die Kombination von Materialwissenschaft und Künstlicher Intelligenz treiben wir nachhaltige Innovationen voran. Bis 2024 war das Institut unter dem Namen Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH tätig.

Mehr Neuigkeiten aus dem MPI-SusMat gibt es bei [LinkedIn](#), und [YouTube](#).

Kontakt:

Yasmin Ahmed Salem, M.A.
Referentin für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
E-Mail: y.ahmedsalem@mpi-susmat.de
Tel.: +49 (0) 211 6792 722
<https://www.mpi-susmat.de>

