

# AMPM-ÜBUNG

## H-VERSPRÖDUNG

Aaron Berger

### 1. MOTIVATION UND LEHRINHALTE

Diese Übung bezieht sich auf Paper F und G des Paper Journal Clubs.

Die Anfälligkeit austenitischer CrNi-Stähle für die Wasserstoffversprödung hängt unter anderem vom Anteil des  $\delta$ -Ferrit im Gefüge des Werkstoffs ab. Um diesen Effekt nachzuvollziehen, wurden von *Weber et al.* Wärmebehandlungen im Zweiphasengebiet durchgeführt. Die Konzeption einer solchen Wärmebehandlung kann mithilfe der Software Thermo-Calc durchgeführt werden. Hierbei erfolgt die Konzeption einerseits anhand eines Phasendiagramms, andererseits ist auch die genaue Einstellung der Phasenmenge mittels eines Phasenmengendiagramms relevant.

Hochlegierte austenitische Stähle, wie sie in H<sub>2</sub>-Anwendungen eingesetzt werden, bilden während ihrer Erstarrung aus dem schmelzflüssigen Zustand Seigerungsstrukturen aus, wodurch lokale Unterschiede in der chemischen Konzentration vorliegen. Aus diesen lokalen Konzentrationsunterschieden resultieren lokale Variationen von Materialeigenschaften wie etwa der Austenitstabilität. Die Austenitstabilität beeinflusst die Neigung des kubisch-flächenzentrierten (kfz) Kristallgitters des Austenits zur verformungsinduzierten Umwandlung in kubisch-raumzentrierten (krz) Martensit. Als Kenngröße dieser Umwandlungsneigung gilt die Gibbsenergiedifferenz zwischen kfz- und krz-Phase.

Die Übung umfasst:

- Eine exemplarische Berechnung eines Phasendiagramms
- Eine Vorführung der Berechnung der Gibbs-Energien einzelner Phasen in Thermo-Calc
- Die selbstständige Bearbeitung der Aufgaben

### 2. LERNZIELE

Nach der Teilnahme an dieser Übung werden die Studierenden:

- Die Zusammenhänge zwischen Wasserstoffversprödung und auftretenden Phasen verstehen
- Phasendiagramme und Phasenmengendiagramme berechnen können
- Thermodynamisch berechnete Größen zur Bestimmung von Werkstoffeigenschaften nutzen können
- den Einfluss von Seigerungen auf die Ausprägung lokaler Materialeigenschaften beurteilen können
- Erfahrungen in der selbstständigen Nutzung thermodynamischer Berechnungssoftware gesammelt haben

### 3. AUFGABEN

1. Kalkulationen zur Bestimmung des Zweiphasengebiets  $\delta+\gamma$  (ca. 30 min)
  - 1.1 Berechnen Sie das Phasendiagramm für die gegebene Zusammensetzung.  
Frage: Welche Phasenfelder sind relevant? Geben Sie an, in welchem Bereich eine

Wärmebehandlung sinnvoll wäre, bei der a) kein Ferrit entstehen und b) Ferrit entstehen soll. Wie sollte eine Wärmebehandlung nun durchgeführt werden, wenn der Werkstoff in einer Wasserstoffanwendung genutzt werden soll?

- 1.2 Berechnen Sie die das Phasenmengendiagramm des Werkstoffs, um die auftretenden Phasengehalte abzuschätzen.

Frage: Welche Tendenz zeigt sich zu höheren Temperaturen?

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung [Ma.-%] des Stahls X2CrNi18-9.

C	Si	Mn	Mo	Cr	Ni	Fe
0,016	0,68	1,95	0,19	17,89	8,63	Rest

2. Kalkulation von kfz-Phasenstabilitäten (60 min)

- 2.1 Berechnen Sie für die oben genannte chemische Zusammensetzung die Gibbsenergien der kfz- und krz-Phase im Temperaturbereich von RT bis 700°C. Hinweis: Exkludieren Sie im Data-Module alle Phasen und inkludieren Sie FCC\_A1, M23C6, CEMENTITE, HCP\_A3, BCC\_A2.

Frage: Welche relevanten Tendenzen erkennen Sie? Welche Aussage hat der Schnittpunkt der Verläufe?

- 2.2 Bestimmen mit Hilfe der Gleichung 1 für die in Tabelle 1 gegebene chemische Zusammensetzung des Stahls X2CrNi18-9 die Gibbsenergiedifferenzen bei RT (25 °C). Berechnen Sie dafür in Thermo-Calc zunächst die Gibbsenergien  $G_{kfz}$  und  $G_{krz}$  (in J/mol) und bilden Sie die Differenz.

$$\text{Gleichung 1: } \Delta G_{kfz \rightarrow krz} = G_{krz} - G_{kfz}$$

- 2.3 Evaluieren Sie den Einfluss der in Abbildung 1 erkennbaren Ni-Seigerungen auf die Gibbsenergiedifferenz bei RT, indem Sie diese in Abhängigkeit des Ni-Gehaltes berechnen. Hinweis: Berechnen Sie die Gibbsenergiedifferenz für 7 bis 12 Ma.-% in 1 Ma.-% Schritten.

Frage: Welche Auswirkungen ergeben sich hinsichtlich der Phasenumwandlung, wenn die lokale Konzentration variiert? Kann die globale Umwandlungstendenz zur Voraussage des Werkstoffverhaltens genutzt werden?

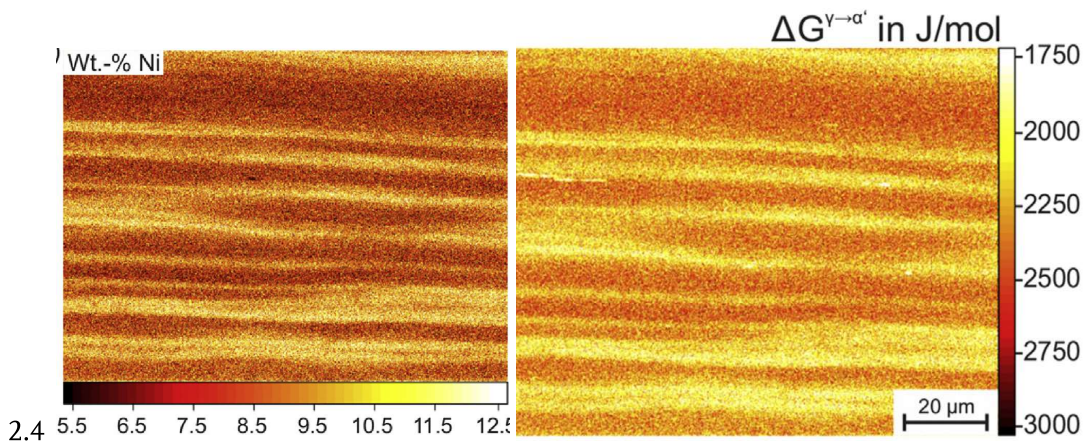


Abbildung 1. Rasterelektronenmikroskopisch aufgenommenes Gefügebild des Stahls X2CrNi18-9 mit dem lokalen Ni-Gehalt sowie die davon abgeleitete Darstellung der Gibbsenergiedifferenz-