



Abschlussbericht

zum 1. Teilvorhaben (Lehrstuhl WW I) des Instituts für
Werkstoffwissenschaften der Universität Erlangen-Nürnberg im BMBF-
Projekt "Entwicklung einer neuen Legierung für die gerichtete Erstarrung
großer Schaufeln für stationäre Gasturbinen"

Thema:	Gitterfehlpassung und Gefügevergröberung
Projektlaufzeit:	01.07.1997-30.06.2002 (zusammen mit Projektpartner WTM)
Projektleiter:	Prof. Dr. H. Mughrabi
Projektbearbeiter:	Dr.-Ing. F. Pyczak

1 Arbeiten während des Projektes

Die Arbeiten am Lehrstuhl WW I konzentrierten sich in ihrem Projektbeitrag primär auf die Mikrostruktur, die Gitterfehlpassung und das γ/γ' -Gefüge der zu entwickelnden Legierungen. In diesem Zusammenhang wurden folgende Legierungseigenschaften untersucht:

- Die γ/γ' -Mikrostruktur der Ausgangszustände
- Die Verteilung der Legierungselemente zwischen γ - und γ' -Phase
- Die Anwendbarkeit der sogenannten M_D - oder *New Phacom*p-Methode auf die Legierungen.
- Der Volumenanteil und die Form und Größe der γ' -Ausscheidungsphase im Ausgangszustand nach Hochtemperaturauslagerung und nach Hochtemperaturverformung
- Die Gitterkonstanten beider Phasen (γ und γ') im Ausgangszustand, nach Hochtemperaturauslagerung mit der Methode der Röntgenbeugung und mit hoher lateraler Auflösung an verschiedenen Positionen der dendritischen Struktur am Elettra Synchrotron in Triest.
- Die Eigenschaften der TCP-Phasen (TCP: Topologically closed packed) und ihre Auswirkungen auf das umgebende γ/γ' -Gefüge

Die Ergebnisse sind im folgenden Abschnitt 2 einzeln dargestellt, und in Abschnitt 3 zusammengefaßt.

2 Ergebnisse

2.1 γ/γ' -Mikrostruktur der Ausgangszustände

Die Mikrostruktur der Ausgangszustände, wie sie vom Projektpartner DPC-Bochum GmbH nach Guß und Aushärtungswärmebehandlung geliefert wurden, wurden qualitativ im REM (Rasterelektronenmikroskop) und TEM (Transmissionselektronenmikroskop) charakterisiert. Bei den in diesem Abschnitt gezeigten Ausgangszuständen können anhand der Mikrostruktur zwei Gruppen unterschieden werden. Die Legierungen 1 und 14 ohne Rhenium besitzen würfelförmige γ' -Partikel mit einer mittleren Kantenlänge von etwa 300 nm (Abbildungen 1 a und 5 a). Im Gegensatz dazu besitzen alle Legierungsvarianten, die Rhenium enthalten, also die Legierungen 7, 8 und 10, würfelförmige oder leicht rundliche γ' -Partikel von etwa 200 nm Kantenlänge im Kernbereich der Dendriten, während die γ' -Ausscheidungen im interdendritischen Bereich eine Größe von bis zu 1 μm erreichen (Abbildungen 2 a, 3 a und 4 a). Diese Variationen in der Teilchengröße

scheinen ein Effekt des Rheniums zu sein, da unabhängig, ob Ruthenium oder Iridium zulegiert ist, wie im Fall von Legierung 8 und 10, oder ob nur Rhenium als zusätzliches Element vorliegt, wie bei Legierung 7, die Größenunterschiede zwischen γ' -Teilchen im Dendritenkern und interdendritischen Bereich zu beobachten sind. Da Rhenium die Diffusion in der Legierung behindert und außerdem stark zwischen Dendritenkern und interdendritischem Bereich segregiert [1, 2], führt die hohe Konzentration von Rhenium im Dendritenkern offensichtlich dazu, daß die γ' -Teilchen dort langsamer vergrößern als in den weniger Rhenium enthaltenden interdendritischen Bereichen oder in den rheniumfreien Legierungsvarianten.

Sekundäres γ' tritt in in großer Menge nur in der Legierungsvariante Legierung 8 auf (Abbildung 3 b) und wird in sehr geringem Anteil noch in den TEM-Dunkelfeldaufnahmen von Legierung 7 und 14 gefunden (Abbildungen 2 b und 5 b). Ob die Ausscheidung von sekundären γ' -Partikeln in Legierung 8 im Zusammenhang mit der Anwesenheit des Elements Ruthenium in dieser Legierungsvariante steht, kann aufgrund der wenigen experimentellen Befunde zu Ruthenium nur vermutet werden.

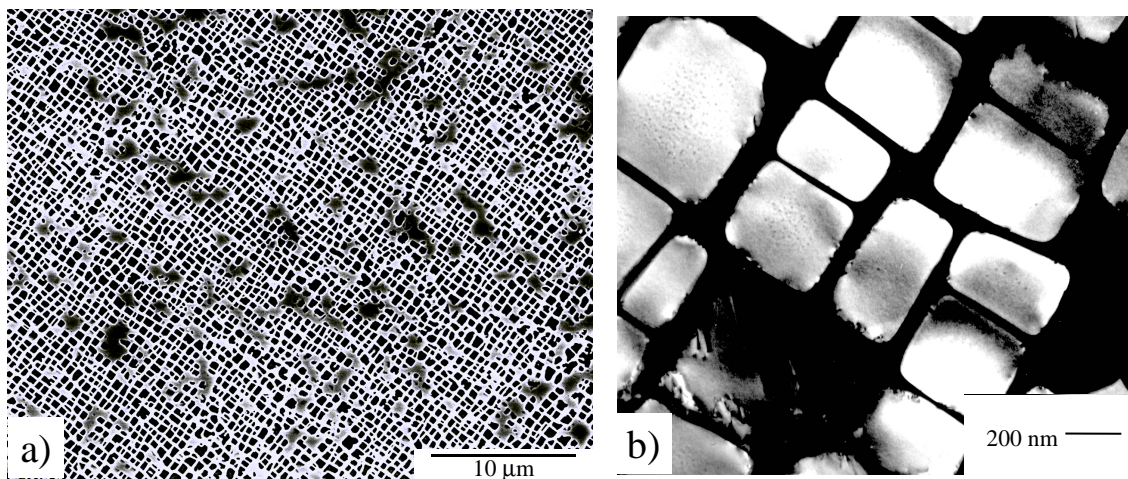


Abbildung 1: a) Die REM-Aufnahme zeigt die Mikrostruktur der Legierung 1 im vollständig wärmebehandelten und ausgehärteten Zustand. b) TEM-Dunkelfeldaufnahme der Legierung 1 unter Verwendung des (003)-Überstruktur-Reflexes. Die schon in der REM-Aufnahme sichtbaren γ' -Teilchen sind bei höherer Vergrößerung gut zu erkennen.

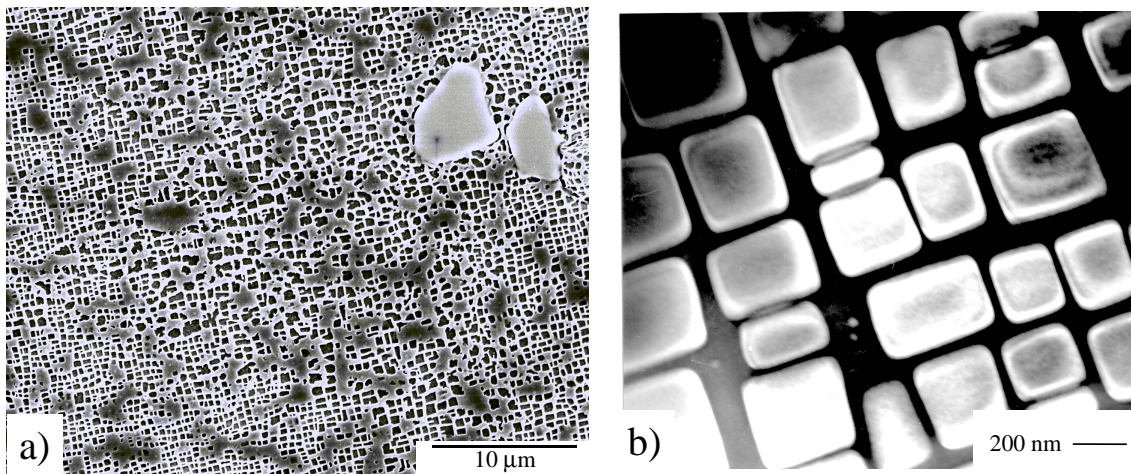


Abbildung 2: a) Die REM-Aufnahme zeigt die Mikrostruktur der Legierung 7. Neben zwei Bereichen mit fein ausgeschiedenen kubischen γ' -Partikeln ist diagonal (von links oben nach rechts unten) ein Band erheblich größerer unregelmäßig geformter γ' -Partikel zu erkennen. b) In dieser Dunkelfeldaufnahme ((003)-Überstruktur-Reflex), die im TEM in einem Dendritenkern von Legierung 7 aufgenommen wurde, sieht man die würfelförmigen ca. 200 nm großen γ' -Teilchen, die auch in der REM-Aufnahme in diesen Bereichen vorliegen. Zusätzlich sind in einem breiten γ -Matrixkanal noch globulitische sekundäre γ' -Partikel zu erkennen.

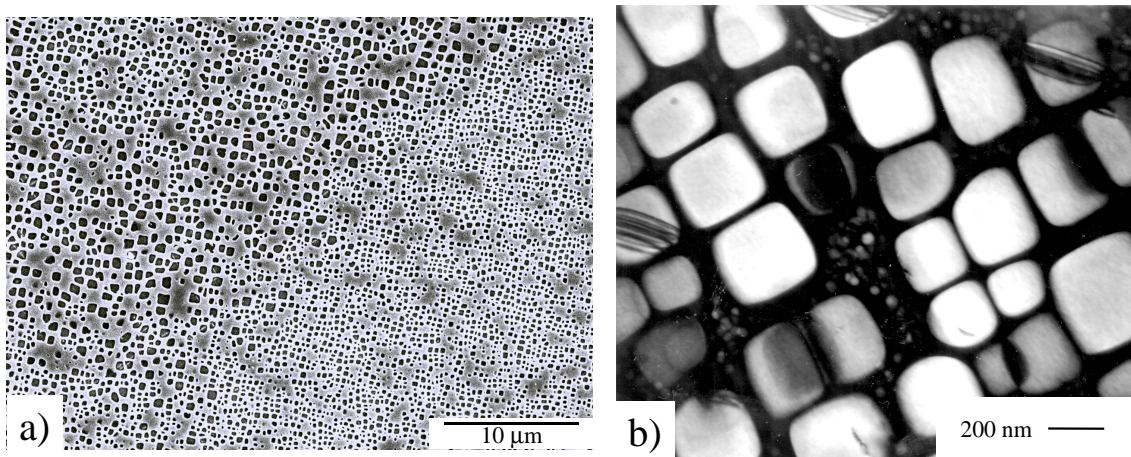


Abbildung 3: a) Die REM-Aufnahme der Legierung 8 zeigt zwei deutlich getrennte Bereiche mit unterschiedlichen γ' -Teilchengrößen. Im Dendritenkern befinden sich feinere Ausscheidungsteilchen, im interdendritischen Bereich können größere γ' -Partikel festgestellt werden. b) Dunkelfeldaufnahme der γ/γ' -Mikrostruktur von Legierung 8 (unter Verwendung des (003)-Überstruktur-Reflexes). In den breiteren Matrixkanälen von Legierung 8 treten im verstärkten Maß sekundäre γ' -Ausscheidungen auf, die als Kugeln von unter 10 nm Größe ausgeschieden werden.

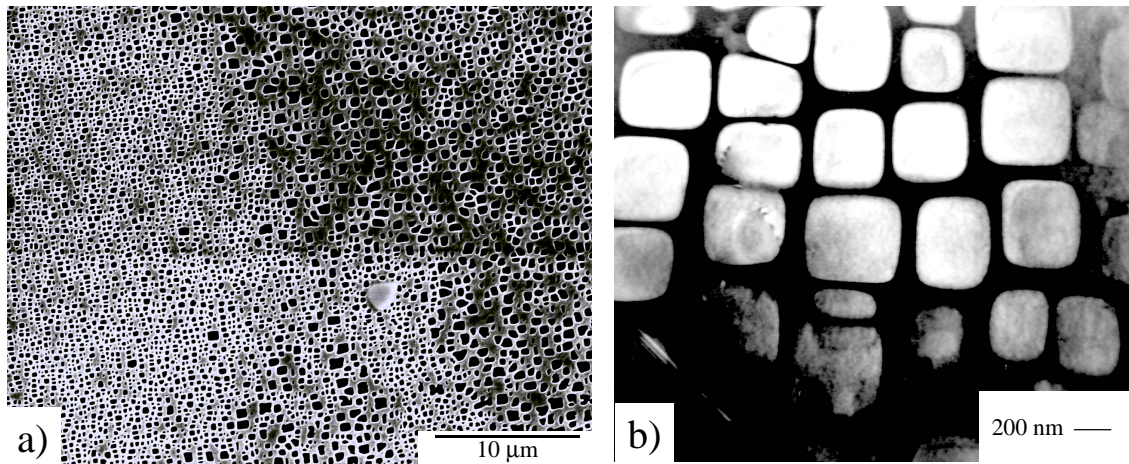


Abbildung 4: a) Die REM-Aufnahme der γ/γ' -Mikrostruktur von Legierung 10 zeigt die feinen leicht abgerundeten γ' -Würfel in den Dendritenkernen und Dendritenarmen deutlich abgegrenzt von interdendritischen Bereichen mit den erheblich größeren γ' -Partikeln. b) Die TEM-Dunkelfeldaufnahme zeigt die Mikrostruktur der Legierung 10 im Dendritenkernbereich, wobei der (003)-Überstruktur-Reflex zur Abbildung verwendet wurde.

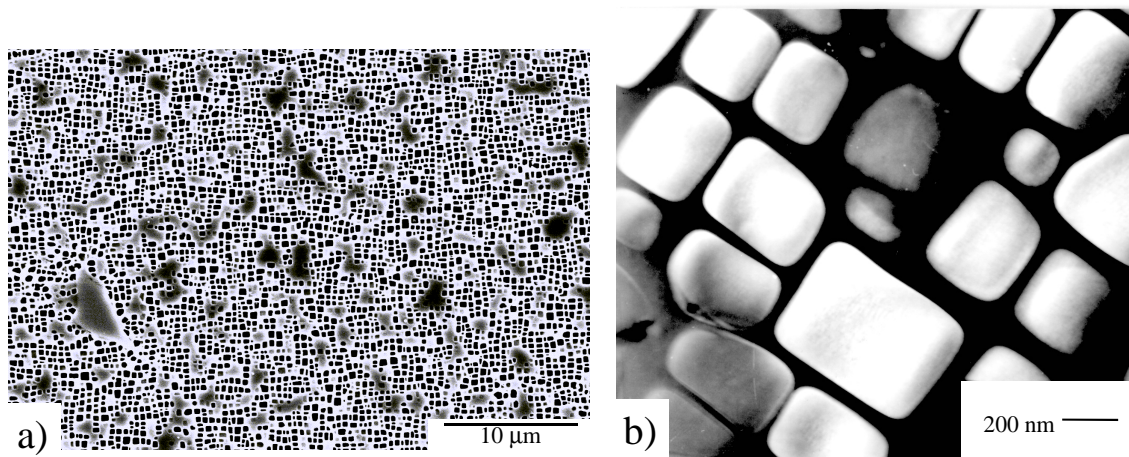


Abbildung 5: a) REM-Aufnahme einer Probe des Ausgangszustandes der Legierung 14. Die γ' -Teilchen besitzen kubische Form und zeigen keine auffälligen Größenunterschiede. b) Die TEM-Dunkelfeldaufnahme (Überstruktur-Reflex (003)) der Legierung 14 zeigt die γ/γ' -Mikrostruktur. Die Teilchen sind würfelförmig mit leicht abgerundeten Ecken und einer Kantenlänge von etwa 300 nm.