

## Echtzeit-Überwachung der Gefügeentwicklung von schmiedebainitischen Stählen bei thermo-mechanischer Behandlung und kontinuierlicher Abkühlung

### Real time monitoring of the microstructural development of forging bainitic steels during thermomechanical treatment and continuous cooling

Im Bereich der massiv umgeformten Schmiedebauteile sucht die Maschinenbauindustrie nach Prozessen mit gesteigerter Energie- und Ressourceneffizienz. Die bainitischen Stähle der neuen Generation sind aufgrund der hohen Festigkeit, Zähigkeit sowie hoher Dauerfestigkeit erfolgsversprechend für diese Anwendungen. Diese End Eigenschaften können durch Schmieden und anschließende kontrollierte Abkühlung direkt von der Schmiedetemperatur erhalten werden. Um die erwünschten mechanischen Eigenschaften zu erreichen, muss die Entwicklung der bainitischen Gefüge in Abhängigkeit von den Parametern der thermo-mechanischen Prozesse und von der Abkühlung bekannt sein. In der vorliegenden Arbeit wurden unterschiedliche Messverfahren angewendet, um die Mikrostrukturentwicklung während einer thermo-mechanischen Behandlung und anschließender kontinuierlicher bainitischer Umwandlung zu untersuchen. Die Prozesse wurden in Dilatometern simuliert, und dabei wurden die Proben durch einen Wirbelstromsensor oder durch röntgenografische In-situ-Messungen am Synchrotron (DESY) untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass der Wirbelstromsensor für die Überwachung der Gefügeentwicklung während der Abkühlung sowie während der Deformation geeignet ist. Die Synchrotron-Messungen erlaubten die Erfassung der Mikrostrukturentwicklung während des gesamten Prozesses, insbesondere die Umwandlungskinetik und die Erzeugung von Gitterdefekten bei der bainitischen Umwandlung. Aus den Untersuchungen wurden geeignete Prozessparameter ermittelt, um ein möglichst feines bainitisches Gefüge zu erzielen. Die wesentlichen Faktoren waren eine niedrige Umformtemperatur im austenitischen Bereich, eine schnelle Abkühlung ( $> 5$  K/s) bis zum bainitischem Gebiet und anschließend eine langsamere Abkühlrate zwischen 0,5 K/s und 2 K/s.

In the field of massive forged components the mechanical engineering industry searches for processes with increasing energy and resource efficiency. The new generation bainitic steels are promising for such application because of the high strength, toughness and fatigue properties. The bainitic steels can achieve the required end properties by forging and continuous cooling direct from forging temperature. In order to achieve the desired mechanical properties, the development of the bainitic microstructure depending on the parameters of the thermomechanical process and on the cooling procedure must be well-known. In the present work diverse experimental techniques were applied for the investigation of the microstructural development during thermomechanical treatment and subsequent continuous cooling through the bainitic transformation range. The thermomechanical processes were simulated using dilatometers and at the same time, the specimens were analyzed using an eddy current sensor or using in-situ X-ray diffraction measurements at synchrotron (DESY). The results show that the eddy current sensor is suitable for the monitoring of the microstructural development during cooling and during deformation. The synchrotron measurements allowed recording the microstructural evolution during the whole process in particular the transformation kinetics and the generation of lattice defects during bainitic transformation. From the investigations suitable process parameters were deduced for achieving a possibly fine bainitic microstructure. The main factors are a relatively low deformation temperature in austenitic range, a fast cooling ( $> 5$  K/s) into the bainitic range followed by a slower cooling rate between 0.5 K/s and 2 K/s in the bainitic range until room temperature.



Vortragende / Speaker

Juan Dong

Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien – IWT, Bremen

Rodrigo Afonso Hatwig, William Lemos Bevilaqua, Alexandre da Silva Rocha, Centro de Tecnologia, Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Brasilien; Andreas Stark, Institute of Materials Research, Helmholtz-Zentrum, Geesthacht; Jérémy Epp, Hans-Werner Zoch, Marian G. Skalecki, Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien - IWT, Bremen