



Christian Doppler Labor für Design von Hochleistungslegierungen durch thermomechanisches Processing

Christian Doppler Laboratory for Design of High-Performance Alloys by Thermomechanical Processing

Cecilia Poletti, Friedrich Krumphals

Die Motivation hinter dem CD-Labor liegt in der Komplexität der simultan auftretenden physikalischen Phänomene, die während des industriellen Herstellprozesses durch plastische Verformung und hohe Temperatur sowie in der Anwendung während thermomechanischer Belastungen auftreten. Unsere Hauptziele sind die Erklärung und Modellierung der Mikrostrukturentwicklung von Nichteisenmetallen während thermomechanischer Verarbeitungsprozesse, um eine hohe Leistung während des Betriebs zu erreichen.

Wir wenden eine Kombination von mehreren Methoden an, um unser Ziel zu erreichen: physikalische, phänomenologische und thermodynamische Modellierung, Finite-Elemente-Simulationen und experimentelle Untersuchungen. Die Ziele und die Methodik sind in den folgenden Abschnitten zusammengefasst.

Vereinheitlichung

Vereinheitlichung von Warmverarbeitungs-, Versetzungskriech- und Relaxationsphänomenen in einem einfachen physikalischen Modell, das für verschiedene Materialien verallgemeinert werden kann, ohne Genauigkeit und Vorhersagepotenzial zu verlieren. Allgemein haben Wissenschaftler/innen die Entwicklung von a) der Kriechdehnung während des Einsatzes bei hohen Temperaturen und Lasten, b) der Fließspannungen während der Warm- bzw. Kaltbearbeitung und c) der inneren Spannungen während der Wärmebehandlung getrennt modelliert. Die in der Literatur entwickelten Modelle waren phänomenologisch und physikalisch. Ein Ansatz für die Modellierung technischer Werkstoffe besteht in der Entwicklung der mathematischen und physikalischen Beschreibung der Mikrostruktur, stetiger konstitutiver Gleichungen und Ratengleichungen basierend auf internen Variablen.

Die Hauptaufgaben zur Entwicklung des vereinheitlichten Modells sind: eine eindeutige >

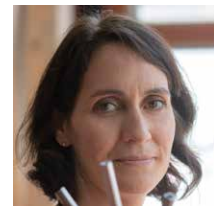
The motivation behind the CD-Laboratory is given by the complexity of simultaneously physical phenomena taking place during industrial processes that involve plastic deformation and heat, as well as during service under thermomechanical loads. Our main objectives are to explain and model the microstructure evolution of non-ferrous materials during thermomechanical processing routes to obtain high performance during service.

We apply a combination of methodologies to achieve our objective: physical, phenomenological and thermodynamic modelling, finite element simulations, and experimental testing. The goals and methodology are summarized in the following paragraphs.

Unification

Unification of hot working, dislocation creep and relaxation phenomena in one simple physical based model can be generalized for different materials without losing accuracy and prediction potential. In general, scientists have modelled separately the development of a) the creep strain during service at high temperatures and loads, b) the flow stresses during hot/cold working, and c) the internal stresses during relaxation treatments. The models developed in the literature have been phenomenological and physical. One approach for the physical materials modelling consists of developing the mathematical and physical description of the microstructure, consistent constitutive equations, and the internal variable rate equations.

The main tasks to develop the unified model are to find one unique description of the microstructure (such as in Fig. 1), to use the same internal variables, and to generate interchangeable constitutive equations. Further, the models can describe the microstructure evolution and the plastic response of the alloy along the processing chain, as well as in service. The internal variables to describe the microstructure include phases (deformable and >



© Lunghammer – TU Graz

Cecilia Poletti leitet das Christian Doppler Labor für Design von Hochleistungslegierungen durch thermomechanisches Processing.

Cecilia Poletti is head of the Christian Doppler Laboratory for Design of High-Performance Alloys by Thermomechanical Processing.



© Lunghammer – TU Graz

Friedrich Krumphals ist stellvertretender Leiter des Christian Doppler Labors für Design von Hochleistungslegierungen durch thermomechanisches Processing.

Friedrich Krumphals is deputy head of the Christian Doppler Laboratory for Design of High-Performance Alloys by Thermomechanical Processing.



Abbildung 1:
Das CD-Labor besteht aus drei Modulen: Nickelbasislegierungen, Titanlegierungen und Aluminiumlegierungen.

Figure 1:
The CD lab consists of 3 modules: nickel-based alloys, titanium alloys and aluminium alloys.

Beschreibung der Mikrostruktur (wie in Abb.2) zu finden, die gleichen internen Variablen zu verwenden und untereinander austauschbare konstitutive Gleichungen zu formulieren. Ferner können die Modelle die Mikrostrukturentwicklung und das Umformverhalten der Legierung entlang der Verarbeitungskette sowie im Betrieb beschreiben. Die internen Variablen zur Beschreibung der Mikrostruktur beinhalten Phasen (verformbar und nicht verformbar), verschiedene Arten von Versetzungsdichten, Misorientierungen, Anteile von Grenzflächen usw. und deren zeitabhängige Entwicklung kann sowohl dynamische als auch statische Phänomene beschreiben.

Design

Design von Experimenten mit traditionellen und modernsten Technologien. In unserem CD-Labor sind Laborversuche erforderlich, um das Materialverhalten unter thermischen und mechanischen Belastungen zu verstehen und zu beschreiben sowie numerische Zusammenhänge und Daten zu erhalten. Die Entwicklung von Fließspannungen, Kriechdehnungen und Mikrostrukturmerkmalen wird durch Laborversuche dargestellt, die entweder dazu dienen, physikalische Phänomene zu isolieren oder industrielle Prozesse zu simulieren. Wir können auf eine Vielzahl an Infrastruktur und Gerätschaften auf der ganzen Welt zurückgreifen, um unsere Ziele zu erreichen.

In-situ-Experimente sind die Highlights dieses Labors. Da die Entwicklung mikrostruktureller Merkmale verstanden und quantifiziert werden muss, verwenden wir Methoden wie Dilatometrie, Differenzialkalorimetrie, Röntgenbeugung mit Synchro-

non-deformable), different type of dislocation densities, misorientations, fraction of boundaries, etc, and their evolution rates describe dynamic as well as static phenomena.

Design

Design of experiments using traditional and cutting-edge technologies. In our CD lab the experiments are essential to understand and describe the behaviour of the material under thermal and mechanical loads, as well as to obtain numerical correlations and data. The evolution of flow stresses, creep strains and microstructural features are generated from experiments designed either to isolate physical phenomena, or to simulate industrial processes. We use a good amount of equipment located all over the world to achieve our objectives.

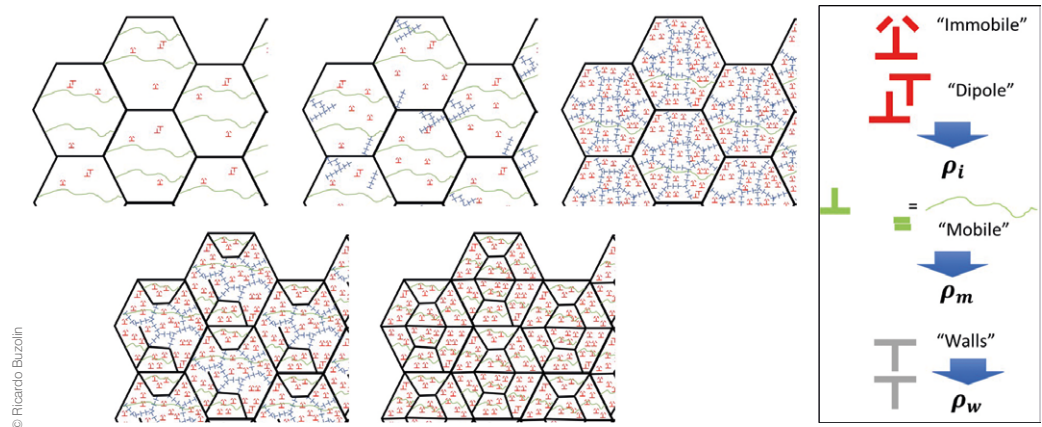
In situ experiments are the highlights of this laboratory. Since the evolution of microstructural features must be understood and quantified, we use methods such as dilatometry, differential calorimetry, X-ray diffraction with synchrotron sources, and microscopes with deformation/hot stages. These methods reduce the number of tests and allow the characterization of microstructural features in a way that is not possible when using post-molten samples, because the cooling can cause allotropic phase transformations, formation of defects and/or precipitates, among other modifications.

Monitoring

Monitoring the temporal and dimensional multiscale phenomena. In the first case, the models must be able to describe fast phenomena such as dynamic recovery and recrystallization together with slow

Abbildung 2:
Mikrostrukturentwicklung während der plastischen Verformung von einphasigen Werkstoffen mit hoher Stapelfehlerenergie: a) unverformtes Material, b) Bildung von Versetzungen (immobile und Dipole) und Versetzungen, die eine Zellwand ausbilden, c) fortgeschrittene dynamische Erholung und Bildung von Substrukturen, d) Umwandlung von Kleinwinkelkorngrenzen in Großwinkelkorngrenzen, e) vollständig rekristallisiertes Gefüge durch kontinuierliche dynamische Rekristallisation (Ricardo Buzolin, Zwischenbericht, Modul 2).

Figure 2:
Microstructural evolution during plastic deformation of high-stacking fault-energy single-phased materials: a) undeformed material, b) formation of interior dislocations (immobile and dipoles) and wall dislocations, c) advanced dynamic recovery and formation of substructure, d) transformation of low-angle grain boundary into high-angle grain boundary, and e) fully recrystallized microstructure by continuous dynamic recrystallization (Ricardo Buzolin intermediate report, Module 2).





tronquellen und Mikroskope mit Verformungs- und Temperaturstufen. Diese Verfahren reduzieren die Anzahl der Tests und ermöglichen die Charakterisierung von mikrostrukturellen Merkmalen in einer Weise, die bei Verwendung von nachträglich entnommenen Proben nicht möglich ist, da die Abkühlung neben anderen Modifikationen allotrope Phasenumwandlungen, die Bildung von Defekten bzw. Ausscheidungen verursachen kann.

Darstellung

Darstellung der zeitlichen und dimensionsgerechten Multiskalenphänomene. Im ersten Fall müssen die Modelle in der Lage sein, schnelle Phänomene wie dynamische Erholung und Rekristallisation zusammen mit langsamen Phänomenen wie Kornwachstum oder Kriechen zu beschreiben, ohne die Genauigkeit zu verlieren. Betrachtet man sowohl die Probenabmessungen als auch die Größenordnung der hergestellten Komponenten, ist es wichtig, die Streuung der mikrostrukturellen Eigenschaften zu bestimmen.

Wir erwarten Jahre interessanter Arbeit und sind zuversichtlich, neues Wissen über das Verhalten von Legierungen unter thermomechanischen Prozessen zu gewinnen.

Das Christian Doppler Labor für Design von Hochleistungslegierungen durch thermomechanisches Processing ist seit dem 1. Mai 2017 am Institut für Werkstoffkunde, Fügtechnik und Umformtechnik tätig. Die Arbeitsgruppe besteht aus Cecilia Poletti (Leitung), Friedrich Krumphals (Postdoc), Ricardo Buzolin, Kasyap Pradeep und René Wang (Doktoranden), Leander Herbitschek (Techniker) und Manuela Prader (Sekretärin). Die Unternehmenspartner sind die voestalpine BÖHLER Aerospace GmbH & Co. KG und die Nematik Linz GmbH. Das CD-Labor besteht aus drei Modulen: Nickelbasislegierungen, Titanlegierungen und Aluminiumlegierungen ■

phenomena such as grain growth or creep, without losing accuracy. When dealing with the geometry of samples as well as finished products, it is essential to determine the distribution of microstructural characteristics.

We expect years of interesting work and are confident about gaining new knowledge on the behaviour of alloys under thermomechanical treatments.

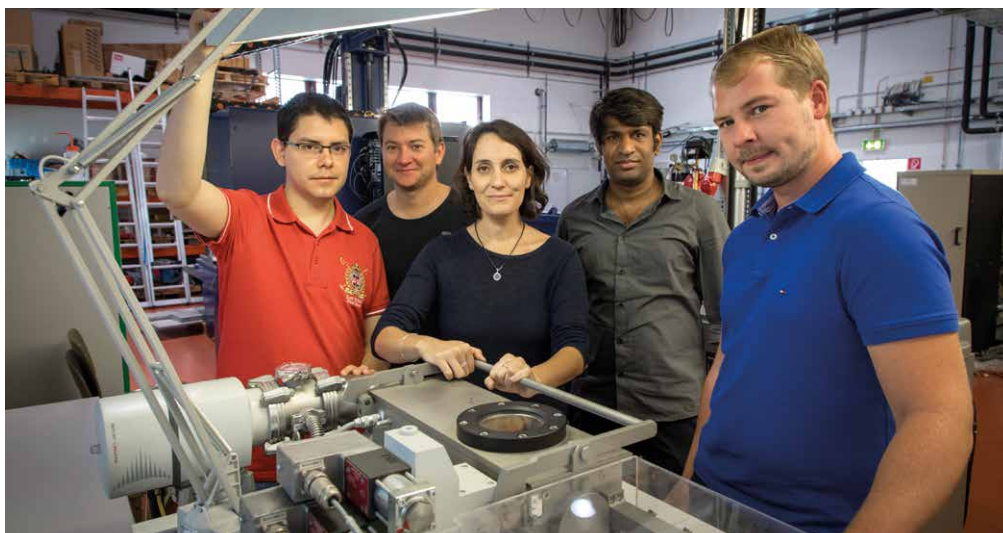


© Lughammer – TU Graz

Abbildung 3:
Wie fest und thermisch beständig ein Produkt langfristig ist, hängt von thermomechanischen Verfahren während der Herstellung ab.

Figure 3:
The strength and thermal stability of a product depends on the thermomechanical treatments during production.

The Christian Doppler Laboratory for Design of High-Performance Alloys by Thermomechanical Processing was launched on 1st May 2017 at the Institute of Materials Science, Joining and Forming. The working group is composed of Cecilia Poletti (leadership), Friedrich Krumphals (post doc), Ricardo Buzolin, Kasyap Pradeep and René Wang (PhD candidates), Leander Herbitschek (technician) and Manuela Prader (secretary). The company partners are voestalpine BÖHLER Aerospace GmbH & Co KG, and Nematik Linz GmbH. The CD lab consists of 3 modules: Nickel-based alloys, Titanium alloys and Aluminium alloys. ■



© Lughammer – TU Graz

Abbildung 4:
Cecilia Poletti und das wissenschaftliche Team.

Figure 4:
Cecilia Poletti and the scientific team.