

Entwicklung, Modellierung und Strukturanalyse von modernen Stählen für hocheffiziente Kraftwerke

Development, Modelling and Structural Analysis of Modern Steels for Highly Efficient Thermal Power Plants

Peter Mayr, Christof Sommitsch, Gerald Kothleitner

Der weltweit ständig wachsende Strombedarf und der Mangel an einsatzbereiten Alternativen zu thermischen Kraftwerken zur Deckung des Grundstrombedarfs sind die Motoren der Werkstoffentwicklung für hocheffiziente thermische Kraftwerke. Kraftwerkskomponenten sind im Betrieb hohen Temperaturen, hohen Drücken und oft aggressiven Atmosphären ausgesetzt und dies über die gesamte Nutzungsdauer von mehreren Jahrzehnten. Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, aus Untersuchungen an langzeitbelasteten Komponenten zu lernen und dieses Wissen in die Entwicklung neuer Werkstoffe mit Unterstützung computergestützter Methoden einfließen zu lassen.

In Österreich gilt es als selbstverständlich, dass Strom zu jeder Tages- und Nachtzeit in unbegrenztem Ausmaß zur Verfügung steht. Wer selbst einmal bei einem Blackout im stecken gebliebenen Aufzug wartete, hat am eigenen Leibe verspürt, wie abhängig wir von Elektrizität sind und wie verletzlich unsere Gesellschaft in diesem Bereich ist. Thermische Kraftwerke (Kohle, Öl, Gas) sind meist als Grundlastkraftwerke eingesetzt und speisen fast ununterbrochen Strom, oft mit relativ niedrigen Stromerzeugungskosten, in das Netz ein. Soll der Wirkungsgrad von thermischen Kraftwerken angehoben werden, so ist dies unter anderem über ein Anheben von Frischdampfdruck und -temperatur möglich, was aber auch mit einer erheblichen Mehrbelastung der Werkstoffe verbunden ist.

Strukturanalyse und Entwicklung

Die hier beschriebenen Forschungsaktivitäten beschäftigen sich mit der Entwicklung von 9 bis 12 % Chromstählen für dickwandige Kraftwerkskomponenten wie zum Beispiel Turbinengehäusen. Ein ganzheitliches Forschungskonzept berücksichtigt

The world's constantly increasing demand for electricity and the lack of alternatives to thermal power plants to supply base-load electric energy is driving materials development for highly efficient thermal power plants. During operation times of up to several decades, power plant components are exposed to high temperatures, high loads and often aggressive atmospheres. The main target of the work performed at Graz University of Technology is to learn from investigations of long-term exposed power plant components and to apply this knowledge supported by computer-aided methods in the development of new materials.

In Austria, people take it for granted that they can access unlimited electricity night and day. If you have been stuck in an elevator waiting for help during a power outage, you have personally experienced how dependent we are on electricity supply and how vulnerable our society is in this regard. Thermal power plants (coal, oil and gas) are often operated as base-load plants, providing continuously and relatively cheap electricity to the grid. One way to increase the efficiency of thermal power plants is to increase steam temperature and pressure. This increase in steam parameters is connected with increased loads on the materials.

Structural analysis and steel development

The presented research activities cover the development of high-temperature 9-12% chromium steels for thick-walled power plant components, such as steam pipes and turbine casings. A holistic research concept targets all relevant processes from steel production to component manufacturing to in-service behaviour of components during long-term high-temperature operation. As the steel microstructure changes during produc-



Peter Mayr ist Universitätsassistent am Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik. Nach Forschungsaufenthalten an der University of Tokyo und dem Massachusetts Institute of Technology leitet er am IWS die Arbeitsgruppe Werkstoffentwicklung.

Peter Mayr is assistant professor at the Institute for Materials Science and Welding. After research stays at the University of Tokyo and Massachusetts Institute of Technology he currently heads the Materials Development Group at IWS, Graz University of Technology.



© voestalpine
Gießerei Linz



Christof Sommitsch ist Vorstand des Instituts für Werkstoffkunde und Schweißtechnik und wissenschaftlicher Leiter des COMET K-Projekts Kompetenznetzwerk für Fügetechnik JOIN 4+. Seit 2006 leitet er das Christian Doppler Laboratorium für Werkstoffmodellierung und Simulation.

Christof Sommitsch is director of the Institute for Materials Science and Welding and scientific head of the COMET K-Project Network of Excellence for Joining Technologies JOIN 4+. Since 2006 he has been head of the Christian Doppler Laboratory for Materials Modelling and Simulation.

Abb. 1: Abguss eines Turbinengehäuses bei der voestalpine Gießerei Linz.

Abb. 2: Wärmebehandlung eines Turbinengehäuses.

Fig. 1: Casting of a turbine casing at voestalpine Gießerei Linz.

Fig. 2: Heat treatment of a turbine casing.

alle relevanten Prozesse von der Stahlerzeugung bis hin zum Verhalten der Komponenten im mehrjährigen Dauereinsatz. Da sich die Mikrostruktur des Stahls sowohl während der Fertigung als auch dann im Einsatz fortlaufend verändert, ist die Charakterisierung dieser Evolution mittels modernster Verfahren unerlässlich. In diesem Projekt werden neben konventioneller Lichtmikroskopie hochmoderne elektronenmikroskopische Methoden sowie Untersuchungen an Teilchenbeschleunigern angewendet. Der Einsatz von Transmissions-Elektronenmikroskopie (TEM) und den angekoppelten analytischen Methoden wie energiegefilterte TEM (EFTEM), Elektronenenergieverlustspektroskopie (EELS) und energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX) erlaubt die Charakterisierung von bis zu Nanometer kleinen Karbiden und Nitriden im Stahl, die für die hohen Festigkeiten im Hochtemperaturbereich ausschlaggebend sind. So wird am Institut für Elektronenmikroskopie der TU Graz in Kooperation mit dem Zentrum für Elektronenmikroskopie ständig an verbesserten Methoden mit noch höherem Auflösungsvermögen und gesteigerter Sensitivität gearbeitet.

In Forschungsarbeiten am Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik werden mittels hochenergetischer Synchrotronstrahlung aus Teilchenbeschleunigern unter anderem Phasenumwandlungen studiert oder die Schädigung in Bauteilen in Form von Porenbildung mittels Synchrotrontomografie charakterisiert. Diese Untersuchungen werden am Advanced Photon Source, USA, und am SPring-8 in Japan, zwei der modernsten Teilchenbeschleuniger der Welt, durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Strukturanalyse fließen wiederum direkt in die Modellbildung und Simulation ein.

Modellierung

Da experimentelle Untersuchungen mit enormen Kosten und mehrjährigen Prüfzeiten verbunden

sind, ist die Modellierung und Simulation ein unverzichtbares Werkzeug für die Entwicklung und den Service, und dies ist oft mit der Degradation der mechanischen Eigenschaften verbunden. Die Charakterisierung der strukturellen Evolution ist in diesem Zusammenhang obligatorisch. In dieser Arbeit werden die meisten modernen Charakterisierungsmethoden angewendet. Konventionelle Lichtoptik, Elektronenmikroskopie, modernste elektronenmikroskopische Methoden und Untersuchungen mit Synchrotronstrahlung sind in diesem Projekt eingesetzt. Die Verwendung von Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) und analytischen Methoden, wie energiegefilterte TEM (EFTEM), Elektronenenergieverlustspektroskopie (EELS) und energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDS) ermöglicht die Charakterisierung von Mikrometern bis hin zu Nanometern kleinen Karbiden und Nitriden. Diese kleinen Partikel sind für den Stahl wichtig und liefern die Festigkeit bei hohen Temperaturen. Das Institut für Elektronenmikroskopie der TU Graz arbeitet in Kooperation mit dem Zentrum für Elektronenmikroskopie der TU Graz an der Entwicklung neuer Charakterisierungsmethoden mit erhöhter räumlicher Auflösung und Sensitivität.

In den Forschungsprojekten am Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik wird die hochenergetische Synchrotronstrahlung zur Überwachung von Phasenumwandlungen im Stahl während des Schweißens und der Wärmebehandlung sowie zur Aufzeichnung von Schäden wie Poren oder Mikrorissen in langzeitgetesteten Proben eingesetzt. Diese Untersuchungen werden an zwei der modernsten Synchrotronen der Welt, dem Advanced Photon Source in den USA und dem SPring-8 in Japan, durchgeführt. Die Ergebnisse der strukturellen Analyse fließen direkt in die Modellierung und Simulation des Materialverhaltens ein.

Modelling

Da experimentelle Untersuchungen mit enormen Kosten und mehrjährigen Prüfzeiten verbunden sind, ist die Modellierung und Simulation ein unverzichtbares Werkzeug für die Entwicklung und den Service, und dies ist oft mit der Degradation der mechanischen Eigenschaften verbunden. Die Charakterisierung der strukturellen Evolution ist in diesem Zusammenhang obligatorisch. In dieser Arbeit werden die meisten modernen Charakterisierungsmethoden angewendet. Konventionelle Lichtoptik, Elektronenmikroskopie, modernste elektronenmikroskopische Methoden und Untersuchungen mit Synchrotronstrahlung sind in diesem Projekt eingesetzt. Die Verwendung von Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) und analytischen Methoden, wie energiegefilterte TEM (EFTEM), Elektronenenergieverlustspektroskopie (EELS) und energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDS) ermöglicht die Charakterisierung von Mikrometern bis hin zu Nanometern kleinen Karbiden und Nitriden. Diese kleinen Partikel sind für den Stahl wichtig und liefern die Festigkeit bei hohen Temperaturen. Das Institut für Elektronenmikroskopie der TU Graz arbeitet in Kooperation mit dem Zentrum für Elektronenmikroskopie der TU Graz an der Entwicklung neuer Charakterisierungsmethoden mit erhöhter räumlicher Auflösung und Sensitivität.

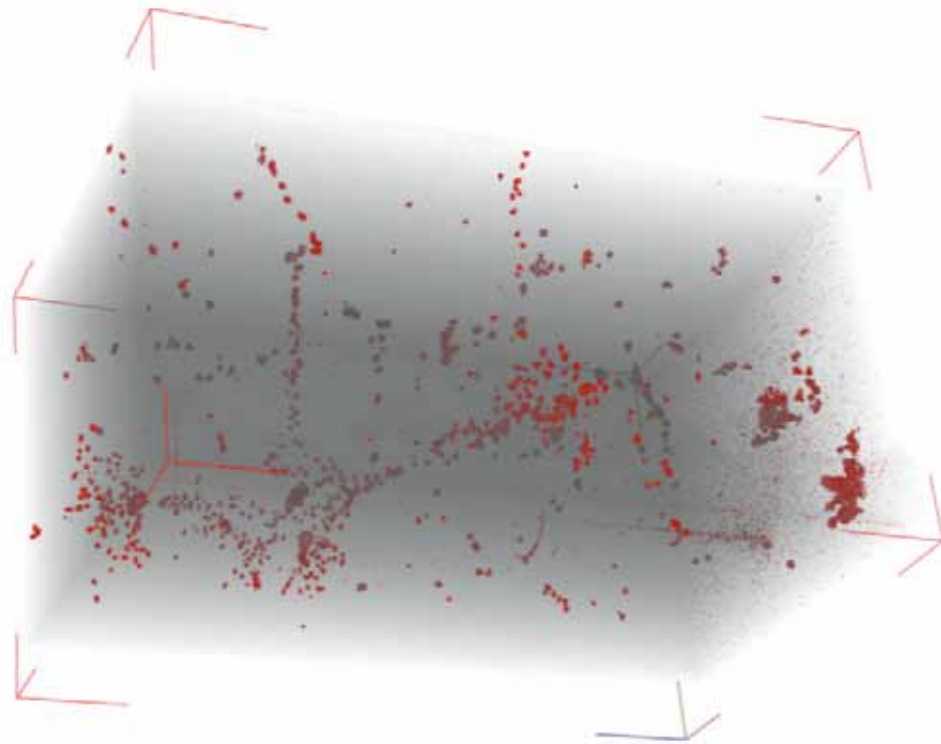


Abb. 3/ Fig. 3

© IWS, TU Graz

sind, wird die konventionelle Werkstoffentwicklung immer mehr durch computergestützte Methoden unterstützt. Dazu wurden Modelle entwickelt, welche die Veränderung der Werkstoffe während der Produktion und im Langzeitbetrieb beschreiben können. Aus den Ergebnissen dieser Simulationen können wiederum direkt Rückschlüsse auf den Festigkeitsabfall gezogen werden. Diese computergestützte Werkstoffentwicklung verkürzt die Entwicklungszeiten um ein Vielfaches. Weitere Simulations- und Modellierungsaktivitäten beschäftigen sich mit der Voraussage der Verformung unter Hochtemperaturbelastung, dem sogenannten Kriechen, und der damit einhergehenden Schädigung im Werkstoff durch Porenbildung, welche letztlich bis zum Bauteilversagen führt. Im neu gestarteten EraSME-Projekt „HotPipes“ wird zum Beispiel ein Onlinebetriebsüberwachungssystem für Rohrleitungen, welches Schädigungen bereits im Frühstadium erkennen soll und so Aufschluss über die Restlebensdauer von Kraftwerkskomponenten ermöglichen wird, entwickelt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass an der TU Graz durch den ganzheitlichen Forschungsansatz, den Einsatz modernster Charakterisierungstechniken und die Einbindung computergestützter Methoden Werkstoffe für energieeffizientere thermische Kraftwerke der Zukunft entwickelt werden.

based on thermodynamic and kinetic materials data are developed. They are able to describe changes in the materials during production and under long-term service conditions. Results of this simulation are directly coupled to models predicting the evolution of strength as a function of time. This computer-aided materials design allows costs and the time-to-market of new alloys to be reduced significantly. Further simulation and modelling activities include the prediction of deformation at high temperatures with time, the so-called creep behaviour, and the accompanied damage in the material. Damage evolves from submicron-sized pores to microscopic to macroscopic cracks that finally cause component failures. The recently launched EraSME project “Hotpipes” targets the development of an online monitoring system for high-energy piping systems in power plants. Damage should be recorded at a very early stage and predictions of the remaining lifetime of damaged components will be made possible.

In summary, in the holistic research approach, the use of most advanced characterisation techniques as well as modelling and simulation allow the development of new improved steels for applications at high temperatures in the energy-efficient thermal power plants of the future.



Gerald Kothleitner ist Professor am Institut für Elektronenmikroskopie / FELMI an der TU Graz. Die praxisrelevanten Forschungsaktivitäten konzentrieren sich u. a. auf die Methodenentwicklung im Bereich der analytischen Transmissions-elektronenmikroskopie für den Einsatz in der modernen Werkstoffforschung.

Gerald Kothleitner is professor at the Institute for Electron Microscopy / FELMI at Graz University of Technology. His applied research activities focus among other things on the development of methods in the area of analytical transmission electron microscopy for applications in the modern materials research.

Abb. 3: Schädigungsverteilung (Poren) in einem langzeitgeprüften 12%-Chromstahl, ermittelt mittels Synchrotrontomografie.

Fig 3: Visualisation of void distribution in a long-term tested 12% chromium steel through synchrotron tomography.