

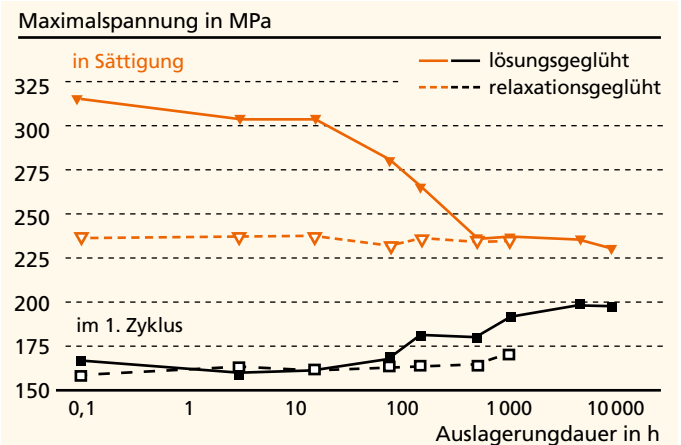
DAS HOCHTEMPERATURVERHALTEN VON METALLEN BESSER VERSTEHEN

Dr. Christoph Schweizer | Telefon +49 761 5142-382 | christoph.schweizer@iwm.fraunhofer.de

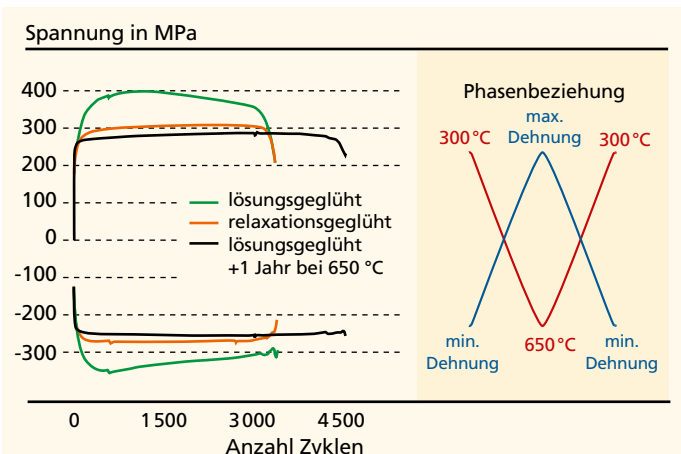
Kritische Komponenten in thermischen Kraftwerken oder der petrochemischen Industrie sind extremen mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt. Die dafür verwendeten Werkstoffe sind meist hochwarmfeste und korrosionsbeständige Stähle und neuerdings auch Nickelbasislegierungen. Als Folge einer Wärmebehandlung oder im Hochtemperatureinsatz bilden sich Ausscheidungen, die sich positiv, aber auch negativ auf die Materialeigenschaften auswirken können. Für den zuverlässigen Einsatz der Komponenten müssen die Wechselwirkungen der Ausscheidungsmikrostruktur mit den mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe im Detail verstanden werden. In gemeinschaftlicher Projektarbeit mit der VDM Metals GmbH werden seit einigen Jahren Werkstoffe und deren Mikrostrukturen untersucht sowie Modelle entwickelt. Diese Modelle ermöglichen eine einheitliche Beschreibung der Hochtemperaturverformung und der Lebensdauer unter Berücksichtigung der mikrostrukturellen Veränderungen. Neben den Nickellegierungen Alloy 617B und Alloy C-263 wurden die Methoden anhand des Chrom-Nickel Stahls Alloy 800H erprobt.

Mikrostrukturentwicklung

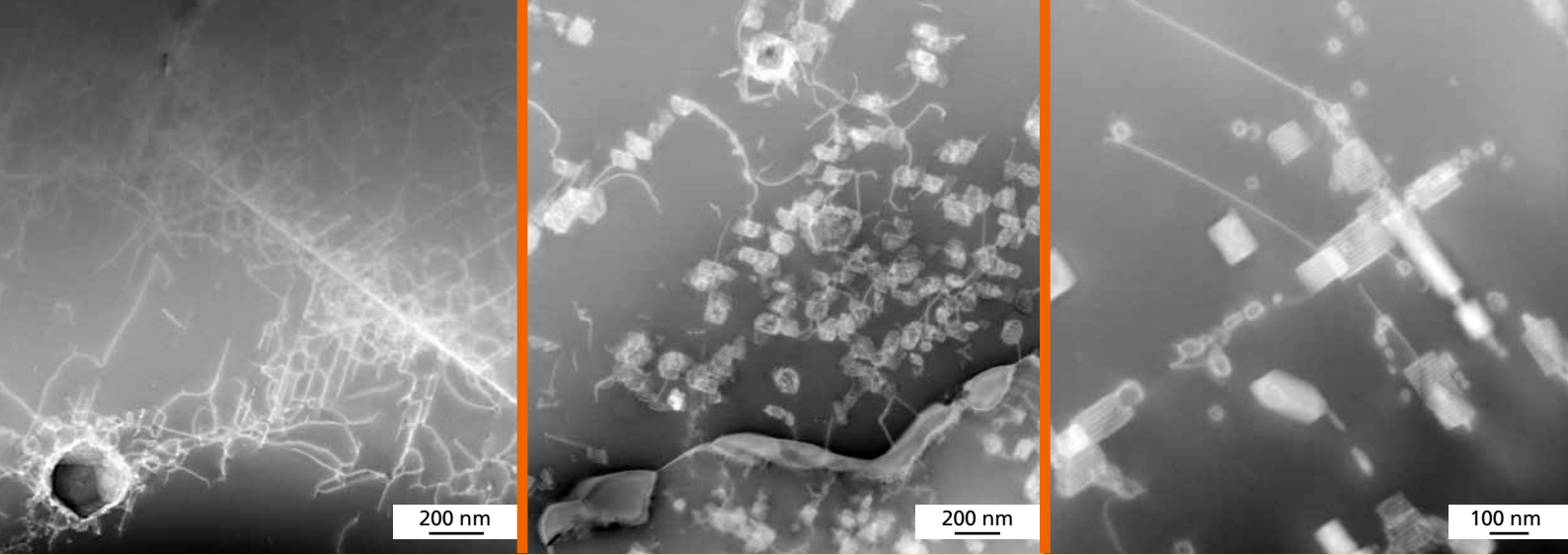
Der karbidhärtende Werkstoff Alloy 800H wird in der Regel im Temperaturbereich von 300 bis 850 °C eingesetzt. Durch seinen hohen Chromgehalt bilden sich bei mittleren Temperaturen chromreiche Karbide, bei höheren Temperaturen zusätzlich titanreiche Ausscheidungen. Üblicherweise wird das Material im lösungsgeglühten, das heißt im nahezu ausscheidungs-freien Zustand verwendet. Während der Komponentenherstellung widerfährt den Schweißnähten häufig eine kurzzeitige Relaxationsglühung bei 980 °C. Neben



1 Abhängigkeit der thermischen Vorbelastung (650 °C) auf die Maximalspannungen im isothermen Ermüdungsversuch bei 650 °C für beide Ausgangszustände des Werkstoffs Alloy 800H.



2 Verläufe der Spannungsumkehrpunkte bei 300 und 650 °C im thermomechanischen Ermüdungsversuch, Werkstoff Alloy 800H. Die Phasenlage zwischen Dehnung und Temperatur ist schematisch dargestellt.



Mikrostrukturstadien Alloy 800H: lösungsgeglüht (links), für 1 000 h bei 650 °C ausgelagert (Mitte) und relaxationsgeglüht (rechts).

der Reduzierung von Schweißspannungen führt diese Behandlung auch zu zahlreichen Karbidausscheidungen. Zur Charakterisierung des Werkstoffs innerhalb der ersten Betriebsstunden haben wir beide Ausgangszustände (lösungs-/relaxationsgeglüht) für unterschiedliche Zeiträume bei 650 °C thermisch vorbelastet. Wir konnten zeigen, dass sich im lösungsgeglühten Ausgangszustand nach zirka 75 Stunden sekundäre Karbide an den Korngrenzen und um primäre Karbide bilden. Im relaxationsgeglühten Zustand dominiert bei gleicher thermischer Belastung das Wachstum der bereits vorliegenden Ausscheidungen. Die unterschiedlichen Entwicklungsstadien der Ausscheidungsmikrostrukturen zeigt die Abbildung oben auf der Seite.

Wechselwirkung der Mikrostruktur mit den mechanischen Eigenschaften

Neben der kurzzeitigen isothermen Ermüdungsbelastung gewinnen für derartige Werkstoffe überlagerte thermische und mechanische sowie langzeitige Kriech-Ermüdungsbeanspruchungen zunehmend an Bedeutung. Mit innovativen Versuchen ermitteln wir detailliert die Auswirkungen der mikrostrukturellen Veränderungen auf die mechanischen Eigenschaften. Abbildung 1 verdeutlicht, wie die Mikrostruktur das Verfestigungsverhalten unter Ermüdungsbelastung beeinflusst. Während im lösungsgeglühten Zustand mit Beginn erster Karbidbildung das Verfestigungspotenzial stetig abnimmt, bleibt durch die Relaxationsglühung die Werkstoffantwort konstant. Dieses Niveau stellt sich im lösungsgeglühten Material erst nach 500 Stunden künstlicher Voralagerung ein. Auch unter überlagerter mechanischer und thermischer Belastung (Abbildung 2) werden die

Unterschiede verschiedener Mikrostrukturstadien deutlich. Aufgrund der bereits vorher ausgeschiedenen Karbide sinkt also das Potenzial zur verformungsinduzierten Bildung sehr feiner Ausscheidungen mit zunehmender thermischer Vorbeanspruchung.

Gekoppelte Mikrostruktur- und Verformungsmodellierung

Die bei uns vorliegenden Modelle zur Beschreibung der Hochtemperaturverformung unter Ermüdung, Kriechermüdung und Kriechen werden mit einem Ausscheidungsmodell gekoppelt. Somit können das experimentell beobachtete komplexe Verformungsverhalten und die Entwicklung der Ausscheidungsmikrostruktur gut abgebildet werden. Das Implementieren in die im Haus entwickelte Software »ThoMat« ermöglicht letztendlich eine (Rest)Lebensdauerbewertung von Komponenten mit Finite-Elemente Programmen. Folglich lassen sich Bauteile unter betriebsnahen Beanspruchungen am Computer simulieren und Entwicklungszeiten reduzieren.

Oliver Hübsch, Dr. Gerhard Maier