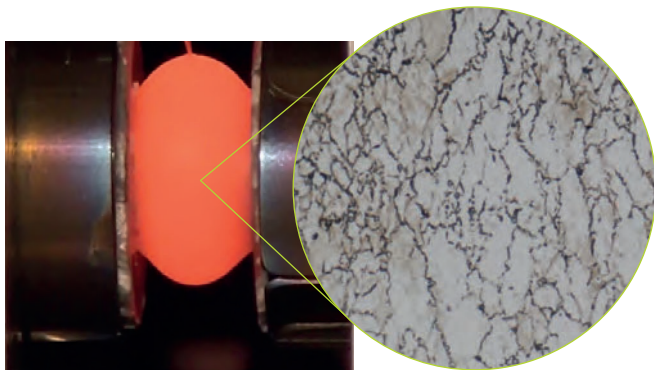


Optimierung von Warmumformprozessen durch Simulation der Mikrostrukturentwicklung

Dr. Lukas Kertsch, Dr. Maksim Zapara

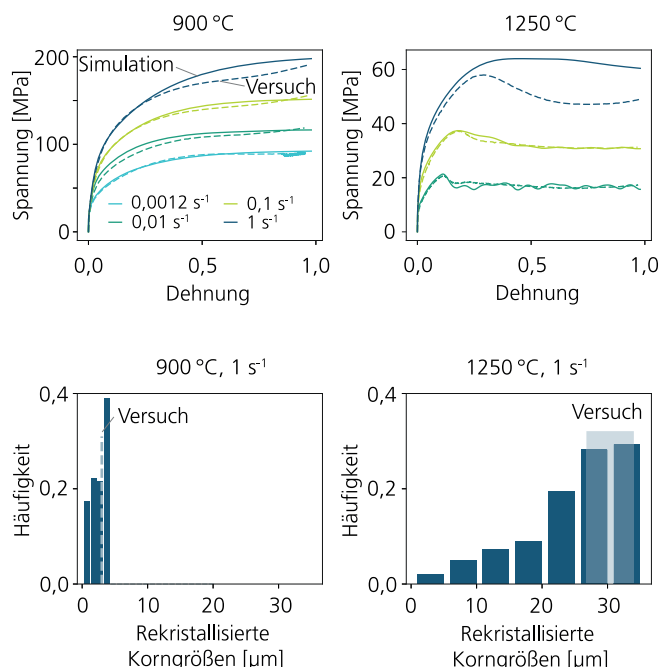


Das Warmumformen durch Prozesse wie Schmieden, Strangpressen und Walzen ermöglicht große Formänderungen bei begrenzten Umformkräften. Dabei kommt es zu ausgeprägten Veränderungen im Gefüge des Werkstücks. Je nach Situation werden Gefügeveränderungen gezielt ausgenutzt oder sie sollen vermieden werden. Beispielsweise ermöglicht erst die Rekristallisation zwischen den Stichen einer Walzstraße den erforderlichen hohen Umformgrad. Allerdings kann es bei längeren Schmiedeoperationen zu unerwünschter Kornvergrößerung kommen. Zudem können sich in vielen Legierungen Ausscheidungsteilchen bilden, die festigkeitssteigernd und rekristallisationshemmend wirken. Das Verständnis der Mikrostrukturentwicklung und seine gezielte Beeinflussung sind daher entscheidend für die Entwicklung und Optimierung von Umformprozessen.

Physikalisch basierte Mikrostrukturmodellierung

Mit unserem physikalisch basierten Materialmodell können wir Mikrostrukturveränderungen durch Rekristallisation, Kornwachstum und Ausscheidungsbildung sowie das thermomechanische Materialverhalten präzise abbilden. Mögliche Anwendungen umfassen die Warmumformung und Wärmebehandlung vieler Stähle, Aluminium-, Kupfer- und Nickelbasislegierungen. Das Modell wurde ursprünglich in einem durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) finanzierten Projekt entwickelt und steht nun in Form von Softwarelösungen zur Verfügung. Diese werden bereits in der Industrie für die Warmumformung verwendet, und wir arbeiten kontinuierlich an Erweiterungen.

Aufgrund der physikalischen Modellbildung sind viele der benötigten Materialdaten leicht verfügbar. Beispielsweise wird der Einfluss der chemischen Zusammensetzung auf die Phasenbildung durch CALPHAD-Datenbanken beschrieben (CALPHAD: »Calculation of Phase Diagrams«), die für die meisten technisch relevanten Legierungssysteme frei zugänglich oder kommerziell erhältlich sind. Um die übrigen Modellparameter für einen bestimmten Werkstoff zu kalibrieren, führen wir thermomechanische Versuche wie Stauch- und Glühversuche unter verschiedenen Bedingungen durch und untersuchen die dabei auftretenden Mikrostrukturveränderungen



Thermomechanische Versuche und metallografische Gefügeuntersuchungen (oben) liefern die Grundlage zur Kalibrierung und Validierung des Materialmodells für einen bestimmten Werkstoff (unten), hier einen mikrolegierten Stahl.

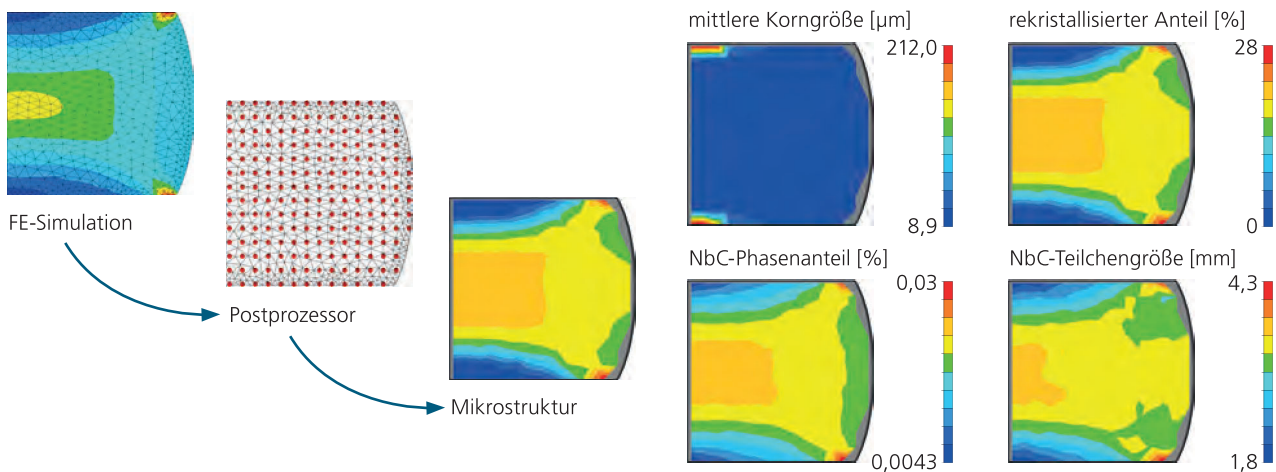
metallografisch. Hierfür nutzen wir unter anderem die thermo-mechanische Prüfeinrichtung »Gleeble 3150« sowie Licht- und Rasterelektronenmikroskopie.

In der Abbildung auf Seite 24 ist das typische Vorgehen zur Modellkalibrierung am Beispiel eines mikrolegierten Stahls dargestellt. In Stauchversuchen wurden die Fließkurven des Materials in Abhängigkeit von Temperatur und Umformgeschwindigkeit aufgezeichnet. Die Proben wurden vor und nach den Versuchen metallografisch untersucht, um die Veränderung der Korngrößenverteilung unter den verschiedenen Prozessbedingungen zu erfassen. Das kalibrierte Modell bildet die Fließkurven und die sich einstellenden Korngrößen mit guter Genauigkeit ab. So steht es nun für die Anwendung auf komplexe Warmumformprozesse zur Verfügung.

Softwarelösungen für die Auslegung von Warmumformprozessen

Das Materialmodell bieten wir in Form von zwei verschiedenen Softwarelösungen für die praktische Anwendung an: Einerseits ist es als eigenständiges Simulationsprogramm implementiert, mit dem die Entwicklung der Werkstoffeigenschaften und

der Mikrostruktur an ausgewählten Punkten innerhalb des Werkstücks detailliert simuliert werden kann. Für die Berechnung der Mikrostrukturentwicklung im gesamten Werkstück hingegen haben wir das Modell der Mikrostrukturentwicklung in einen Postprozessor für Nachlaufrechnungen im Anschluss an die Finite-Elemente-Simulation überführt. Wir nutzen hierfür die Schnittstelle DynamiX GUI, die in Verbindung mit dem kommerziellen Finite-Elemente-Programm FORGE® angeboten wird. Der Postprozessor kann auch für die Verwendung mit anderen weit verbreiteten kommerziellen Finite-Elemente-Programmen wie DEFORM, Simufact Forming oder QForm angepasst werden. Die Abbildung unten zeigt den Arbeitsablauf zur Verwendung des Postprozessors. Hier wird als Beispiel die Simulation eines Stauchversuchs an mikrolegiertem Stahl dargestellt. Als Ergebnis können Mikrostrukturinformationen wie die mittlere Korngröße, der rekristallisierte Anteil sowie der Phasenanteil und die Teilchengröße der Niobcarbid-Ausscheidungen (NbC) auf dem Querschnitt der verformten Probe betrachtet werden. Es wird deutlich, dass sich aufgrund der inhomogenen Belastung innerhalb der Probe erhebliche Unterschiede in der Mikrostruktur einstellen. Mithilfe dieser Informationen lassen sich die Prozessparameter hinsichtlich der Umformbarkeit und der erzielten Mikrostruktur optimieren.



Arbeitsablauf zur Verwendung des Postprozessors mit der DynamiX GUI (links). Berechnete Korn- und NbC-Ausscheidungsstruktur nach Stauchversuchen an mikrolegiertem Stahl (Darstellung der halben Stauchprobe) (rechts).