

Optimierung von hochfesten Nickellegierungen

Phasenstabilität in Nickelbasis-Superlegierungen

M. Bäker, J. Rösler, Institut für Werkstoffe, Technische Universität Braunschweig

Kurzgefasst

- Untersuchung der Phasenstabilität und des Verhaltens von Ausscheidungen in Nickelbasis-Superlegierungen
- Berechnung des Einflusses hoher Konzentrationen von Legierungselementen auf die Phasenstabilität in Schmiedelegerungen
- Berechnung des Einflusses von Legierungselementen auf die Gitterfehlpassung und die thermische Ausdehnung
- Berechnung des Einflusses von Legierungselementen auf die Grenzflächenenergie zwischen γ - und η -Phase

Nickelbasis-Legierungen zeichnen sich durch ihre sehr gute Hochtemperaturfestigkeit aus und werden deswegen für höchstbelastete Anwendungen wie zum Beispiel Turbinenschaufeln oder auch -wellen eingesetzt. Um den Wirkungsgrad von Turbinen und damit die Energieeffizienz weiter zu steigern, ist es notwendig, die Hochtemperaturbeständigkeit dieser Legierungen zu erhöhen.

Nickelbasis-Legierungen erhalten ihr hohe Festigkeit durch ein Zusammenspiel verschiedener Ausscheidungen mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung. Bei Gusslegierungen, wie sie für Turbinenschaufeln eingesetzt werden, ist die härtende Phase vor allem die kohärente γ' -Phase, die einen Volumenanteil von bis zu 70% ausmachen kann. Schmiedelegerungen, die für Turbinenwellen eingesetzt werden, haben typischerweise geringere Anteile der γ' -Phase. Dafür enthalten sie zusätzlich die γ'' - und die δ -Phase. Die γ'' -Phase besitzt eine hohe Gitterfehlpassung zur Matrix und verfestigt den Werkstoff deshalb stark. Für den Schmiedeprozess ist auch die Ausscheidung der δ -Phase von Bedeutung, da diese für eine feinkörnige Mikrostruktur sorgt.

Der Schmiedeprozess muss bei einer Temperatur stattfinden, bei der die δ -Phase bereits ausgeschieden ist, damit die Korngröße gering bleibt, die verfestigenden Phasen jedoch nicht, da ansonsten die Festigkeit des Werkstoffs zu hoch ist und dieser nicht geschmiedet werden kann. Dadurch ergibt sich ein Schmiedetemperaturfenster, das zwischen der Solvus-Temperatur der δ - und der verfestigenden

Phasen liegt. Zusätzlich ist noch die η -Phase relevant, da diese zur Bildung versprödet wirkender, plattenförmiger Ausscheidungen neigt und in Konkurrenz zur δ -Phase tritt. Die Bildung dieser Phase muss deshalb möglichst unterdrückt werden.

Für die Entwicklung verbesserter Nickelbasis-Legierungen ist es deshalb notwendig, das Verhalten der Phasen γ' , γ'' , δ und η genau zu verstehen und die Ausscheidung dieser Phasen so zu beeinflussen, dass sich hinreichend große Prozessfenster für Schmiedeprozesse einstellen lassen.

Das Institut für Werkstoffe der TU Braunschweig beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Optimierung von Nickelbasis-Legierungen [1–3]. Dabei wurde unter anderem auch eine verbesserte Nickelbasis-Schmiedelegerung entwickelt [4,5]. Um weitere Optimierungen der Legierung zu erzielen, können atomistische Simulationen mit der Methode der Dichtefunktional-Theorie verwendet werden, die den Einfluss von Legierungselementen auf die Phasenstabilität vorhersagen.

Im vergangenen Jahr wurden, abweichend von der ursprünglichen Projektplanung, Rechnungen der Substitutionsenergien in den drei untersuchten Phasen erneut durchgeführt, da sich gezeigt hatte, dass die bisher vernachlässigte Gitteraufweitung durch Legierungselemente einen wesentlich stärkeren Einfluss auf die Energien hat als erwartet.

Im kommenden Antragszeitraum soll zunächst der Einfluss magnetischer Effekte untersucht werden. Bei Prozesstemperatur ist auch reines Nickel nicht mehr ferromagnetisch; zusätzlich sind Nickelbasis-Legierungen selbst bei Raumtemperatur wegen des hohen Chromgehaltes nicht ferromagnetisch. Entsprechend sollen Simulationen ohne Spinpolarisation und mit in der Matrix gelösten Chromatomen durchgeführt werden.

Die Ausscheidungskinetik der δ - und η -Phase wird auch durch die elastische Verzerrungsenergie und damit durch die Gitterfehlpassung bestimmt. Die aktuellen Rechnungen zeigen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment für den Einfluss von Legierungselementen auf die Gitterkonstante. Diese Rechnungen wurden allerdings bei 0 K durchgeführt und sind deshalb bei hohen Temperaturen nur bedingt aussagekräftig. Der Einfluss endlicher Temperaturen soll deshalb im kommenden Antragszeitraum durch Einbeziehung von Phononen in die Simulation ermittelt werden. Da diese Rechnungen sehr aufwändig sind, sollen sie zunächst nur für die 3 wichtigsten Legierungselemente durchgeführt werden.

Die bisherigen Ergebnisse lassen außerdem darauf schließen, dass die hohe Konzentration an Legierungselementen einen deutlichen Einfluss auf die Energien der einzelnen Phasen hat. Entsprechend sollen Rechnungen insbesondere mit erhöhtem Gehalt an Chrom und Cobalt durchgeführt werden, um wechselweitige Einflüsse und mögliche Verdrängungseffekte zu untersuchen.

Die Ausscheidung der δ - bzw. η -Phase wird durch die Ausscheidungskinetik beeinflusst. Dabei ist insbesondere die Keimbildungsbarriere und dementsprechend die Grenzflächenenergie zwischen Matrix und Ausscheidungsphase von Bedeutung. Um diese zu untersuchen, wurden am HLRN Rechnungen mit einer γ - δ -Grenzfläche durchgeführt. Die entsprechenden Berechnungen der η -Phase sollen im Antragszeitraum abgeschlossen werden.

WWW

<https://www.tu-braunschweig.de/ifw/institut/mitarbeiter/baeker>

Weitere Informationen

- [1] Mukherji, Debashis ; Rösler, Joachim, *Zeitschrift für Metallkunde* 94 (2003), Nr. 5, S. 478–484. doi:10.3139/146.030478
- [2] Rösler, Joachim ; Götting, Martin ; Del Genovese, Dominique ; Böttger, Bernd ; Kopp, Reiner ; Wolske, Markus ; Schubert, Florian ; Penkalla, H-J ; Seliga, Tomas ; Thoma, Anderas u. a., Wrought Ni-Base Superalloys for Steam Turbine Applications beyond 700° C. *Advanced Engineering Materials* 5 (2003), Nr. 7, S. 469–483. doi:10.1002/adem.200310083
- [3] Kindrachuk, V ; Wanderka, N ; Banhart, J ; Mukherji, D ; Del Genovese, D ; Rösler, J, Effect of rhenium addition on the microstructure of the superalloy Inconel 706. *Acta Materialia* 56 (2008), Nr. 7, S. 1609–1618. doi: 10.1016/j.actamat.2007.12.010
- [4] Fedorova, Tatiana. Entwicklung einer neuen Nickelbasis-Superlegierung auf Basis von Alloy 718, Cuvillier, 2013
- [5] Fedorova, T ; Rösler, J ; Gehrman, B ; Klöwer, J, *8th International Symposium on Superalloy 718 and Derivatives* Wiley Online Library, S. 587–599 doi:10.1002/9781119016854.ch46