



(10) **DE 10 2017 109 156 A1** 2017.11.02

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2017 109 156.4**

(22) Anmeldetag: **28.04.2017**

(43) Offenlegungstag: **02.11.2017**

(51) Int Cl.: **C22C 38/00 (2006.01)**
C22C 19/05 (2006.01)

(66) Innere Priorität:

10 2016 107 882.4 28.04.2016

(71) Anmelder:

Hochschule Flensburg, 24943 Flensburg, DE

(74) Vertreter:

**Hansen und Heeschen Patentanwälte, 21680
Stade, DE**

(72) Erfinder:

**Machon, Lothar, Prof. Dr., 25746 Ostrohe, DE;
Thomsen, Fritz, 25709 Helse, DE**

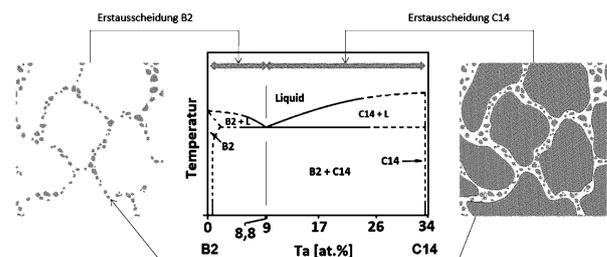
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Hochwarmfester Werkstoff und dessen Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Gefüge aus intermetallischen B2- und C14 Phasen, wobei die primär ausgeschiedene C14-Phase im Wesentlichen nicht miteinander verbundene Bereiche (Inseln) bildet, die Inseln der C14-Phase von der B2-Phase umschlossen sind, das Gesamtvolumen der C14-Phase im Gefüge gegenüber dem der B2-Phase überwiegt.

Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung der Gefüge und eine Verwendung.



Matrix mit eutektische Zusammensetzung:
B2-Struktur mit C14-Restausscheidung

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen hochwarmfesten Werkstoff auf Basis intermetallischer Phasen und ein Verfahren zur Einstellung dessen Gefüges.

[0002] Thermisch und mechanisch hochbelastbare Werkstücke werden unter anderem in Strömungsmaschinen, bei Gasturbinen, in Verbrennungsmotoren und in Flugzeugtriebwerken benötigt. Der Bedarf an im Hinblick auf die mechanische und thermische Belastbarkeit verbesserten Materialien ist dabei nach wie vor vorhanden.

[0003] Ein häufiger Fertigungsschritt in der Produktion der entsprechenden Werkstücke ist die thermomechanische Behandlung zur Verbesserung der Eigenschaften. Hierfür sind nur Werkzeuge (Gesenke) geeignet, die ihrerseits bei den hohen Temperaturen, bei denen sie eingesetzt werden eine höhere Festigkeit aufweisen als das zu bearbeitende Werkstück.

[0004] Intermetallische Phasen geben Anlass zur Annahme, dass sie zur Verbesserung der mechanischen und thermischen Belastbarkeit von Werkstoffen geeignet sind, da intermetallische Phasen eine gegenüber metallischen Werkstoffen höhere mechanische und thermische Belastbarkeit aufweisen.

[0005] Bekannt sind verschiedene intermetallische Phasen, unterschiedlicher Strukturtypen. Die nach dem Mineralogen Fritz Laves benannten Laves-Phasen bilden eine der größten Gruppen der intermetallischen Verbindungen definierter Zusammensetzung hexagonaler C14- oder C36-Struktur oder kubischer C15-Struktur.

[0006] Der Inhalt der Druckschrift Gerhard Sauthoff „Intermetallics“ ISBN: 978-3-527-61540-7 wird explizit mit eingeschlossen.

[0007] Die DE 600 24 189 T2 beschreibt einen Stahl dessen Kriechbeständigkeit durch Ausscheidungen einer intermetallischen u.a. Laves Phase verbessert wird.

[0008] Die DE2521563A1 (Sprenger) beschreibt eine Molybdän-haltige metallische Nickel-Basis-Legierung welche durch Ausscheidungen intermetallischer Phasen verstärkt wird. Mittels gerichteter Erstarrung wird hier eine lamellare Textur der intermetallischen Phase erzwungen.

[0009] Die EP 0760 869 B1 (Anmelder: Siemens, H. C. Starck) beschreibt eine intermetallische Nickel-Aluminium-Basislegierung bei der durch Zugabe von Tantal und Chrom an den Korngrenzen der B2-Primärausscheidungen, Ausscheidungen einer Laves-Phase auftreten.

[0010] Die DE 10 2013 214 767 A1 (Anmelder: MTU Aero Engines AG) beschreibt ebenfalls eine Nickel-Aluminium-Legierung mit einem erhöhten Anteil an Nickel bei der durch Zugabe von Niob oder Tantal an den Korngrenzen der B2-Primärausscheidungen, Ausscheidungen einer hexagonalen Laves-Phase mit C14-Struktur auftreten.

[0011] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Werkstoffe mit verbesserten thermo-mechanischen Eigenschaften sowie eine Verfahren zur Einstellung des dafür erforderlichen Gefüges bereitzustellen. Des Weiteren ist es Aufgabe der Erfindung einen Werkstoff für ein Gesenk zur Fertigung hochwarmfester Werkstücke zur Verfügung zu stellen.

[0012] Es wurde nun gefunden, dass sich die mechanische und thermische Belastbarkeit von Werkstücken, bestehend aus zwei intermetallischen Phasen der Struktur B2 und C14, bei Abwesenheit weiterer metallischer oder intermetallischer Phasen, mittels spezieller Gefüge verbessern lässt. Die erfindungsgemäßen Gefüge sind gekennzeichnet durch Primärausscheidungen der C14-Phase und einer rechteutektischen Zusammensetzung bei der der Volumenanteil der B2-Phase die Matrix des Gefüges bildet und somit Inseln der C14-Phase umschließt.

[0013] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnungen detailliert beschrieben, wobei diese die Erfindung erläutern sollen und nicht beschränkend zu werten sind:

[0014] Es zeigen:

[0015] **Abb. 1:** REM-Aufnahme eines erfindungsgemäßen Gefüges

- [0016] **Abb. 2:** Binäres Phasendiagramm, Zustandsschaubild des Systems TaNiAl mit einem Verhältnis von Ni zu Al (Ni/Al) von 0,66
- [0017] **Abb. 3:** Qualitative Darstellung der Gefüge, abhängig vom Tantal-Anteil des Systems TaNiAl (B2 weiß, C14 grau)
- [0018] **Abb. 4:** Binäres Phasendiagramm, Zustandsschaubild des Systems TaNiAl mit einem Verhältnis von Ni zu Al (Ni/Al) von 1,1
- [0019] **Abb. 5:** Binäres Phasendiagramm, Zustandsschaubild des Systems TaNiAl mit einem Verhältnis von Ni zu Al (Ni/Al) von 0,85
- [0020] **Abb. 6:** REM-Aufnahme eines nicht erfindungsgemäßen Gefüges aus Beispiel 2 ($Ta_{6,3}Ni_{42,8}Al_{50,9}$)
- [0021] **Abb. 7:** Binäres Phasendiagramm, Zustandsschaubild des Systems TaNiAl mit einem Verhältnis von Ni zu Al (Ni/Al) von 1,2
- [0022] **Abb. 8:** REM-Aufnahme eines nicht erfindungsgemäßen Gefüges aus Beispiel 3 ($Ta_{8,5}Ni_{49,5}Al_{42}$)
- [0023] **Abb. 9:** REM-Aufnahme eines nicht erfindungsgemäßen Gefüges aus Beispiel 4 ($Ta_{24,3}Ni_{41,3}Al_{34,4}$)
- [0024] **Abb. 10:** Binäres Phasendiagramm, Zustandsschaubild des Systems NbNiAl mit einem Verhältnis von Ni zu Al (Ni/Al) von 0,66
- [0025] **Abb. 11:** Binäres Phasendiagramm, Zustandsschaubild des Systems NbNiAl mit einem Verhältnis von Ni zu Al (Ni/Al) von 0,75
- [0026] **Abb. 12:** REM-Aufnahme des erfindungsgemäßen Gefüges $Nb_{24,3}Ni_{30}Al_{44,7}$ Beispiel 5
- [0027] **Abb. 13:** REM-Aufnahme des nicht erfindungsgemäßen Gefüges $Nb_{13,4}Ni_{45,9}Al_{40,7}$ Beispiel 6
- [0028] **Abb. 14:** Binäres Phasendiagramm, Zustandsschaubild des Systems NbNiAl mit einem Verhältnis von Ni zu Al (Ni/Al) von 1,12
- [0029] **Abb. 15:** REM-Aufnahme des erfindungsgemäßen Gefüges $Ta_{22,5}Ni_{35,9}Al_{41,6}$
- [0030] **Abb. 1** zeigt ein rasterelektronenmikroskopisch aufgenommenes Bild eines erfindungsgemäßen Gefüges. Die hellen Inseln werden von der C14-Phase gebildet, die dunklen Bereiche sind die umschließende B2-Matrix.
- [0031] Dabei wurde erkannt, dass sich die mechanische und thermische Belastbarkeit von Werkstücken intermetallischer B2- und C14-Phasen verbessern lässt, wenn das System so gewählt wird, dass zunächst die extrem harte C14-Phase ausgeschieden wird, und wenn sichergestellt ist, dass der Volumenanteil der B2-Phase in der eutektischen Zusammensetzung überwiegt und eine umschließende Matrix um die „inselartig“ verteilte C14-Phase ausbildet.
- [0032] Des Weiteren wurde erkannt, dass das Gesamtvolumen der C14-Phase im Gefüge gegenüber dem der B2-Phase überwiegen muss.
- [0033] Erfindungsgemäße Gefüge entstehen, wenn die Zusammensetzung einer Schmelze so gewählt ist, dass sich im Verlauf der Erstarrung zunächst Primärausscheidungen der C14-Phase bilden. Die Restschmelze entwickelt sich, bis zur vollständigen Erstarrung, hin zur eutektischen Zusammensetzung. Dieser Zusammenhang ist in **Abb. 2** zu erkennen.
- [0034] Erst beim Erstarren dieser Restschmelze bildet sich auch eine B2-Phase aus. (**Abb. 2**, die Restschmelze erstarrt zu B2 und C14). Bei überwiegendem Volumenanteil (lässt sich aus dem zugehörigen Zustandsschaubild berechnen) der B2-Phase in der eutektischen Zusammensetzung (Restschmelze) bildet diese eine Matrix um die C14-Ausscheidungen. Die B2-Phase umschließt als Matrix die C14-Partikel und ist über das gesamte System verbunden während die C14-Phase „Inseln“ bildet.

[0035] Eine qualitative Darstellung des erfindungsgemäßen und des nicht erfindungsgemäßen Gefüges ist in **Abb. 3** gezeigt. Ist bei einer Zusammensetzung im System TaNiAl (**Abb. 3**) eine Ausgangszusammensetzung links des Eutektikums (0–8,8 at% Ta) gewählt, bilden sich beim Erstarren zunächst B2-Erstausscheidungen. Ist dagegen eine Ausgangszusammensetzung rechts des Eutektikums (8,8–33 at% Ta) gewählt, bilden sich beim Erstarren zunächst C14-Erstausscheidungen. Unabhängig davon erreicht die Restschmelze, die die Erstausscheidungen als flüssige Phase umschließt, bis zur vollständigen Erstarrung immer die eutektische Zusammensetzung. Aus der Schmelze wird solange B2 oder C14 ausgeschieden, bis die Restschmelze in eutektischer Zusammensetzung vorliegt und ebenfalls erstarrt.

[0036] Die erfindungsgemäßen neuen Gefüge werden erhalten, wenn ein Verfahren, umfassend die folgenden Schritte, angewendet wird:

- i. Auswahl eines der sechs Grundsysteme bestehend aus drei verschiedenen Metallen, A, B und C. Wobei A Aluminium (Al), B Eisen (Fe) oder Nickel (Ni) und C Tantal (Ta), Niob (Nb) oder Titan (Ti) ist., i.e. NbNiAl, TaNiAl, TiNiAl, NbFeAl, TaFeAl und TiFeAl. Wobei die Metalle A und B (AlNi und AlFe) eine B2-Phase und die Metalle A und B und C eine C14-Phase bilden.
- ii. Spezifizierung der in Schritt i getroffenen Auswahl anhand von Gleichung 1 (Gl.1) und Gleichung 2 (Gl.2) auf solche Systeme, welche in eutektischer Zusammensetzung ein volumetrisches Überwiegen der B2-Phase gegenüber der C14-Phase aufweisen

$$V_{C14} = \frac{V_{mC14} \cdot X_C \cdot 3}{V_{mB2} + (V_{mC14} - V_{mB2}) \cdot X_C \cdot 3} \cdot 100\% \quad \text{Gl. 1}$$

$$V_{B2} = 100\% - V_{C14} \quad \text{Gl. 2}$$

mit:

- V_{mC14} = Molvolumen [m^3/mol] der C14-Phase
- V_{mB2} = Molvolumen [m^3/mol] der B2-Phase
- V_{C14} = Volumenanteil [%] der C14-Phase
- V_{B2} = Volumenanteil [%] der B2-Phase
- X_C = Stoffmengenanteil der Komponente C (für X_C ist der Stoffmengenanteil der Komponente C in eutektischer Zusammensetzung einzusetzen $V_{B2} \rightarrow V_{B2\text{-eut}}$)

iii. Sicherstellen das der der Volumenanteil der C14-Phase in folgenden Grenzen liegt:
obere Grenze:

$$V_{C14\text{max}} = 90 \text{ vol. \% des Gesamtvolumens}$$

untere Grenze:

$$V_{C14\text{min}} = V_{B2\text{eut}} + 1/3 \cdot (V_{C14\text{max}} - V_{B2\text{eut}})$$

$$\frac{V_{C14\text{max}} \cdot V_{mB2}}{2 \cdot V_{mC14} - V_{C14\text{max}} \cdot (2 \cdot V_{mC14} - 3 \cdot V_{mB2})} \cdot 100\% = X_{\text{max}C} \quad \text{Gl. 3}$$

$$\frac{V_{C14\text{min}} \cdot V_{mB2}}{2 \cdot V_{mC14} - V_{C14\text{min}} \cdot (2 \cdot V_{mC14} - 3 \cdot V_{mB2})} \cdot 100\% = X_{\text{min}C} \quad \text{Gl. 4}$$

[0037] Durch einsetzen von $V_{C14\text{max}}$ in Gl. 3 wird der maximale Stoffmengenanteil der Komponente C, $X_{\text{max}C}$ berechnet, durch einsetzen von $V_{C14\text{min}}$ in Gl. 4 wird der minimale Stoffmengenanteil der Komponente C, $X_{\text{min}C}$ berechnet. Die Gesamtzusammensetzung wird so gewählt, dass für den Stoffmengenanteil der Komponente C (X_C) gilt:

$$X_{\text{min}C} < X_C < X_{\text{max}C}$$

[0038] Die Herstellung der Schmelze erfolgt nach dem Fachmann allgemein und im speziellen z.B. aus der EP 0 760 869 B1 und Lothar Machon „Untersuchung des Verformungsverhaltens hochschmelzender hexagonaler Laves-Phasen“ bekannten Methoden. Geeignet sind sowohl induktive Schwebeschmelzverfahren, Lichtbogenschmelzen und Elektronenstrahlschmelzverfahren als auch Tiegelerschmelzverfahren mit anschließenden

dem Abguss in eine beheizte Kokille. Zur Formgebung bieten sich pulvermetallurgische Verfahren, vornehmlich Sintern und heißisostatisches Pressen an. Die Metalle der Position A und B des erfindungsgemäßen Gefüges können bis zu 3 at.% durch das Element Chrom substituiert werden. Die Metalle der Position C können bis zu 3 at.% durch die Elemente Hafnium und/oder Zirkonium substituiert werden.

[0039] Bei dem nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erzeugten, erfindungsgemäßen Gefüge handelt es sich um 2 Phasige Systeme, bestehend aus einer vergleichsweise duktilen B2- und einer sehr harten/festen C14-Phase. Das Gefüge zeichnet sich dadurch aus, dass Ausscheidungen (Sowohl Erst- als auch Restausscheidungen) der C14-Phase in eine Matrix aus B2-Phase eingebettet sind. Extrem hohe Festigkeiten werden erreicht, wenn die (sehr feste) C14-Phase in der volumetrischen Zusammensetzung des Gefüges überwiegt und die (weniger feste) Matrix dadurch so „dünn“ ausfällt, dass äußere Belastungen in ihr (der Matrix) praktisch ausschließlich in hydrostatischem Druck resultieren. Die erfindungsgemäßen Gefüge sind geeignet als Werkstoffe, die eine hohe Festigkeit und eine hohe Warmfestigkeit erfordern. Solche Werkstoffe werden insbesondere zur Herstellung von hochtemperaturbelasteten Bauteilen von Gasturbinen, wie z.B. Gasturbinenschaufeln und in Gasturbinenflugtriebwerken benötigt.

[0040] Die erfindungsgemäßen Gefüge sind insbesondere als hochwarmfeste Werkstoffe für Gesenke zur Herstellung von Gegenständen, die eine hohe Festigkeit, eine hohe Warmfestigkeit erfordern geeignet. Im Folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren als die Allgemeingültigkeit nicht einschränkend beispielhaft demonstriert. Gesucht sei ein Werkstoff für ein Schmiedegesenk zur Umformung von Hochtemperaturbauteilen. Beim Schmieden erreicht die Temperatur des Gesenks ca. 1300°C. Es werden die zwei Grund-Systeme NbNiAl und TaNiAl von den sechs möglichen Grund-Systemen NbNiAl, TaNiAl, TiNiAl, NbFeAl, TaFeAl und TiFeAl, die eine B2-Phase (AIB) und eine C14-Phase (AIBC) bilden, behandelt.

System TaNiAl aus Schritt i:

Das Molvolumen der C14-Phase des gewählten Grundsystems ist:

$$V_{mC14} = 25,3 \text{ cm}^3/\text{mol}$$

Das Molvolumen der entsprechenden B2-Phase:

$$V_{mB2} = 14,7 \text{ cm}^3/\text{mol}$$

[0041] Erfindungsgemäße Gefüge stellen sich innerhalb folgender stöchiometrischer Grenzen ein:

Das Stoffmengenverhältnis von Nickel zu Aluminium (Ni/Al) reicht von 0,66 bis 1,1. Der Stoffmengenanteil von Tantal liegt zwischen 21 at% bzw. 22,8 at% (abhängig von Ni/Al) und 29,6 at%

- Anwendung von Schritt ii für Ni/Al = 0,66: Hier ist der Stoffmengenanteil von Tantal in eutektischer Zusammensetzung $X_c = 8,8$ at%. Dieses ist in **Abb. 2**, dem Zustandsschaubild des Systems TaNiAl mit einem Verhältnis von Ni zu Al (Ni/Al) von 0,66 zu erkennen. Es wird in Gl. 1 eingesetzt.

$$V_{C14} = \frac{25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \cdot 8,8\% \cdot 3}{14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} + \left(25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right) \cdot 8,8\% \cdot 3} \cdot 100\% = 38,2\%$$

Der Volumenanteil der B2-Phase in eutektischer Zusammensetzung wird unter Verwendung von Gl. 2 berechnet.

$$V_{B2} = 100\% - 38,2\% = 61,8\%$$

ergibt $V_{B2\text{eut}} = 61,8$ vol% und überwiegt somit in der Restschmelze.

- Anwendung von Schritt ii für Ni/Al = 1,1: Hier ist der Stoffmengenanteil von Tantal in eutektischer Zusammensetzung $X_c = 11$ at%. Dieses ist entnehmbar aus dem Zustandsschaubild des Systems TaNiAl mit einem Verhältnis von Ni zu Al (Ni/Al) von 1,1 (**Abb. 4**)
- Es wird dieser Wert in Gl. 1 eingesetzt.

$$V_{C14} = \frac{25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \cdot 11\% \cdot 3}{14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} + \left(25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right) \cdot 11\% \cdot 3} \cdot 100\% = 45,9\%$$

Der Volumenanteil der B2-Phase in eutektischer Zusammensetzung wird unter Verwendung von Gl. 2 berechnet.

$$V_{B2} = 100\% - 45,9\% = 54,1\%$$

ergibt $V_{B2eut} = 54,1 \text{ vol\%}$ und überwiegt somit in der Restschmelze.

• Der maximale Tantalgehalt wird nun nach Schritt iii berechnet. Gl. 3 liefert:

$$X_{\max C} = \frac{90\% \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}}{2 \cdot 25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 90\% \cdot \left(2 \cdot 25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 3 \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right)} \cdot 100\% = 29,6\%$$

• Der minimale Tantalgehalt ergibt sich anhand der eutektischen Zusammensetzung:

1. Anwendung von Schritt iii für die untere Grenze des Stoffmengenverhältnisses von Nickel zu Aluminium (Ni/Al = 0,66):

$V_{B2eut} = 61,8 \text{ vol\%}$ wird in die Formel zur Berechnung der unteren Grenze des C14 Volumenanteils eingesetzt:

$$V_{C14\min} = V_{B2eut} + 1/3 \cdot (V_{C14\max} - V_{B2eut}) \\ = 61,8 \text{ vol\%} + 1/3 \cdot (90 \text{ vol\%} - 61,8 \text{ vol\%}) = 71,2 \text{ vol\%}.$$

Die so erhaltene untere Grenze des Volumenanteils wird in Gl. 4 eingesetzt:

$$X_{\min C} = \frac{71,2\% \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}}{2 \cdot 25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 71,2\% \cdot \left(2 \cdot 25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 3 \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right)} \cdot 100\% = 22,8\%$$

ergibt einen minimalen Stoffmengenanteil von Tantal von 22,8 at%

2. Anwendung von Schritt iii für die obere Grenze des Stoffmengenverhältnisses von Nickel zu Aluminium (Ni/Al = 1,1):

$V_{B2eut} = 54,5 \text{ vol\%}$ wird in die Formel zur Berechnung der unteren Grenze des C14 Volumenanteils eingesetzt:

$$V_{C14\min} = V_{B2eut} + 1/3 \cdot (V_{C14\max} - V_{B2eut}) \\ = 54,5 \text{ vol\%} + 1/3 \cdot (90 \text{ vol\%} - 54,5 \text{ vol\%}) = 66,3 \text{ vol\%}.$$

Die so erhaltene untere Grenze des Volumenanteils wird in Gl. 4 eingesetzt:

$$X_{\min C} = \frac{66,3\% \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}}{2 \cdot 25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 66,3\% \cdot \left(2 \cdot 25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 3 \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right)} \cdot 100\% = 21\%$$

ergibt einen minimalen Stoffmengenanteil von Tantal von 21 at%

[0042] Im Folgenden werden beispielhaft vier Zusammensetzungen im System TaNiAl betrachtet. Zusammensetzungen mit einem höheren Ni- als Al-Gehalt (Beispiel 3 und 4) führen nicht zum erfindungsgemäßen Gefüge. Auch das mit höherem Al- als Ni-Gehalt hergestellte, untereutektische Beispiel 2 ($V_{C14} < V_{C14\min}$) führt nicht zum erfindungsgemäßen Gefüge. Das mit höherem Al- als Ni-Gehalt hergestellte, übereutektische Beispiel 1 ($V_{C14} > V_{C14\min}$) führt zum erfindungsgemäßen Gefüge.

[0043] Hergestellt wurden die Beispielgefüge mittels mehrfachen Umschmelzens aus den reinen Komponenten in einer Lichtbogenschmelze. Die Gefügebilder sind REM-Aufnahmen im Sekundärelektronenbildverfahren. Zusammensetzungen wurden im REM mittels EDX ermittelt.

Beispiel 1 $\text{Ta}_{22,5}\text{Ni}_{35,9}\text{Al}_{41,6}$ (Abb. 1 und Abb. 15) Erfindungsgemäßes Beispiel

Schritt i

Auswahl des Grundsystems:

-> A = Al, B = Ni, C = Ta

$V_{mC14} = 25,3 \text{ cm}^3/\text{mol}$

$V_{mB2} = 14,7 \text{ cm}^3/\text{mol}$

Schritt ii

[0044] Der Stoffmengenanteil von Tantal in eutektischer Zusammensetzung liegt in der o.g. Zusammensetzung (Ni/Al = 0,85) bei 9,8 at% (Zustandsschaubild in **Abb. 5**). Einsetzen in Gl. 1:

$$V_{C14} = \frac{25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \cdot 9,8\% \cdot 3}{14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} + (25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}) \cdot 9,8\% \cdot 3} \cdot 100\% = 41,75\%$$

Der Volumenanteil der B2-Phase in eutektischer Zusammensetzung wird unter Verwendung von Gl. 2 berechnet.

$$V_{B2} = 100\% - 41,75\% = 58,25\%$$

ergibt $V_{B2\text{eut}} = 58,25 \text{ vol\%}$ und überwiegt somit in der Restschmelze.

Schritt iii

[0045] Die obere Grenze für den Stoffmengenanteil von Tantal mit Gl. 3 berechnet:

$$X_{\text{max}C} = \frac{90\% \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}}{2 \cdot 25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 90\% \cdot (2 \cdot 25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 3 \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}})} \cdot 100\% = 29,6\%$$

$V_{B2\text{eut}} = 58,25 \text{ vol\%}$ wird in die Formel zur Berechnung der unteren Grenze des C14 Volumenanteils eingesetzt:

$$V_{C14\text{min}} = 58,25 \text{ vol\%} + 1/3 \cdot (90 \text{ vol\%} - 58,25 \text{ vol\%}) = 68,8 \text{ vol\%}.$$

Die so erhaltene untere Grenze des Volumenanteils wird in Gl. 4 eingesetzt:

$$X_{\text{min}C} = \frac{68,8\% \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}}{2 \cdot 25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 68,8\% \cdot (2 \cdot 25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 3 \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}})} \cdot 100\% = 21,9\%$$

Der Stoffmengenanteil von Tantal (X_C) mit 22,5 at% liegt somit innerhalb der Zulässigen Grenzen:

$$21,9 \text{ at\%} < X_C < 29,6 \text{ at\%}$$

[0046] Die Prüfung entsprechend Verfahrensschritt iii ergibt, dass hier die Bedingungen zur Bildung eines erfindungsgemäßen Gefüges erfüllt sind. Folglich bilden sich Erstausscheidungen der C14-Phase (helle Bereiche), umgeben von einer Matrix der B2-Phase (dunkle Bereiche). Erfindungsgemäßes Gefüge.

Beispiel 2 $\text{Ta}_{6,3}\text{Ni}_{42,8}\text{Al}_{50,9}$ (Abb. 6)

Schritt i

Auswahl des Grundsystems:

-> A = Al, B = Ni, C = Ta

$V_{mC14} = 25,3 \text{ cm}^3/\text{mol}$

$V_{mB2} = 14,7 \text{ cm}^3/\text{mol}$

Schritt ii

[0047] Der Stoffmengenanteil von Tantal in eutektischer Zusammensetzung liegt in der o.g. Zusammensetzung (Ni/Al = 0,84) bei 9,7 at% (**Abb. 5**). Einsetzen in Gl. 1:

$$V_{C14} = \frac{25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \cdot 9,7\% \cdot 3}{14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} + (25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}) \cdot 9,8\% \cdot 3} \cdot 100\% = 41,4\%$$

Der Volumenanteil der B2-Phase in eutektischer Zusammensetzung wird unter Verwendung von Gl. 2 berechnet.

$$V_{B2} = 100\% - 41,4\% = 58,6\%$$

ergibt $V_{B2eut} = 58,6 \text{ vol\%}$ und überwiegt somit in der Restschmelze.

Schritt iii

[0048] Die obere Grenze für den Stoffmengenanteil von Tantal mit Gl. 3 berechnet:

$$X_{\max C} = \frac{90\% \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}}{2 \cdot 25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 90\% \cdot \left(2 \cdot 25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 3 \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right)} \cdot 100\% = 29,6\%$$

$V_{B2eut} = 58,6 \text{ vol\%}$ wird in die Formel zur Berechnung der unteren Grenze des C14 Volumenanteils eingesetzt:

$$V_{C14\min} = 58,6 \text{ vol\%} + 1/3 \cdot (90 \text{ vol\%} - 58,25 \text{ vol\%}) = 69 \text{ vol\%}.$$

Die so erhaltene untere Grenze des Volumenanteils wird in Gl. 4 eingesetzt:

$$X_{\min C} = \frac{69\% \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}}{2 \cdot 25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 69\% \cdot \left(2 \cdot 25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 3 \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right)} \cdot 100\% = 22\%$$

Der Stoffmengenanteil von Tantal (X_C) mit 6,3 at% liegt somit außerhalb der Zulässigen Grenzen:

$$22 \text{ at\%} < X_C < 29,6 \text{ at\%}$$

[0049] B2 überwiegt in der resteutektischen Zusammensetzung und bildet nach den Erstausscheidungen auch die Matrix. Die dunklen Bereiche (B2-Phase) sind miteinander verbunden und liegen nicht als einzelne „Inseln“ vor. Der Gesamtanteil der C14-Phase ist deutlich geringer als der der B2-Phase. **Abb. 6** zeigt das nicht erfindungsgemäße Gefüge aus Beispiel 2.

Beispiel 3 $\text{Ta}_{8,5}\text{Ni}_{49,5}\text{Al}_{42}$ (Abb. 8)

Schritt i

Auswahl des Grundsystems:

-> A = Al, B = Ni, C = Ta

$$V_{mC14} = 25,3 \text{ cm}^3/\text{mol}$$

$$V_{mB2} = 14,7 \text{ cm}^3/\text{mol}$$

Schritt ii

[0050] Der Stoffmengenanteil von Tantal in eutektischer Zusammensetzung liegt in der o.g. Zusammensetzung (Ni/Al = 1,2) bei 14,5 at% (**Abb. 7**). Einsetzen in Gl. 1:

$$V_{C14} = \frac{25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \cdot 14,5\% \cdot 3}{14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} + \left(25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right) \cdot 14,5\% \cdot 3} \cdot 100\% = 56,9\%$$

Der Volumenanteil der B2-Phase in eutektischer Zusammensetzung wird unter Verwendung von Gl. 2 berechnet.

$$V_{B2} = 100\% - 56,9\% = 43,1\%$$

ergibt $V_{B2eut} = 43,1 \text{ vol\%}$ und überwiegt somit nicht in der Restschmelze.

[0051] Die C14-Phase (helle Bereiche in der **Abb. 8**) überwiegt in resteutektischer Zusammensetzung und bildet die Matrix. Es ist gut zu erkennen, dass die hellen Bereiche miteinander verbunden sind. Die B2-Erstausscheidungen (dunkle Bereiche) liegen als einzelne „Inseln“ vor. Nicht erfindungsgemäßes Gefüge.

Beispiel 4 $Ta_{24,3}Ni_{41,3}Al_{34,4}$ (Abb. 9)

Schritt i

Auswahl des Grundsystems:

-> A = Al, B = Ni, C = Ta

$V_{mC14} = 25,3 \text{ cm}^3/\text{mol}$

$V_{mB2} = 14,7 \text{ cm}^3/\text{mol}$

Schritt ii

[0052] Der Stoffmengenanteil von Tantal in eutektischer Zusammensetzung liegt in der o.g. Zusammensetzung (Ni/Al = 1,2) bei 14,5 at% (**Abb. 7**). Einsetzen in Gl. 1:

$$V_{C14} = \frac{25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \cdot 14,5\% \cdot 3}{14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} + \left(25,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right) \cdot 14,5\% \cdot 3} \cdot 100\% = 56,9\%$$

Der Volumenanteil der B2-Phase in eutektischer Zusammensetzung wird unter Verwendung von Gl. 2 berechnet.

$$V_{B2} = 100\% - 56,9\% = 43,1\%$$

ergibt $V_{B2\text{eut}} = 43,1 \text{ vol}\%$ und überwiegt somit nicht in der Restschmelze.

[0053] Übereutektische Zusammensetzung und größerem Nickel- als Aluminium-Anteil. Die eutektische Zusammensetzung der entsprechenden Konode weist einen Tantal Anteil von etwa 14,5at.% auf. Die C14-Phase überwiegt in der resteutektischen Zusammensetzung und bildet so neben den Erstausscheidungen auch die Matrix. Es ist in der **Abb. 9** gut zu erkennen, dass die hellen Bereiche (C14-Phase) miteinander verbunden sind und nicht als einzelne „Inseln“ vorliegen. Nicht erfindungsgemäßes Gefüge.

[0054] Zusammenfassend lässt sich hier die Erkenntnis ableiten, dass eine sich zu 100 at% ergänzende Zusammensetzung im System TaNiAl immer dann ein erfindungsgemäßes Gefüge bildet, wenn das Verhältnis von Ni zu Al (Ni/Al) zwischen 0,66 und 1,1 liegt und der Anteil an Tantal zwischen 21,0 at% und 29,6 at%. Also $Ta_{21,0-29,6}NiAl$ mit einem Verhältnis von Ni zu Al (Ni/Al) zwischen 0,66 und 1,1

[0055] In Formel lässt sich das folgendermaßen beschreiben:



$$Y = \frac{Xb}{Xa} \quad 0,66 < Y < 1,1$$

$$(0,255 - 0,0408 \cdot Y) \cdot 100\% < Xc < 29,6\%$$

$$Xa = \frac{100\% - Xc}{1 + Y}$$

$$Xb = 100\% - (Xa + Xc)$$

System NbNiAl aus Schritt i:

Das Molvolumen der C14-Phase des gewählten Grundsystems ist:

$V_{mC14} = 25,7 \text{ cm}^3/\text{mol}$

Das Molvolumen der entsprechenden B2-Phase:

$V_{mB2} = 14,7 \text{ cm}^3/\text{mol}$

[0056] Erfindungsgemäße Gefüge stellen sich innerhalb folgender stöchiometrischer Grenzen ein:

Das Stoffmengenverhältnis von Nickel zu Aluminium (Ni/Al) reicht von 0,66 bis 0,75. Der Stoffmengenanteil von Niob liegt zwischen 20,1 at% bzw. 21,6 at% (abhängig von Ni/Al) und 29,6 at%

- Anwendung von Schritt ii für Ni/Al = 0,66: Hier ist der Stoffmengenanteil von Niob in eutektischer Zusammensetzung $X_c = 10$ at% (**Abb. 10**). Entsprechend Schritt ii wird dieser Wert in Gl. 1 eingesetzt.

$$V_{C14} = \frac{25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \cdot 10\% \cdot 3}{14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} + \left(25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right) \cdot 10\% \cdot 3} \cdot 100\% = 42,8\%$$

Der Volumenanteil der B2-Phase in eutektischer Zusammensetzung wird unter Verwendung von Gl. 2 berechnet.

$$V_{B2} = 100\% - 42,8\% = 57,2\%$$

ergibt $V_{B2\text{eut}} = 57,2$ vol% und überwiegt somit in der Restschmelze.

- Anwendung von Schritt ii für Ni/Al = 0,75: Hier ist der Stoffmengenanteil von Niob in eutektischer Zusammensetzung $X_c = 12$ at% (**Abb. 11**). Entsprechend Schritt ii wird dieser in Gl. 1 eingesetzt.

$$V_{C14} = \frac{25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \cdot 12\% \cdot 3}{14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} + \left(25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right) \cdot 12\% \cdot 3} \cdot 100\% = 49,2\%$$

Der Volumenanteil der B2-Phase in eutektischer Zusammensetzung wird unter Verwendung von Gl. 2 berechnet.

$$V_{B2} = 100\% - 49,2\% = 50,8\%$$

ergibt $V_{B2\text{eut}} = 50,8$ vol% und überwiegt somit in der Restschmelze.

- Der maximale Stoffmengenanteil von Niob wird nach Schritt iii berechnet. Gl. 3 liefert:

$$X_{\max C} = \frac{90\% \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}}{2 \cdot 25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 90\% \cdot \left(2 \cdot 25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 3 \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right)} \cdot 100\% = 29,5\%$$

- Der minimale Niobgehalt ergibt sich anhand der eutektischen Zusammensetzung:

3. Anwendung von Schritt iii für die untere Grenze des Stoffmengenverhältnisses von Nickel zu Aluminium (Ni/Al = 0,66):

$V_{B2\text{eut}} = 57,2$ vol% wird in die Formel zur Berechnung der unteren Grenze des C14 Volumenanteils eingesetzt:

$$V_{C14\min} = V_{B2\text{eut}} + 1/3 \cdot (V_{C14\max} - V_{B2\text{eut}}) \\ = 57,2 \text{ vol}\% + 1/3 \cdot (90 \text{ vol}\% - 57,2 \text{ vol}\%) = 68,1 \text{ vol}\%.$$

Die so erhaltene untere Grenze des Volumenanteils wird in Gl. 4 eingesetzt:

$$X_{\min C} = \frac{68,1\% \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}}{2 \cdot 25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 68,1\% \cdot \left(2 \cdot 25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 3 \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right)} \cdot 100\% = 21,6\%$$

ergibt einen minimalen Stoffmengenanteil von Niob von 21,6 at%

4. Anwendung von Schritt iii für die obere Grenze des Stoffmengenverhältnisses von Nickel zu Aluminium (Ni/Al = 0,75):

$V_{B2\text{eut}} = 50,8$ vol% wird in die Formel zur Berechnung der unteren Grenze des C14 Volumenanteils eingesetzt:

$$V_{C14\min} = V_{B2\text{eut}} + 1/3 \cdot (V_{C14\max} - V_{B2\text{eut}}) \\ = 50,8 \text{ vol}\% + 1/3 \cdot (90 \text{ vol}\% - 50,8 \text{ vol}\%) = 63,9 \text{ vol}\%.$$

Die so erhaltene untere Grenze des Volumenanteils wird in Gl. 4 eingesetzt:

$$X_{\min C} = \frac{63,9\% \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}}{2 \cdot 25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 63,9\% \cdot \left(2 \cdot 25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 3 \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right)} \cdot 100\% = 20\%$$

ergibt einen minimalen Stoffmengenanteil von Niob von 20 at%

[0057] Im Folgenden werden zwei Beispiele im System NbNiAl betrachtet. Hergestellt wurden die Legierungen mittels mehrfachen Umschmelzens aus den reinen Komponenten in einer Lichtbogenschmelze. Die Gefügebilder sind REM-Aufnahmen im Sekundärelektronenbildverfahren. Zusammensetzungen wurden im REM mittels EDX ermittelt.

Beispiel 5 Zusammensetzung Nb_{24,3}Ni₃₀Al_{44,7} (Abb. 12)

Schritt i

Auswahl des Grundsystems:

-> A = Al, B = Ni, C = Nb

V_{mC14} = 25,7 cm³/mol

V_{mB2} = 14,7 cm³/mol

Schritt ii

[0058] Der Stoffmengenanteil von Niob in eutektischer Zusammensetzung liegt in der o.g. Zusammensetzung (Ni/Al = 0,67) bei 10 at% (**Abb. 10**). Einsetzen in Gl. 1:

$$V_{C14} = \frac{25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \cdot 10\% \cdot 3}{14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} + \left(25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right) \cdot 10\% \cdot 3} \cdot 100\% = 42,8\%$$

Der Volumenanteil der B2-Phase in eutektischer Zusammensetzung wird unter Verwendung von Gl. 2 berechnet.

$$V_{B2} = 100\% - 42,8\% = 57,2\%$$

ergibt V_{B2eut} = 57,2 vol% und überwiegt somit in der Restschmelze.

Schritt iii

[0059] Die obere Grenze für den Stoffmengenanteil von Niob mit Gl. 3 berechnet:

$$X_{\max C} = \frac{90\% \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}}{2 \cdot 25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 90\% \cdot \left(2 \cdot 25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 3 \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right)} \cdot 100\% = 29,5\%$$

V_{B2eut} = 57,2 vol% wird in die Formel zur Berechnung der unteren Grenze des C14 Volumenanteils eingesetzt:

$$V_{C14\min} = 57,2 \text{ vol\%} + 1/3 \cdot (90 \text{ vol\%} - 57,2 \text{ vol\%}) = 68,1 \text{ vol\%}.$$

Die so erhaltene untere Grenze des Volumenanteils wird in Gl. 4 eingesetzt:

$$X_{\min C} = \frac{68,1\% \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}}{2 \cdot 25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 68,1\% \cdot \left(2 \cdot 25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 3 \cdot 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right)} \cdot 100\% = 21,6\%$$

Der Stoffmengenanteil von Niob (X_C) mit 24,3 at% liegt somit innerhalb der Zulässigen Grenzen:

$$21,6 \text{ at\%} < X_C < 29,5 \text{ at\%}$$

[0060] Bei deutlich übereutektischer Zusammensetzung bilden sich große C14-Erstausscheidungen (helle Phase). Aufgrund des größeren Aluminium- als Nickel-Anteils überwiegt im Resteutektikum die B2-Phase (dunkle Phase) und bildet so die Matrix. Der C14-Anteil des Resteutektikums ist aufgrund heterogener Keimbildung überwiegend an die C14-Erstausscheidungen angelagert. Das erfindungsgemäße Gefüge ist in der REM Aufnahme in **Abb. 12** zu erkennen.

Beispiel 6 Nb_{13,4}Ni_{45,9}Al_{40,7} (Abb. 13)

Schritt i

Auswahl des Grundsystems:

-> A = Al, B = Ni, C = Nb

$V_{mC14} = 25,7 \text{ cm}^3/\text{mol}$

$V_{mB2} = 14,7 \text{ cm}^3/\text{mol}$

Schritt ii

[0061] Der Stoffmengenanteil von Niob in eutektischer Zusammensetzung liegt in der o.g. Zusammensetzung (Ni/Al = 1,12) bei 14,3 at%. Einsetzen in Gl. 1:

$$V_{C14} = \frac{25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \cdot 14,3\% \cdot 3}{14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} + \left(25,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} - 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right) \cdot 14,3\% \cdot 3} \cdot 100\% = 56,8\%$$

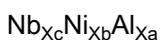
Der Volumenanteil der B2-Phase in eutektischer Zusammensetzung wird unter Verwendung von Gl. 2 berechnet.

$$V_{B2} = 100\% - 56,8\% = 43,2\%$$

ergibt $V_{B2\text{eut}} = 43,2 \text{ vol\%}$ und überwiegt somit nicht in der Restschmelze.

[0062] Bei untereutektischer Zusammensetzung bilden sich große B2-Erstausscheidungen (dunkle Phase). Aufgrund des größeren Nickel- als Aluminium-Anteils überwiegt im Resteutektikum die C14-Phase (helle Phase) und bildet so die Matrix. Das nicht erfindungsgemäße Gefüge ist in der REM Aufnahme in **Abb. 13** zu erkennen.

[0063] Es lässt sich hier zusammenfassend für das System NbNiAl sagen, dass sich ein erfindungsgemäßes Gefüge bildet, wenn sich die zu 100 at% ergänzende atomare Zusammensetzung ein Verhältnis von Ni zu Al (Ni/Al) zwischen 0,66 und 0,75 aufweist und der Anteil an Nb zwischen 20 at% und 29,5 at% liegt. In Formel lässt sich dieses Erkenntnis folgendermaßen ausdrücken:



$$Y = \frac{Xb}{Xa} \quad 0,66 < Y < 0,75$$

$$(0,315 - 0,1525 \cdot Y) \cdot 100\% < Xc < 29,6\%$$

$$Xa = \frac{100\% - Xc}{1 + Y}$$

$$Xb = 100\% - (Xa + Xc)$$

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 60024189 T2 [0007]
- DE 2521563 A1 [0008]
- EP 0760869 B1 [0009, 0038]
- DE 102013214767 A1 [0010]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Druckschrift Gerhard Sauthoff „Intermetallics“
ISBN: 978-3-527-61540-7 [0006]

Patentansprüche

1. Gefüge aus intermetallischen B2- und C14-Phasen, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - die primär ausgeschiedene C14-Phase im Wesentlichen nicht miteinander verbundene Bereiche (Inseln) bildet,
 - die Inseln der C14-Phase von der B2-Phase umschlossen sind,
 - das Gesamtvolumen der C14-Phase im Gefüge gegenüber dem der B2-Phase überwiegt.
2. Verfahren zur Herstellung des/der Gefüge gemäß Anspruch 1, umfassend die folgenden Schritte:
 - i. Auswahl eines der sechs Grundsysteme NbNiAl, TaNiAl, TiNiAl, NbFeAl, TaFeAl und TiFeAl bestehend aus drei verschiedenen Metallen, A, B und C. Wobei A Aluminium (Al), B Eisen (Fe) oder Nickel (Ni) und C Tantal (Ta), Niob (Nb) oder Titan (Ti) ist, wobei die Metalle A und B (AlNi und AlFe) eine B2-Phase und die Metalle A und B und C eine C14-Phase bilden.
 - ii. Spezifizierung der in Schritt i getroffenen Auswahl anhand von Gleichung 1 (Gl.1) und Gleichung 2 (Gl.2) auf solche Systeme, welche in eutektischer Zusammensetzung ein volumetrisches Überwiegen der B2-Phase gegenüber der C14-Phase aufweisen

$$V_{C14} = \frac{V_{mC14} \cdot X_C \cdot 3}{V_{mB2} + (V_{mC14} - V_{mB2}) \cdot X_C \cdot 3} \cdot 100\% \quad \text{Gl. 1}$$

$$V_{B2} = 100\% - V_{C14} \quad \text{Gl. 2}$$

mit:

V_{mC14} = Molvolumen [m³/mol] der C14-Phase

V_{mB2} = Molvolumen [m³/mol] der B2-Phase

V_{C14} = Volumenanteil [%] der C14-Phase

V_{B2} = Volumenanteil [%] der B2-Phase

X_C = Stoffmengenanteil der Komponente C (für X_C ist der Stoffmengenanteil der Komponente C in eutektischer Zusammensetzung einzusetzen $V_{B2} \rightarrow V_{B2eut}$)

iii. Sicherstellen anhand von Gleichung 3 (Gl.3) und Gleichung 4 (Gl.4), dass der Volumenanteil der C14-Phase in folgenden Grenzen liegt:

obere Grenze:

$$V_{C14max} = 90 \text{ vol. \% des Gesamtvolumens}$$

untere Grenze:

$$V_{C14min} = V_{B2eut} + 1/3 \cdot (V_{C14max} - V_{B2eut})$$

$$\frac{V_{C14max} \cdot V_{mB2}}{2 \cdot V_{mC14} - V_{C14max} \cdot (2 \cdot V_{mC14} - 3 \cdot V_{mB2})} \cdot 100\% = X_{maxC} \quad \text{Gl. 3}$$

$$\frac{V_{C14min} \cdot V_{mB2}}{2 \cdot V_{mC14} - V_{C14min} \cdot (2 \cdot V_{mC14} - 3 \cdot V_{mB2})} \cdot 100\% = X_{minC} \quad \text{Gl. 4}$$

wobei für den Stoffmengenanteil der Komponente C (X_C) gilt:

$$X_{minC} < X_C < X_{maxC}$$

3. Gefüge nach Anspruch 1 oder hergestellt gemäß dem Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass es von den Metallen Aluminium, Nickel und Tantal (TaNiAl) oder Aluminium, Nickel und Niob (NbNiAl) gebildet wird.

4. Gefüge nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die sich zu 100 at% ergänzende atomare Zusammensetzung

Ta_{21,0-29,6}NiAl mit einem Verhältnis von Ni zu Al (Ni/Al) zwischen 0,66 und 1,1

oder

$\text{Nb}_{20-29,5}\text{NiAl}$ mit einem Verhältnis von Ni zu Al (Ni/Al) zwischen 0,66 und 0,75 beträgt.

5. Gefüge nach Anspruch 3 und 4, wobei die beiden Systeme TaNiAl und NbNiAl die folgende Zusammensetzung aufweisen,



$$Y = \frac{X_b}{X_a} \quad 0,66 < Y < 1,1$$

$$(0,255 - 0,0408 \cdot Y) \cdot 100\% < X_c < 29,6\%$$

$$X_a = \frac{100\% - X_c}{1 + Y}$$

$$X_b = 100\% - (X_a + X_c)$$



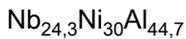
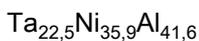
$$Y = \frac{X_b}{X_a} \quad 0,66 < Y < 0,75$$

$$(0,315 - 0,1525 \cdot Y) \cdot 100\% < X_c < 29,6\%$$

$$X_a = \frac{100\% - X_c}{1 + Y}$$

$$X_b = 100\% - (X_a + X_c)$$

6. Gefüge nach Anspruch 3, 4 und 5, wobei die beiden Systeme TaNiAl und NbNiAl die folgende Zusammensetzung aufweisen:



7. Verwendung des Gefüges nach einem der vorangegangenen Ansprüche als hochtemperaturbelastetes Bauteil einer Gasturbine.

8. Verwendung des Gefüges nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1, 3, 4, 5 und 6 als hochwärmefester Werkstoff für Gesenke zur Herstellung von Gegenständen, die eine hohe Festigkeit, eine hohe Warmfestigkeit erfordern.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

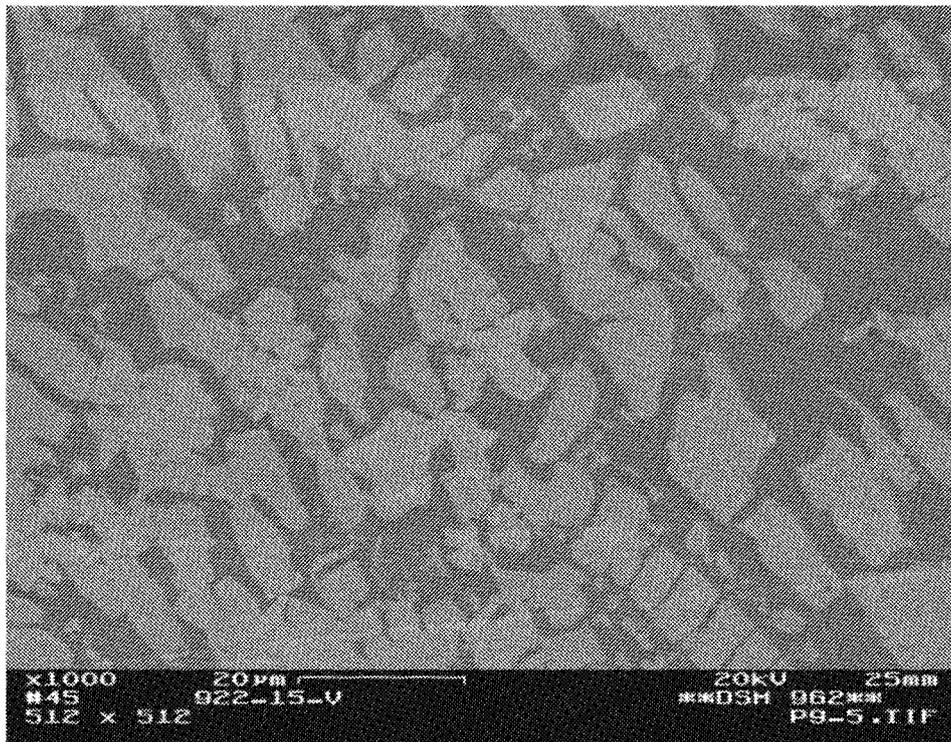


Abbildung 1

Ta Ni Al (Ni/Al = 0,66)

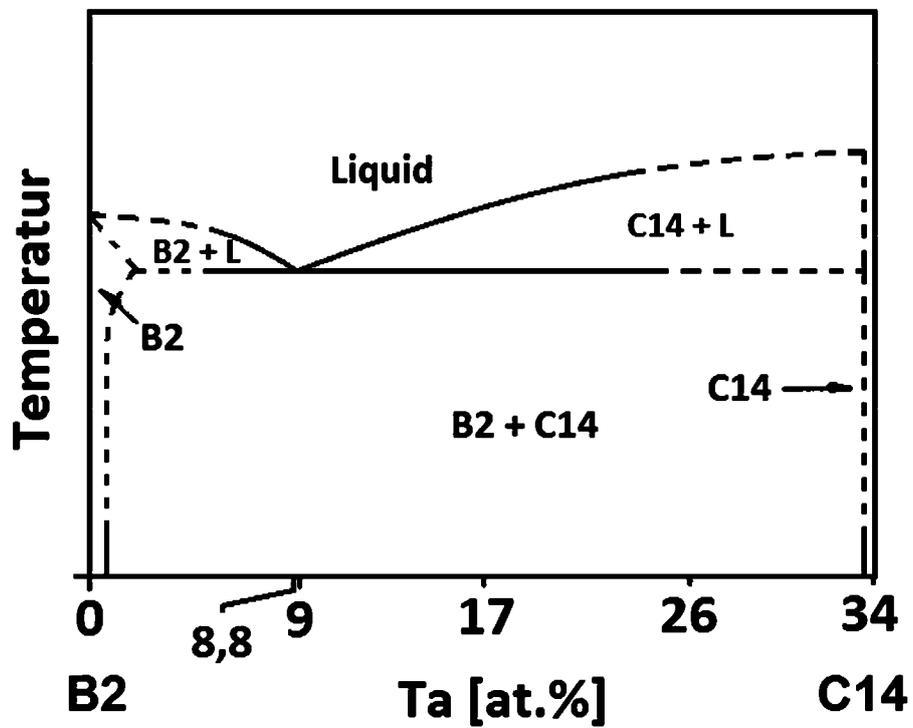
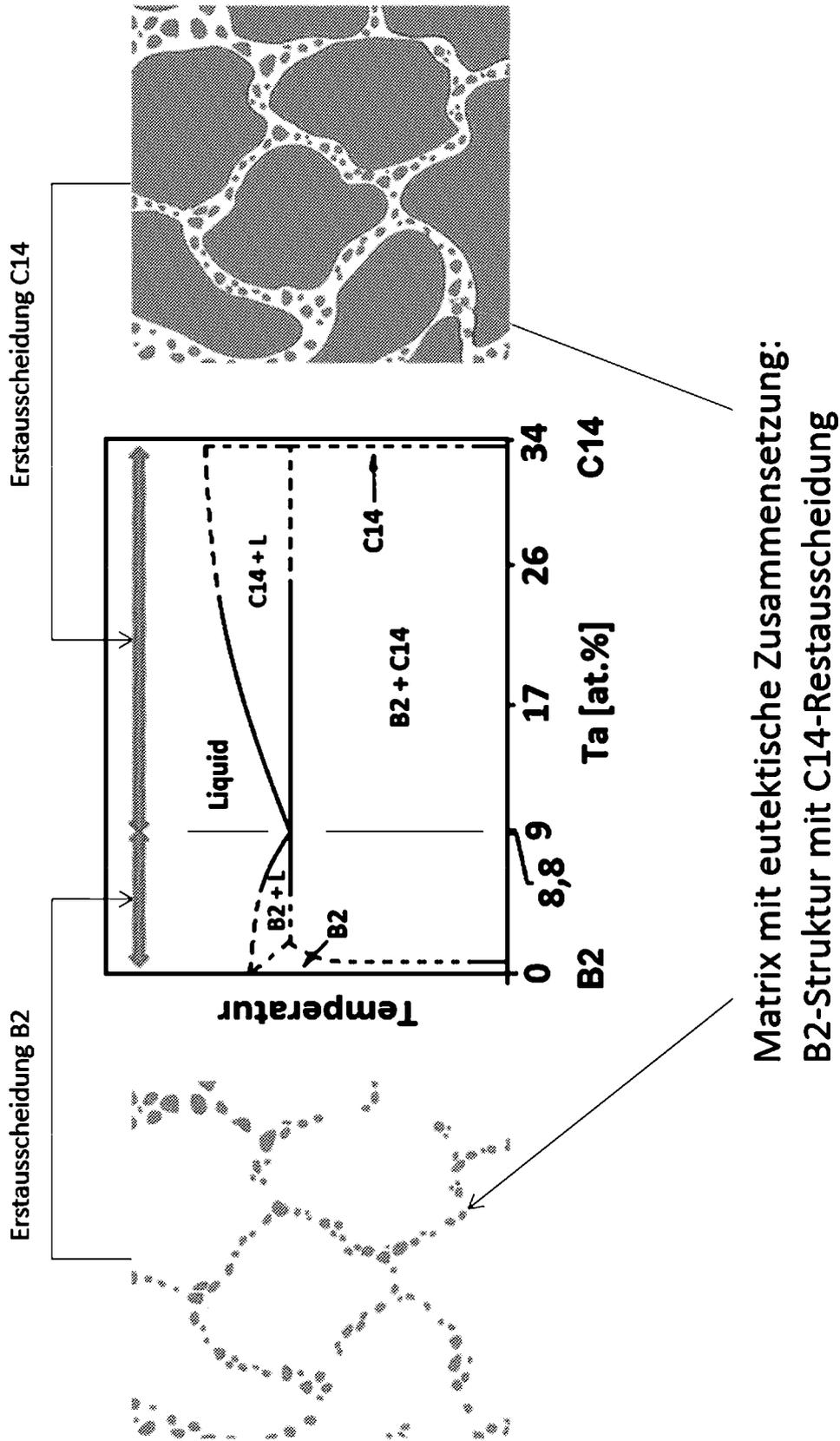


Abbildung 2



Matrix mit eutektische Zusammensetzung:
B2-Struktur mit C14-Restausscheidung

Abbildung 3

Ta Ni Al (Ni/Al = 1,1)

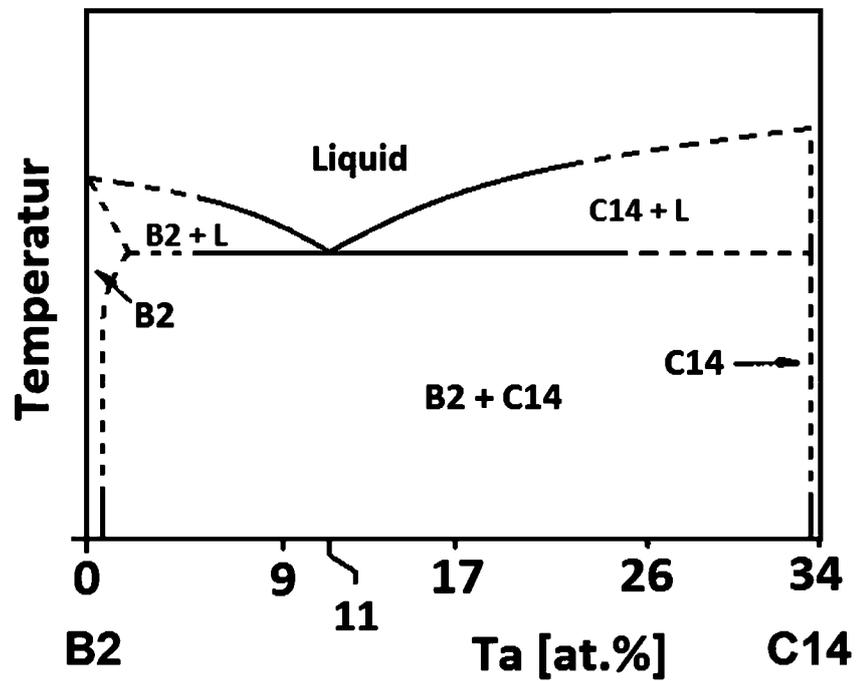


Abbildung 4

Ta Ni Al (Ni/Al = 0,85)

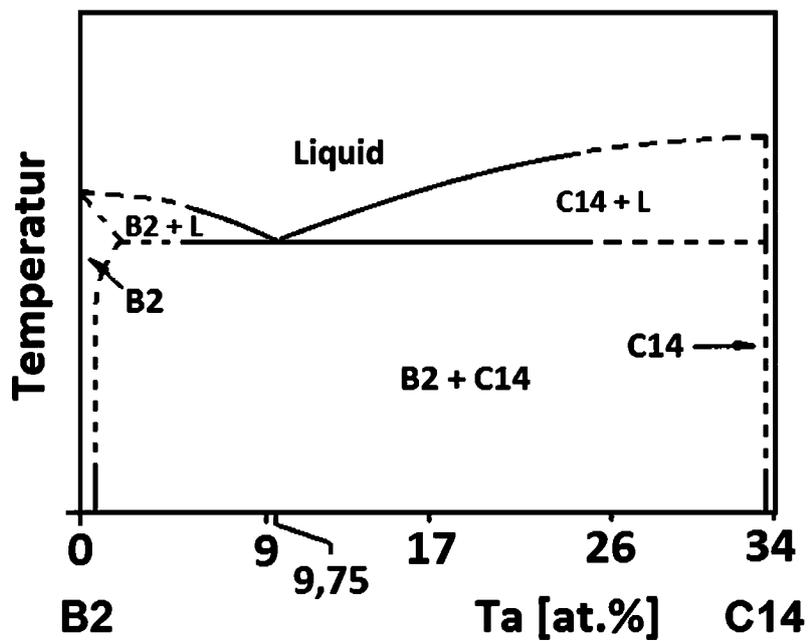


Abbildung 5

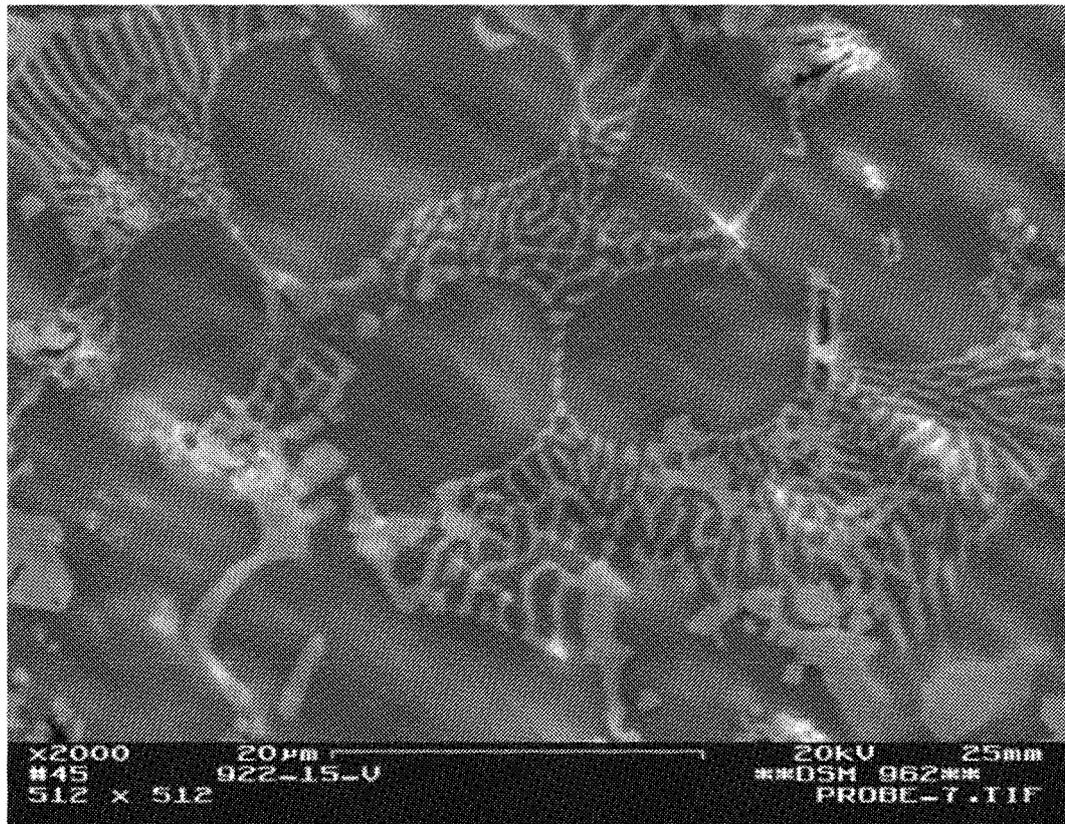


Abbildung 6

Ta Ni Al (Ni/Al = 1,2)

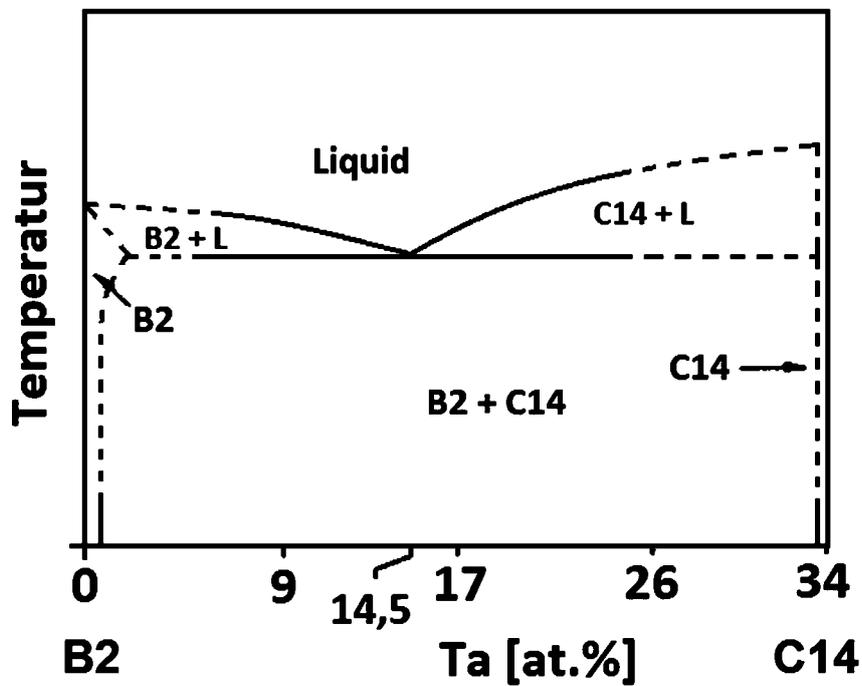


Abbildung 7

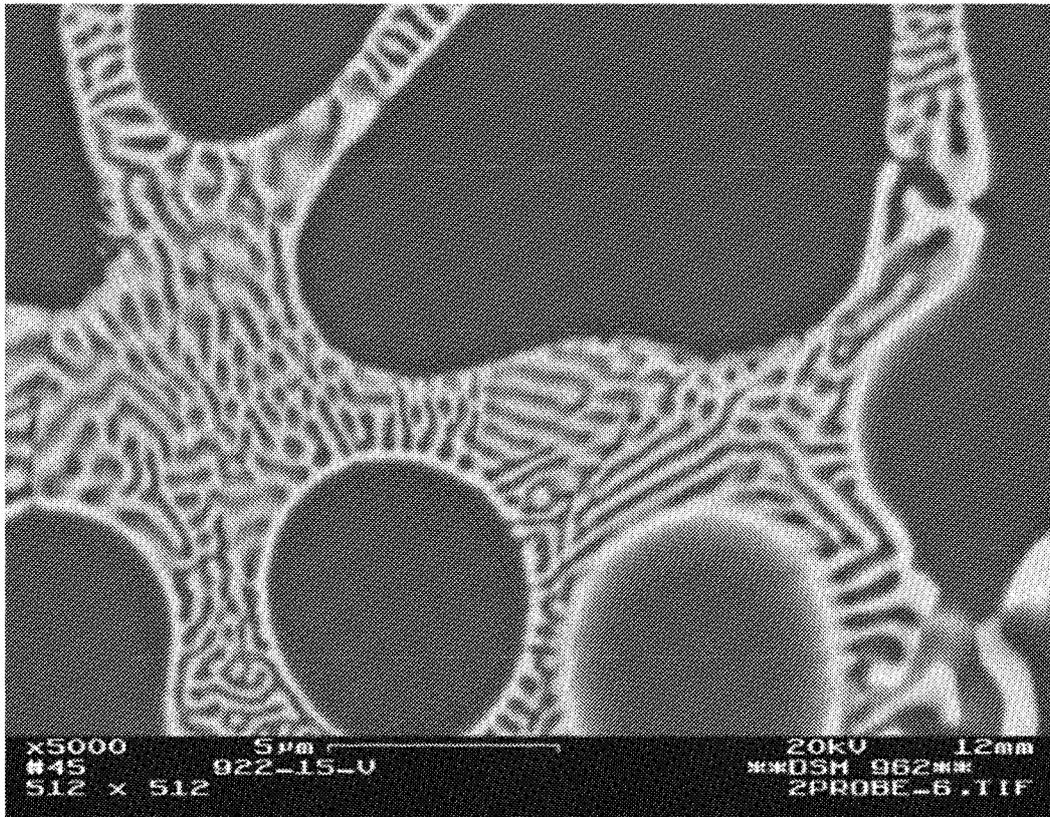


Abbildung 8

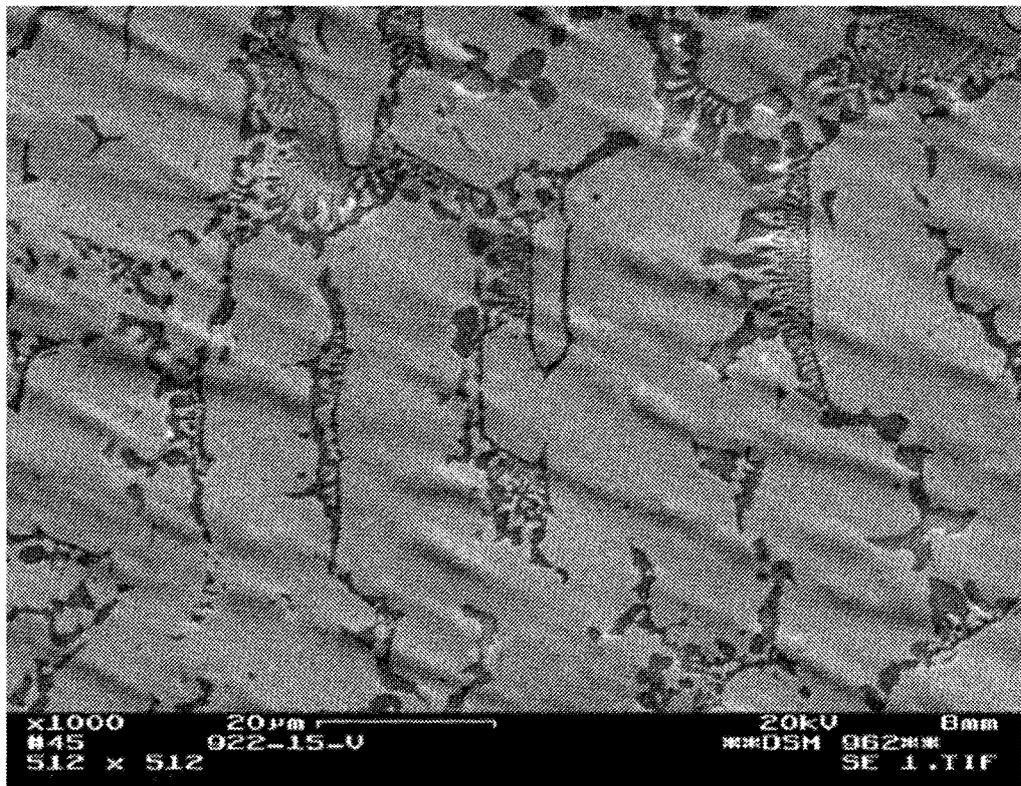


Abbildung 9

Nb Ni Al (Ni/Al = 0,66)

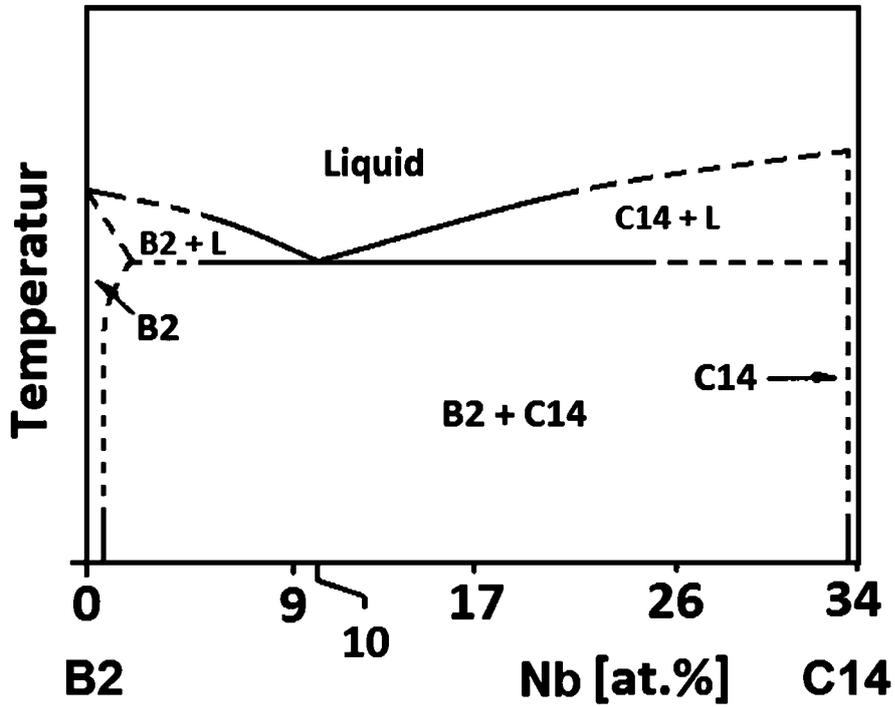


Abbildung 10

Nb Ni Al (Ni/Al = 0,75)

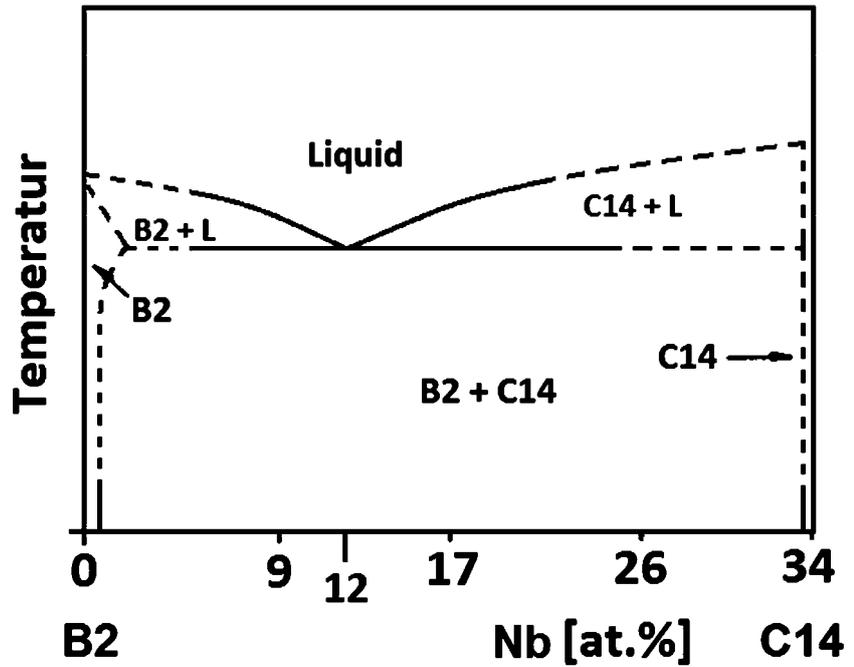


Abbildung 11

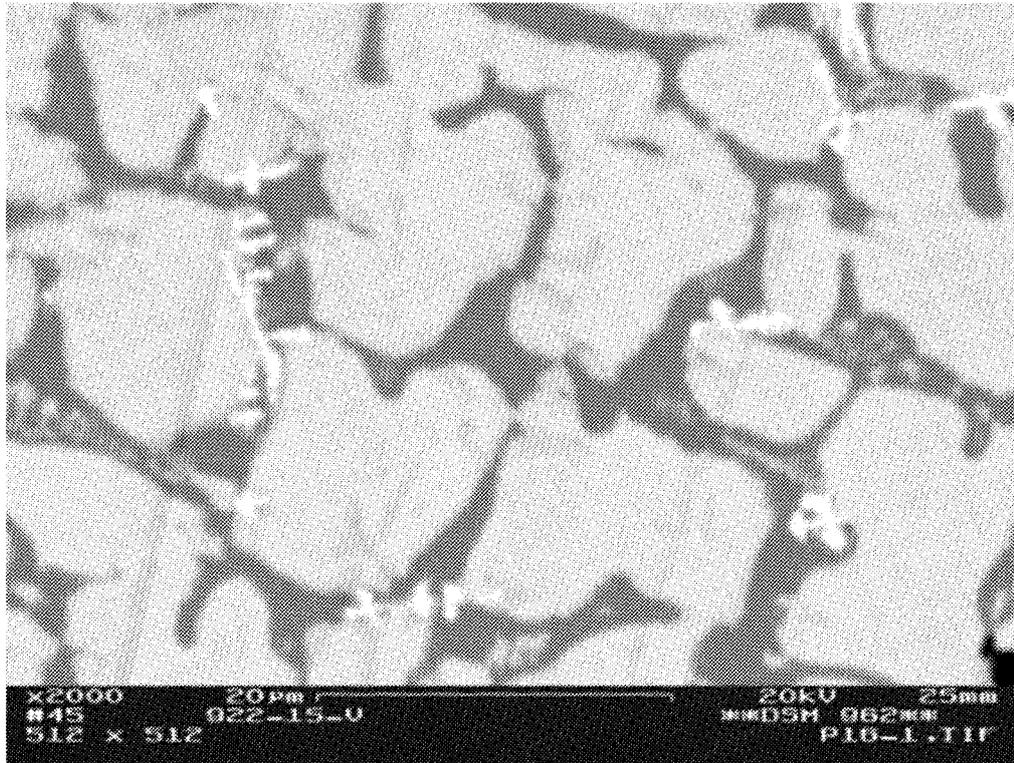


Abbildung 12

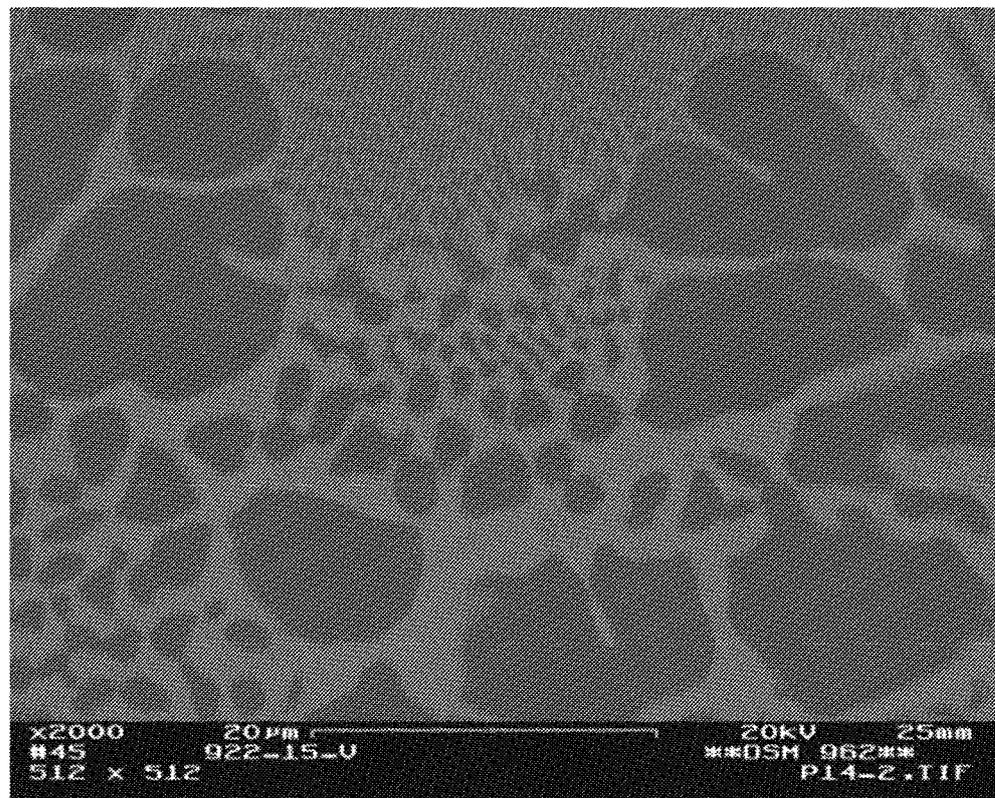


Abbildung 13

Nb Ni Al (Ni/Al = 1,12)

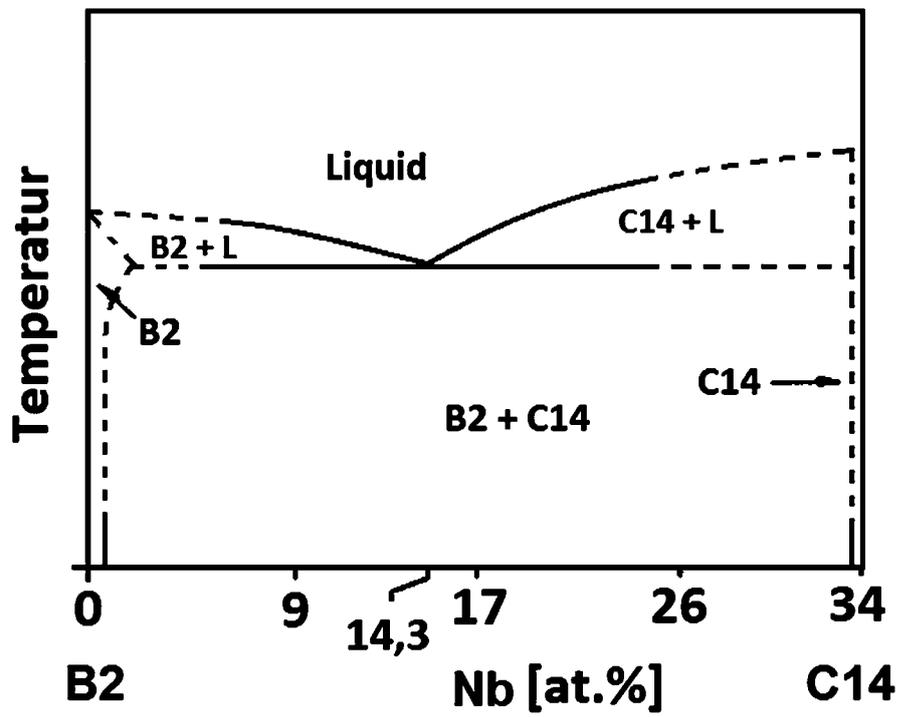


Abbildung 14

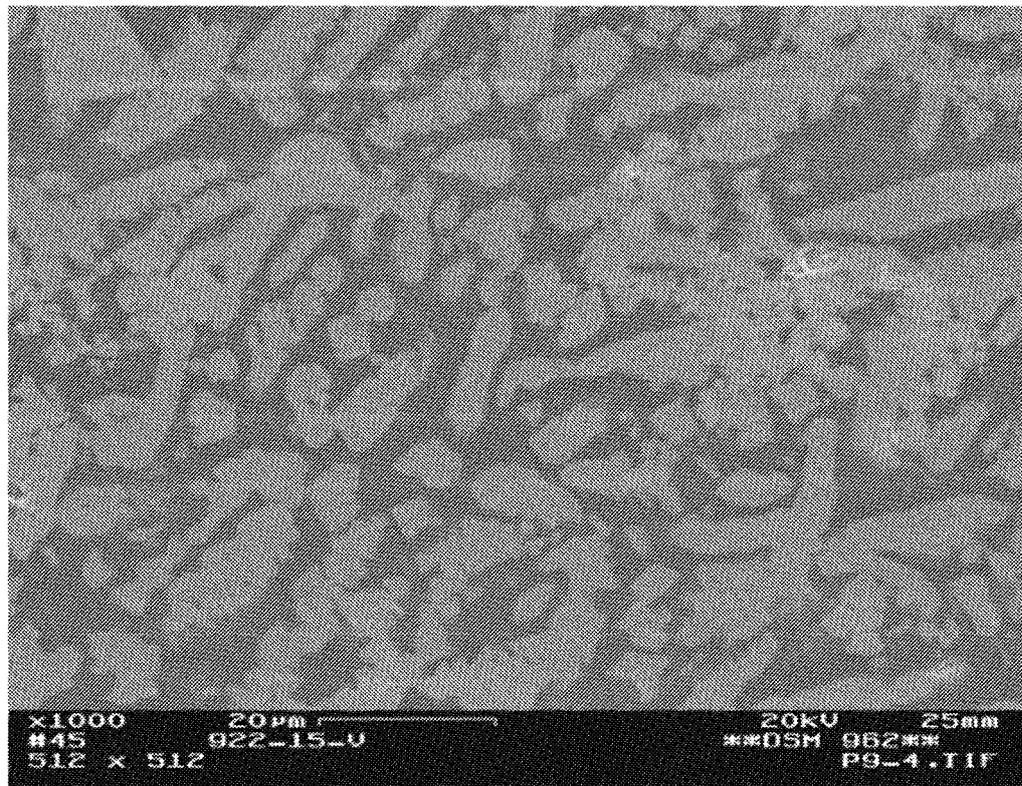


Abbildung 15