
Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein metallkundlich fundiertes Simulationsmodell für die Vorausberechnung mechanischer Eigenschaften wasservergüteter Sonderbaustähle entwickelt. Derartige Stähle finden vor allem im Schwermaschinenbau in hochbeanspruchten Konstruktionen Verwendung. Ihre Mindeststreckgrenzen reichen bis 1300 MPa bei gleichzeitig hohem Spröbruchwiderstand. Basis des Modells sind die gängigen mikrostrukturellen Verfestigungsmechanismen. Wichtige Einflussgrößen sind die Stahlzusammensetzung, die Prozessparameter der Wasservergütung und die resultierende Mikrostruktur. Ausgehend von einer röntgenographischen Analyse der martensitischen Mikrostruktur wurde zum einen ein neuer Ansatz für den Verfestigungsbeitrag über die Gitterverzerrung erarbeitet. Dieser kennzeichnet vor allem die Wirkung der Anlassbehandlung auf die mechanischen Eigenschaften. Zum anderen konnte über eine Kennzeichnung des Ausscheidungszustandes der Verfestigungsbeitrag der Ausscheidungshärtung und durch die Beschreibung der Paketgröße des Martensites der Verfestigungsbeitrag der Korngrenzenhärtung erstmalig für diese Werkstoffgruppe etabliert werden.

Der Abgleich zwischen gerechneten und gemessenen Festigkeitseigenschaften für unterschiedliche Stähle und variierendes Festigkeitsniveau zeigt eine gute Übereinstimmung und damit eine hohe Akzeptanz für das neue Werkstoffmodell.

Ergänzend wird eine mittels Regressionsanalyse hergeleitete empirische Modellierung der Eigenschaftszusammenhänge zwischen Stahlzusammensetzung, Wärmebehandlungsbedingungen, Blechdicke und mechanisch-technologischen Eigenschaften diskutiert. Hieraus ergibt sich für die industrielle Praxis ein einfach handhabbares Hilfsmittel für die Entwicklung und Optimierung von Produkten aus der betrachteten Stahlgruppe. Allerdings erreicht deren Vorhersagegenauigkeit und die Mechanismentreue nicht das Niveau der mikrostrukturellen Modellierung.

Abstract

In this thesis, a metallurgically based simulation model to forecast the mechanical properties of water-quenched special structural steels will be developed. These types of steel are primarily used in heavy engineering in high-load constructions. Their minimum yield strength reaches 1300 MPa while concurrently exhibiting a high brittle fracture. The basis of the model are the established microstructural hardening mechanisms. Important contributing factors are steel composition, the water quenching process parameter and the resulting microstructure. Starting with a radiographical analysis of martensitic microstructure, a new approach for the determination of the contribution of the lattice distortion to microstrain hardening has been developed. This primarily characterises the effect of the tempering process on the mechanical properties. Alongside this, the contribution of grain boundary hardening and the contribution of precipitation hardening could be established for the first time for this material group in a closed model. This has been performed by characterising the packet size of martensite and the precipitation state, respectively.

The comparison of the calculated and measured strength properties for various steels and varying strength levels demonstrates good agreement and thus a high level of acceptance for the new material model.

In addition to the above, derived using regression analysis, empirical modelling of the relationships between steel composition, heat treatment conditions, plate thickness and mechanical and technological properties will be discussed. This will result in a convenient tool for use in industry for the development and optimisation of products from the steel groups mentioned above. However, this tool does not achieve the same level as microstructural modelling with regard to forecasting precision and how true it is to the underlying mechanisms.