

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 802/2010
(22) Anmeldetag: 12.05.2010
(45) Veröffentlicht am: 15.04.2012

(51) Int. Cl. : **C22F 1/04** (2006.01)
C22C 1/02 (2006.01)
C22C 1/04 (2006.01)
C22C 14/00 (2006.01)
C22C 21/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2003/008655A2
DE 102007051499A1
EP 1127949A2 EP 0464366A1
US 5442847A1

(73) Patentinhaber:
BÖHLER SCHMIEDETECHNIK GMBH & CO
KG
A-8605 KAPFENBERG (AT)

(72) Erfinder:
CLEMENS HELMUT DR.
LEOBEN (AT)
WALLGRAM WILFRIED
LEOBEN (AT)
SCHLOFFER MARTIN DIPL.ING.
LEOBEN (AT)

(54) VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES BAUTEILES UND BAUTEILE AUS EINER TITAN-ALUMINIUM-BASISLEGIERUNG

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteiles aus einer Ti-Al-Basislegierung sowie ein thermisch vergütetes Bauteil aus dieser. Um homogene, mechanische Eigenschaften, insb. hohe Duktilität und Kriechbeständigkeit bei hoher Festigkeit eines Werkstoffes insb. bei hohen Temperaturen zu erreichen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, in einem ersten Schritt das Vormaterial einer HIP-Behandlung auszusetzen und in einem zweiten Schritt das Rohteil einer Schnell-Massivumformung zu unterwerfen, wonach in einem dritten Schritt durch Glühung im Bereich der eutektoiden Temperatur (T_{eu}) der Legierung eine Feinkornausbildung mit den Phasen GAMMA, BETA0, ALPHA2 erfolgt und das Bauteil mit endabmessungsnahen Dimensionen wahlweise in einem nachfolgenden Schritt Folgeglühungen und/oder Stabilisierungsglühungen zur Einstellung des Gefüges und der mechanischen Werkstoffeigenschaften unterworfen werden kann.



Fig. 5

Beschreibung

VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES BAUTEILES UND BAUTEILE AUS EINER TITAN-ALUMINIUM-BASISLEGIERUNG

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteiles aus einer Titan-Aluminium-Basislegierung.

[0002] Weiters bezieht sich die Erfindung auf ein Bauteil aus einer Titan-Aluminium-Basislegierung, hergestellt mit endabmessungsnahen Dimensionen.

[0003] Titan-Aluminium-Basislegierungen weisen im Allgemeinen eine hohe Festigkeit, eine geringe Dichte und eine gute Korrosionsbeständigkeit auf und werden bevorzugt als Bauteile in Gasturbinen und Flugtriebwerken eingesetzt.

[0004] Für obige Anwendungsgebiete sind insbesondere Legierungen mit einer Zusammensetzung von: Aluminium 40 At.-% bis 50 At.-%, Niob 3 At.-% bis 10 At.-%, Molybdän bis 4 At.-% sowie optional die Elemente Mangan, Bor, Silicium, Kohlenstoff, Sauerstoff und Stickstoff in geringen Konzentrationen sowie Titan als Rest von Interesse.

[0005] Diese Legierungen erstarren vorzugsweise vollständig über den β -Mischkristall und durchlaufen bei einer nachfolgenden Abkühlung eine Reihe von Phasenumwandlungen. Ein Prinzipschaubild (Fig. 1) zeigt Gefügebildungen in Abhängigkeit von der Temperatur und der Aluminiumkonzentration mit vom Fachmann verwendeten Temperaturbereichsangaben.

[0006] Hergestellt können die Bauteile werden durch Gießen eines Blockes oder pulvermetallurgisch durch Heiß-Isostatisches-Pressen (HIPen) von legiertem Metallpulver sowie durch Gießen eines Blockes und gegebenenfalls HIPen desselben mit anschließendem Strangpressen und jeweils mit einem nachfolgenden Schmieden des Blockes oder Zwischenproduktes zu einem Bauteil, welches in der Folge Wärmebehandlungen unterworfen wird.

[0007] Titan-Aluminium-Werkstoffe haben für eine Warmformgebung nur ein schmales Temperaturfenster, welches zwar durch die Legierungselemente Niob und Molybdän erweitert werden kann, trotzdem ergeben sich Limitierungen bezüglich der Verformung bzw. Schmiedung der Teile. Es ist bekannt, durch langsames, isothermes Verformen, dem Fachmann geläufig als Isothermschmieden, ein Bauteil zumindest teilweise durch spanlose Formgebung herzustellen, allerdings ist dies mit hohem Aufwand verbunden.

[0008] Allenfalls wird ein nach obigen Technologien hergestelltes Bauteil zumeist keine homogene Gefügestruktur aufweisen, weil einerseits ein geringes und ungleiches Rekristallisationspotential des langsam isotherm verformten Werkstoffes gegeben ist, und/oder andererseits die einen hohen Zeitaufwand fordernde Diffusion der Atome der Elemente Niob und/oder Molybdän, die für eine Verformbarkeit eines Werkstoffes wichtig sind, sich nach der Umformstruktur ausrichten und derart das Gefüge nachteilig beeinflussen können.

[0009] Eine Homogenisierung der Gefügebildung und damit ein Erreichen isotroper, mechanischer Eigenschaften des Werkstoffes durch zeitaufwändige Glühbehandlungen ist zwar grundsätzlich möglich, erfordert allerdings einen hohen Aufwand.

[0010] Für die industrielle Praxis sind Bauteile aus einer Titan-Aluminium-Basislegierung erforderlich, welche richtungsunabhängig homogene, mechanische Eigenschaften aufweisen, wobei die Duktilität, Festigkeit und Kriechbeständigkeit des Werkstoffes auch bei hohen Einsatztemperaturen ausgewogen auf hohem Niveau vorliegen.

[0011] Ausgehend vom Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit welchem ein Bauteil mit homogener, feiner und gleichmäßiger Gefügestruktur herstellbar ist, welches Bauteil in ausgewogener Form eine Duktilität, Festigkeit und Kriechbeständigkeit des Werkstoffes in allen Richtungen im Wesentlichen gleich auf gewünschtem, hohem Niveau aufweist und mit endabmessungsnahen Dimensionen wirtschaftlich herstellbar ist.

[0012] Die Erfindung zielt weiters auf ein Bauteil ab, welches bei einer gezielten Phasenausformung des Gefüges gewünschte, mechanische Eigenschaften, insbesondere der Dehngrenze $R_{p0.2}$ und Festigkeit R_m sowie Gesamtdehnung A_t im Zugversuch bei Raumtemperatur und bei einer Temperatur von 700°C, aufweist.

[0013] Die Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, bei welchem in einem ersten Schritt ein schmelz- oder pulvermetallurgisch gefertigtes Vormaterial mit einer chemischen Zusammensetzung von in At.-%:

Aluminium (Al)	41	bis	48
wahlweise			
Niob(Nb)	3.5	bis	9
Molybdän (Mo)	0.1	bis	3.0
Mangan (Mn)		bis	2.4
Bor(B)		bis	1.0
Silicium (Si)		bis	1.0
Kohlenstoff (C)		bis	1.0
Sauerstoff (O)		bis	0.5
Stickstoff (N)		bis	0.5

[0014] Titan und Verunreinigungen als Rest,

[0015] hergestellt und dieses Vormaterial bei einer Druckerhöhung auf mindestens 150 MPa bei einer Temperatur von mindestens 1000°C nach einer Durchwärmung während einer Zeitdauer von mindestens 60 min isostatisch zu einem Rohteil gepresst wird, wonach in einem zweiten Schritt das HIP-Rohteil einer Warmformgebung durch eine Schnell-Massivumformung mit einer Geschwindigkeit von größer 0.4 mm/sec und einer Umformung durch Stauchen gemessen als lokale Dehnung ϕ von größer 0.3, wobei ϕ wie folgt definiert ist:

$$\phi = \ln(h_f/h_0) \quad \begin{array}{l} h_f = \text{Höhe des Werkstückes nach dem Stauchen} \\ h_0 = \text{Höhe des Werkstückes vor dem Stauchen} \end{array}$$

[0016] oder einem anderen Umformverfahren mit gleich hoher Mindestverformung, insbesondere durch Schmieden bei einer Temperatur im Bereich von 1000 bis 1350°C unter Ausformung eines Bauteiles mit einer nachfolgenden Abkühlung desselben, wobei die Zeitspanne bis zum Erreichen einer Temperatur von 700°C höchstens 10 min beträgt, unterworfen wird, wobei ein Gefüge, welches nur in geringen Teilbereichen dynamisch erholt oder rekristallisiert sein kann, im Wesentlichen jedoch ein Verformungsgefüge mit hohem Rekristallisationsenergiepotential aufweist, gebildet wird, wonach das Bauteil für ein Einstellen gewünschter Werkstoffeigenschaften in einem dritten Schritt einer Wärmebehandlung unterworfen wird, bei welcher im Bereich der eutektoiden Temperatur der Legierung, insbesondere von 1010 bis 1180°C in einer Zeitspanne von 30 bis 1000 min aus dem Verformungsgefüge, aufgrund der gespeicherten Verformungsenergie und der Triebkraft, welche aus dem chemischen Phasenungleichgewicht nach dem Verformen und Abkühlen besteht, eine homogene, feinglobulare Mikrostruktur, bestehend aus den bei Raumtemperatur eine geordnete Atomstruktur aufweisenden Phasen:

GAMMA, BETA₀, ALPHA₂ ($\gamma, \beta_0, \alpha_2$)

mit einer Ausformung:

ALPHA₂: globular mit einer Korngröße von 1 bis 50 μm mit einem Volumsanteil von 1 bis 50% die vereinzelte, gröbere γ -Lamellen mit einer Dicke von > 100 nm enthalten können

BETA₀: globular die α_2 -Phase umgebend, mit einer Korngröße von 1 bis 25 μm mit einem Volumsanteil von 1 bis 50%

GAMMA: globular die α_2 -Phase umgebend, mit einer Korngröße von 1 bis 25 μm mit einem Volumsanteil von 1 bis 60%

[0017] gebildet werden, und wahlweise in einem nachgeordneten Schritt mindestens eine weitere Wärmebehandlung, insbesondere Folgeglühung und/oder Stabilisierungsglühung des Bauteiles, erfolgt (erfolgen).

[0018] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird eine Vielzahl von technischen und wirtschaftlichen Vorteilen erreicht.

[0019] Im ersten Schritt des Verfahrens erfordert ein schmelz- oder pulvermetallurgisch hergestelltes Vormaterial lediglich eine Kompaktierung durch heißisostatisches Pressen desselben, wonach das Rohteil in einem zweiten Schritt bei einer gegenüber einem Isothermschmieden erhöhten Temperatur und, wie gefunden wurde, bei einem vorteilhaft verbesserten Warmumformvermögen des Materials einer Schnell-Massivumformung mit einer Geschwindigkeit von größer 0.4 mm/sec und einem Stauchgrad ϕ von größer 0.3 unterzogen wird. Diese Schnell-Massivumformung des Rohteiles kann, für den Fachmann überraschend, bei erhöhter Temperatur mit hoher Umformgeschwindigkeit erfolgen, wobei erfindungsgemäß eine hohe Mindestverformung und eine nachfolgende Abkühlung mit hoher Kühlrate für eine Ausbildung eines hohen, vorerst eingefrorenen Rekristallisierungspotentials im Gefüge erforderlich sind.

[0020] Dieses Rekristallisationspotential bzw. diese gespeicherte aus der Schnell-Verformung resultierende Energie, welches bzw. welche auch aus der Triebkraft aus dem chemischen Phasenungleichgewicht gebildet ist, bewirkt in einem dritten Schritt bei einer Glühung des Werkstoffes im Bereich der eutektoiden Temperatur der Legierung eine Umwandlung in eine äußerst feinglobulare Mikrostruktur aus den Phasen GAMMA, BETA₀, ALPHA₂ mit bei Raumtemperatur geordneter Atomstruktur mit bestimmten Phasenanteilen, welche Gefügestruktur als günstige Feinkorn-Ausgangsstruktur für eine nachfolgende, durch Wärmebehandlung(en) erreichbare, im Hinblick auf gewünschte Eigenschaften des Werkstoffes vorgesehene Gefügeausformung dient.

[0021] Es kann nach der Erfindung von Vorteil sein, wenn das Vormaterial eine chemische Zusammensetzung von in At.-%:

Al	42	bis	44.5
wahlweise			
Nb	3.5	bis	4.5
Mo	0.5	bis	1.5
Mn		bis	2.2
B	0.05	bis	0.2
Si	0.001	bis	0.01
C	0.001	bis	1.0
O	0.001	bis	0.1
N	0.0001	bis	0.02

[0022] Titan und Verunreinigungen als Rest aufweist.

[0023] Eine derartige, in den Konzentrationen der Elemente eingeschränkte, chemische Zusammensetzung des Werkstoffes kann ein durch die Verfahrensparameter erreichtes, günstiges Verhalten bezüglich der Gefügeum- und -ausbildung intensivieren.

[0024] In einem dritten Schritt der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das Bauteil mit eingenger, chemischer Zusammensetzung einer Wärmebehandlung unterworfen wird, welche mit einer Zeitspanne von 30 min bis 600 min im Bereich der eutektoiden Temperatur der Legierung, insbesondere von 1040°C bis 1170°C erfolgt, wobei aus dem Verformungsgefüge eine homo-

gene, feinglobulare Mikrostruktur, bestehend aus den bei Raumtemperatur eine geordnete Atomstruktur aufweisenden Phasen:

GAMMA, BETA₀, ALPHA₂ (γ , β_0 , α_2)

mit einer Ausformung:

ALPHA₂: globular mit einer Korngröße von 1 μm bis 10 μm mit einem Volumsanteil von 10% bis 35% die vereinzelt, größere γ -Lamellen mit einer Dicke von > 100 nm enthalten können

BETA₀: globular die α_2 -Phase umgebend, mit einer Korngröße von 1 μm bis 10 μm mit einem Volumsanteil von 15% bis 45%

GAMMA: globular die α_2 -Phase umgebend, mit einer Korngröße von 1 μm bis 10 μm mit einem Volumsanteil von 15% bis 60%

[0025] gebildet wird, und wahlweise in einem nachgeordneten Schritt mindestens eine weitere Wärmebehandlung, insbesondere Folgeglühung und/oder Stabilisierungsglühung des Bauteiles, erfolgt (erfolgt).

[0026] Die Feinkornausbildung im Werkstoff, geschaffen nach obigem Verfahren, bewirkt zwar bei isotroper Gefügemorphologie eine erhöhte Festigkeit in engeren Grenzen, wobei jedoch die Zähigkeit und die Kriechbeständigkeit des Materials für bestimmte Anwendungsgebiete als nicht ausreichend erachtet werden können. Diese Feinkornstruktur bildet jedoch allenfalls eine Voraussetzung für den Erhalt eines weitgehend feinen, homogenen Gefüges bei weiteren Glühbehandlungen zur Einstellung gewünschter, mechanischer Eigenschaften des Bauteiles.

[0027] Um insbesondere die Hochtemperatureigenschaften des Werkstoffes betreffend eine Verbesserung der Duktilität bzw. eine Erhöhung der Zähigkeit und einer Erhöhung der Kriechbeständigkeit zu erreichen, ist gemäß der Erfindung vorgesehen, das Bauteil mit einer im dritten Schritt geschaffenen Feinkornstruktur zur Einstellung von optimierten Hochtemperaturwerkstoffeigenschaften mindestens einer Folgeglühung zu unterwerfen, welche Folgeglühung im Bereich nahe der Alpha-Transus-Temperatur (T_α) der Legierung im Dreiphasenraum (Alpha, Beta, Gamma) während einer Zeitdauer von mindestens 30 min bis 6000 min erfolgt, wonach das Teil in einer Zeitspanne von weniger als 10 min auf eine Temperatur von 700°C und anschließend weiter, vorzugsweise an Luft, abgekühlt wird und derart eine Phasenausformung:

ALPHA₂: globular übersättigt, gegebenenfalls gering feine γ -Lamellen enthaltend, mit einer Korngröße von 5 μm bis 100 μm mit einem Volumsanteil von 25% bis 98%

BETA₀: globular, mit einer Korngröße von 1 μm bis 25 μm mit einem Volumsanteil von 1% bis 25%

GAMMA: globular, mit einer Korngröße von 1 μm bis 25 μm mit einem Volumsanteil von 1% bis 50%

[0028] gebildet wird.

[0029] Insbesondere die übersättigten ALPHA₂-Körner und eine zwar feine, jedoch nicht optimierte Gefügeausformung ergeben bei hohen Festigkeitswerten eine niedrige Materialduktilität und Zähigkeit. Durch eine eingeeengte, chemische Zusammensetzung sind verbesserte, mechanische Werkstoffeigenschaften erreichbar, jedoch ist das Eigenschaftsprofil nur auf bestimmte Verwendungszwecke ausgerichtet.

[0030] Eine eingeeengte, chemische Zusammensetzung des Werkstoffes, wie vorstehend angegeben, kann zwar für ein Erreichen von günstigen Anteilen der Gefügebestandteile mit engeren Abmessungen und engeren Gehaltsgrenzen genutzt werden, wobei sich die daraus ergebenden Vorteile in einer gewissen Präzisierung der mechanischen Eigenschaftswerte niederschlagen; im Wesentlichen werden damit jedoch in höchst vorteilhafter Weise die Voraussetzungen für eine Optimierung des Hochtemperaturverhaltens eines Bauteiles aus einer Titan-Aluminium-Basislegierung erstellt.

[0031] Eine Wahl der Glühzeit bei einer Folgeglühung nahe der Alpha-Transus-Temperatur (T_α) kann im Hinblick auf eine Einstellung von gewünschten Phasenmengen und der Korngrößen erfolgen. Beispielsweise wird die β -Phase mit zunehmender Glühdauer generell reduziert.

[0032] Nach einer thermischen Behandlung im Alpha-Transus-Gebiet und einer forcierten Abkühlung weisen die Gefügephasen im Wesentlichen eine ungeordnete Atomstruktur auf.

[0033] Wenn beim Herstellungsverfahren das Bauteil nach einer Folgeglühung mindestens einer Stabilisierungsglühung unterworfen wird, welche in einem Temperaturbereich von 700°C bis 1000°C, allenfalls oberhalb der Anwendungstemperatur des Bauteiles mit einer Dauer von 60 min bis 1000 min und einer anschließenden Langsam- bzw. Ofenabkühlung mit einer Geschwindigkeit von weniger als 5°C/min, vorzugsweise von weniger als 1°C/min, zur Einstellung bzw. Ausformung der Gefügebestandteile:

ALPHA₂ / GAMMA: Lamellarkorn mit einer Korngröße von 5 µm bis 100 µm mit einem Volumsanteil von 25% bis 98% mit einer (α_2/γ) Lamellen-Feinstruktur vorzugsweise mit einem mittleren Lamellenabstand von 10 nm bis 1 µm

BETA₀: globular, mit einer Korngröße von 1 µm bis 25 µm mit einem Volumsanteil von 1% bis 25%

GAMMA: globular, mit einer Korngröße von 1 µm bis 25 µm mit einem Volumsanteil von 1% bis 50%

[0034] erfolgt, können Gefügeausformungen mit wesentlich verbesserten mechanischen Hochtemperatureigenschaften des Werkstoffes erreicht werden.

[0035] Mittels einer Stabilisierungsglühung mit einer Langsamabkühlung, in welcher eine ausreichende Atomdiffusion erhalten bleibt, erfolgt eine Umwandlung der übersättigten ALPHA₂-Körner in eine lamellare ALPHA₂ / GAMMA-Struktur ohne wesentliche Änderung der Korngröße. Eine Lamellenstruktur in den ehemals übersättigten Gefügekörnern verbessert im hohen Maße die Kriechbeständigkeit des Werkstoffes bei hohen Belastungen im Temperaturbereich um 700°C.

[0036] Das weitere Ziel der Erfindung wird mit einem endabmessungsnahe Dimensionen aufweisenden Bauteil aus einer Titan-Aluminium-Basislegierung mit einer chemischen Zusammensetzung gemäß Anspruch 1 oder 2, hergestellt mit einem Gefüge des Werkstoffes, bestehend aus den bei Raumtemperatur eine geordnete Atomstruktur aufweisenden Phasen:

GAMMA, BETA₀, ALPHA₂ ($\gamma, \beta_0, \alpha_2$)

[0037] mit einer Ausformung:

ALPHA₂: globular übersättigt mit einer Korngröße von 1 µm bis 50 µm mit einem Volumsanteil von 1% bis 50%, die vereinzelte, gröbere γ -Lamellen mit einer Dicke von > 100 nm enthalten können

BETA₀: globular die α_2 -Phase umgebend, mit einer Korngröße von 1 µm bis 25 µm mit einem Volumsanteil von 1% bis 50%

GAMMA: globular die α_2 -Phase umgebend, mit einer Korngröße von 1 µm bis 25 µm mit einem Volumsanteil von 1% bis 60%

[0038] erreicht, vorzugsweise eingestellt mit einem Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 3, wobei das Material folgende, mechanische Eigenschaften im Bereich von:

[0039] • Festigkeit und Bruchdehnung bei Raumtemperatur:

- o $R_{p0.2}$: 650 bis 910 MPa
- o R_m : 680 bis 1010 MPa
- o A_t : 0.5% bis 3%

[0040] • Festigkeit und Bruchdehnung bei 700°C:

- o $R_{p0.2}$: 520 bis 690 MPa
- o R_m : 620 bis 970 MPa
- o A_t : 1% bis 3.5%

[0041] aufweist.

[0042] Dieses mit hoher Wirtschaftlichkeit der Herstellung geschaffene Bauteil hat eine feine, globulare, homogene Gefügestruktur mit in allen Richtungen gleichem Eigenschaftsprofil des Werkstoffes, welches für eine Vielzahl von Anwendungszwecken vorteilhaft einsetzbar ist.

[0043] Um eine Verbesserung der mechanischen Materialeigenschaften, insbesondere eine Erhöhung der Kriechbeständigkeit, zu erreichen, ist es von Vorteil, wenn das Bauteil mit einem Gefüge des Werkstoffes aus:

ALPHA₂: globular übersättigt, gegebenenfalls gering feine γ -Lamellen enthaltend, mit einer Korngröße von 5 μm bis 80 μm mit einem Volumsanteil von 50% bis 95%

BETA₀: globular, mit einer Korngröße von 1 μm bis 20 μm mit einem Volumsanteil von 1% bis 25%

GAMMA: globular, mit einer Korngröße von 1 μm bis 20 μm mit einem Volumsanteil von 1% bis 28%

[0044] vorzugsweise eingestellt nach einem Verfahren gemäß Anspruch 4 oder 5 gebildet ist, wobei das Material folgende, mechanische Eigenschaften im Bereich von:

[0045] • Festigkeit und Bruchdehnung (nach ASTM E8M, EN 2002-1) bei Raumtemperatur:

- o $R_{p0.2}$: 650 bis 940 MPa
- o R_m : 730 bis 1050 MPa
- o A_t : 0.2% bis 2%

[0046] • Festigkeit und Bruchdehnung bei 700°C:

- o $R_{p0.2}$: 430 bis 620 MPa
- o R_m : 590 bis 940 MPa
- o A_t : 1% bis 2.5%

[0047] aufweist.

[0048] Ein besonderer Vorteil im Hinblick auf eine Duktilität, Festigkeit und Kriechbeständigkeit des Werkstoffes in allen Richtungen in gleichem Maße auf einem hohen Niveau wird erreicht, wenn das Bauteil mit einem Gefüge des Werkstoffes, bestehend aus den Bestandteilen mit einer Ausformung:

ALPHA₂ / GAMMA: Lamellarkorn mit einer Korngröße von 5 μm bis 100 μm mit einem Volumsanteil von 25% bis 98% mit einer (α_2/γ) Lamellen-Feinstruktur vorzugsweise mit einem mittleren Lamellenabstand von 10 nm bis 1 nm

BETA₀: globular, mit einer Korngröße von 0.5 μm bis 25 μm mit einem Volumsanteil von 1% bis 25%

GAMMA: globular, mit einer Korngröße von 0.5 μm bis 25 μm mit einem Volumsanteil von 1% bis 50%

[0049] vorzugsweise eingestellt nach einem Verfahren gemäß Anspruch 6 oder 7 gebildet ist, wobei das Material folgende, mechanische Eigenschaften im Bereich von:

[0050] • Festigkeit und Bruchdehnung (nach ASTM E8M, EN 2002-1) bei Raumtemperatur:

- o $R_{p0.2}$: 710 bis 1020 MPa
- o R_m : 800 bis 1250 MPa

o A_t : 0.8% bis 4%

[0051] • Festigkeit und Bruchdehnung bei 700°C:

o $R_{p0.2}$: 540 bis 760 MPa

o R_m : 630 bis 1140 MPa

o A_t : 1% bis 4.5%

[0052] aufweist.

[0053] Im Folgenden soll die Erfindung anhand lediglich eine Legierungszusammensetzung umfassenden Bildern näher erläutert werden.

[0054] Es zeigen:

[0055] Fig. 1 Gefügeausbildung in Abhängigkeit von der Temperatur und der Aluminiumkonzentration mit vom Fachmann verwendeten Temperaturbereichsangaben (Prinzipschaubild)

[0056] Fig. 2 Gefüge der Ti-Al-Basislegierung nach einer Massivumformung und anschließender Abkühlung

[0057] Fig. 3 Gefüge der Legierung nach einer Glühung im Bereich der eutektoiden Temperatur (T_{eu}) und Abkühlung

[0058] Fig. 4 Gefüge der Legierung nach einer Glühung bei Alpha-Transus-Temperatur (T_α)

[0059] Fig. 5 Gefüge der Legierung nach einer Stabilisierungsglühung

[0060] In Fig. 1 sind schematisch die Gefügeausformungen von Titan-Aluminium-Basislegierungen in Abhängigkeit von der Temperatur und der Aluminiumkonzentration dargestellt. Weiters sind die vom Fachmann verwendeten Temperaturangaben ersichtlich.

[0061] Die in den Fig. 2 bis Fig. 5 dargestellten Gefügeausformungen stammen aus einer Versuchsreihe mit einer Legierung Ti, 43.2 At.-% Al, 4 At.-% Nb, 1 At.-% Mo, 0.1 At.-%B.

[0062] Diese Legierung hat eine eutektoiden Temperatur von T_{eu} 1165°C $\pm$ 7°C und eine Alpha-Transus-Temperatur T_α = 1243°C $\pm$ 7°C, welche Temperaturen mit der Differentialthermoanalyse bestimmt wurden.

[0063] Die Gefügebilder wurden mit einer 200-fachen Vergrößerung am Rasterelektronenmikroskop im Elektronenrückstreukontrast aufgenommen.

[0064] Fig. 2 zeigt das Gefüge des Werkstoffes nach einer Verformung in einem Gesenk mit einem Umformgrad von ϕ = 0.7 mit einer Umformgeschwindigkeit von 1.0 mm/sec und einer Abkühlung an Luft. Infolge der Massivumformung weist nach Abkühlung des Teiles dieses eine typische gerichtete Verformungstextur auf und zeigt als Bestandteile gerichtete GAMMA-BETA₀-ALPHA₂-Körner.

[0065] Fig. 3 zeigt das Gefüge des verformten Teiles nach einer Wärmebehandlung im Bereich der eutektoiden Temperatur (T_{eu}) im vorliegenden Fall bei 1150°C, gefolgt von einer Abkühlung.

[0066] Das Gefüge bestand aus globularen ALPHA₂-Körnern mit einer Korngröße (gemessen als Durchmesser des kleinsten umschreibenden Kreises) von 3.2 μ m $\pm$ 1.9 μ m mit einem Volumsanteil von ca. 25% aus globularen BETA₀-Körnern mit einer Korngröße von 3.7 μ m $\pm$ 2.1 μ m mit einem Volumsanteil von ca. 26% und aus globularen GAMMA-Körnern mit einer Korngröße von 5.7 μ m $\pm$ 2.4 μ m mit einem Volumsanteil von 49%.

[0067] In Fig. 4 ist das Gefüge des verformten und nachfolgend bei 1150°C geglühten und abgekühlten Teiles nach einer Folgeglühung im Bereich der Alpha-Transus-Temperatur (T_α) im gegebenen Fall bei einer Temperatur von 1240°C und einer Abkühlung von dieser auf 700°C in 5 min und weiterer Abkühlung an Luft dargestellt.

[0068] Die ermittelten Gefügebestandteile waren: ALPHA₂-Körner in globularer Ausformung mit einer Korngröße von 11.0 μ m $\pm$ 5.8 μ m mit einem Volumsanteil von 73%, globulare BETA₀-

Körner mit einer Korngröße von $4.5 \mu\text{m} \pm 2.6 \mu\text{m}$ mit einem Volumsanteil von 11% und globulare GAMMA-Körner mit einer Korngröße von $4.2 \mu\text{m} \pm 2.2 \mu\text{m}$ mit einem Volumsanteil von 16%.

[0069] Fig. 5 zeigt das Gefüge des verformten Teiles nach einer Feinkornglühung im eutektoiden Temperaturbereich (T_{eu}), eine Hochtemperaturglühung im $(\alpha+\beta+\gamma)$ -Phasenraum bzw. einer Alpha-Transus-Glühung (T_α) bei 1240°C und einer forcierten Abkühlung gefolgt von einer Stabilisierungsglühung in gegebenem Fall bei 875°C mit anschließender Langsamabkühlung mit einer Geschwindigkeit von $2^\circ\text{C}/\text{min}$.

[0070] An dieser Stelle soll festgestellt werden, dass durch Variationen der Glühtemperatur und/oder der Glühzeit die Mikrostruktur des Gefüges und das Eigenschaftsprofil des Werkstoffes einstellbar sind.

[0071] Nach obiger Wärmebehandlung bestand das Gefüge aus globularen $\text{ALPHA}_2/\text{GAMMA}$ -Körnern mit lamellarer α/γ -Struktur mit einer Korngröße von $7.1 \mu\text{m} \pm 3.8 \mu\text{m}$ mit einem Volumsanteil von 64% aus globularen BETA_0 -Körnern mit einer Korngröße von $2.3 \mu\text{m} \pm 2.2 \mu\text{m}$ mit einem Volumsanteil von 13% und aus globularen GAMMA-Phasen mit einer Korngröße von $2.7 \mu\text{m} \pm 2.1 \mu\text{m}$ mit einem Volumsanteil von 23%.

[0072] Wie auch die übrigen Proben von Versuchsreihen wurden an diesem Teil die wichtigsten mechanischen Eigenschaften gemessen. Bei Raumtemperatur lagen die Festigkeitswerte $R_{p0.2}$ über 720 MPa, R_m über 810 MPa und die Bruchdehnung über 1.6%.

[0073] Bei 700°C wurde im Kriechversuch (ASTME139 bzw. EN2005-5) bei einer Prüfspannung in der Probe von 250 MPa und einer Beanspruchungsdauer von 100 Std. ein Wert A_p von kleiner 0.65% ermittelt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteiles aus einer Titan-Aluminium-Basislegierung, bei welchem in einem ersten Schritt ein schmelz- oder pulvermetallurgisch gefertigtes Vormaterial mit einer chemischen Zusammensetzung von in At.-%:

Aluminium (Al)	41	bis	48
wahlweise			
Niob (Nb)	3.5	bis	9
Molybdän (Mo)	0.1	bis	3.0
Mangan (Mn)		bis	2.4
Bor(B)		bis	1.0
Silicium (Si)	bis	1.0	
Kohlenstoff (C)		bis	1.0
Sauerstoff (O)		bis	0.5
Stickstoff (N)	bis	0.5	

Titan und Verunreinigungen als Rest, hergestellt und dieses Vormaterial bei einer Druckerhöhung auf mindestens 150 MPa bei einer Temperatur von mindestens 1000°C nach Durchwärmung während einer Zeitdauer von mindestens 60 min isostatisch zu einem Rohteil gepresst wird, wonach in einem zweiten Schritt das HIP-Rohteil einer Warmformgebung durch eine Schnell-Massivumformung mit einer Geschwindigkeit von größer 0.4 mm/sec und einer Umformung durch Stauchen gemessen als lokale Dehnung ϕ von größer 0.3, wobei ϕ wie folgt definiert ist:

$$\phi = \ln(h_f/h_0)$$

h_f = Höhe des Werkstückes nach dem Stauchen

h_0 = Höhe des Werkstückes vor dem Stauchen

oder einem anderen Umformverfahren mit gleich hoher Mindestverformung, insbesondere durch Schmieden bei einer Temperatur im Bereich von 1000 bis 1350°C unter Ausformung eines Bauteiles mit einer nachfolgenden Abkühlung desselben, wobei die Zeitspanne bis zum Erreichen einer Temperatur von 700°C höchstens 10 min beträgt, unterworfen wird, wobei ein Gefüge, welches nur in geringen Teilbereichen dynamisch erholt oder rekristallisiert sein kann, im Wesentlichen jedoch ein Verformungsgefüge mit hohem Rekristallisationsenergiepotential aufweist, gebildet wird, wonach das Bauteil für ein Einstellen gewünschter Werkstoffeigenschaften in einem dritten Schritt einer Wärmebehandlung unterworfen wird, bei welcher im Bereich der eutektoiden Temperatur (T_{eu}) der Legierung, insbesondere von 1010 bis 1180°C in einer Zeitspanne von 30 bis 1000 min aus dem Verformungsgefüge, aufgrund der gespeicherten Verformungsenergie und der Triebkraft zur Gefügeumbildung, welche aus dem chemischen Phasengleichgewicht nach dem Verformen und Abkühlen besteht, nach einem Abkühlen an Luft eine homogene, feinglobulare Mikrostruktur, gebildet aus den bei Raumtemperatur eine geordnete Atomstruktur aufweisenden Phasen:

GAMMA, BETA₀, ALPHA₂ ($\gamma, \beta_0, \alpha_2$)

mit einer Ausformung:

ALPHA₂: globular mit einer Korngröße von 1 bis 50 µm mit einem Volumsanteil von 1 bis 50%, die vereinzelte, gröbere γ -Lamellen mit einer Dicke von > 100 nm enthalten können

BETA₀: globular die α_2 -Phase umgebend, mit einer Korngröße von 1 bis 25 µm mit einem Volumsanteil von 1 bis 50%

GAMMA: globular die α_2 -Phase umgebend, mit einer Korngröße von 1 bis 25 µm mit einem Volumsanteil von 1 bis 60%

gebildet werden, und wahlweise in einem nachgeordneten Schritt mindestens eine weitere Wärmebehandlung, insbesondere Folgeglühung und/oder Stabilisierungsglühung des Bauteiles, erfolgt (erfolgen).

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem das Vormaterial eine chemische Zusammensetzung von in At.-%:

Al	42	bis	44.5
wahlweise			
Nb	3.5	bis	4.5
Mo	0.5	bis	1.5
Mn		bis	2.2
B	0.05	bis	0.2
Si	0.001	bis	0.01
C	0.001	bis	1.0
O	0.001	bis	0.1
N	0.0001	bis	0.02

Titan und Verunreinigungen als Rest aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wonach das Bauteil für ein Einstellen gewünschter Werkstoffeigenschaften in einem dritten Schritt einer Wärmebehandlung unterworfen wird, welche mit einer Zeitspanne von 30 min bis 600 min im Bereich der eutektoiden Temperatur (T_{eu}) der Legierung, insbesondere von 1040°C bis 1170°C erfolgt, wobei aus dem Verformungsgefüge nach einem Abkühlen an Luft eine homogene, feinglobulare Mikrostruktur, bestehend aus den bei Raumtemperatur eine geordnete Atomstruktur aufweisenden Phasen:

GAMMA, BETA₀, ALPHA₂ ($\gamma, \beta_0, \alpha_2$)

mit einer Ausformung:

ALPHA₂: globular mit einer Korngröße von 1 μm bis 10 μm mit einem Volumsanteil von 10% bis 35% die vereinzelte, gröbere γ -Lamellen mit einer Dicke von > 100 nm enthalten können

BETA₀: globular die α_2 -Phase umgebend, mit einer Korngröße von 1 μm bis 10 μm mit einem Volumsanteil von 15% bis 45%

GAMMA: globular die α_2 -Phase umgebend, mit einer Korngröße von 1 μm bis 10 μm mit einem Volumsanteil von 15% bis 60%

gebildet wird, und wahlweise in einem nachgeordneten Schritt mindestens eine weitere Wärmebehandlung, insbesondere Folgeglühung und/oder Stabilisierungsglühung des Bauteiles, erfolgt (erfolgen).

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem das Bauteil mit einer im dritten Schritt geschaffenen Feinstruktur zur Einstellung von optimierten Hochtemperaturwerkstoffeigenschaften mindestens einer Folgeglühung unterworfen wird, welche im Bereich nahe der Alpha-Transus-Temperatur (T_α) der Legierung im Dreiphasenraum (Alpha, Beta, Gamma) während einer Zeitdauer von mindestens 30 min bis MAX 6000 min erfolgt, wonach das Teil in einer Zeitspanne von weniger als 10 min auf eine Temperatur von 700°C und anschließend weiter vorzugsweise an Luft abgekühlt wird und derart eine Phasenausformung:

ALPHA₂: globular übersättigt, gegebenenfalls gering feine γ -Lamellen enthaltend, mit einer Korngröße von 5 μm bis 100 μm mit einem Volumsanteil von 25% bis 98%

BETA₀: globular, mit einer Korngröße von 1 μm bis 25 μm mit einem Volumsanteil von 1% bis 25%

GAMMA: globular, mit einer Korngröße von 1 μm bis 25 μm mit einem Volumsanteil von 1% bis 50% gebildet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3, bei welchem das Bauteil mit einer im dritten Schritt geschaffenen Feinstruktur zur Einstellung von optimierten Hochtemperaturwerkstoffeigenschaften mindestens einer Folgeglühung unterworfen wird, welche im Bereich nahe der Alpha-Transus-Temperatur (T_α) der Legierung im Dreiphasenraum (Alpha, Beta, Gamma) während einer Zeitdauer von mindestens 30 min bis MAX 6000 min erfolgt, wonach das Teil in einer Zeitspanne von weniger als 10 min auf eine Temperatur von 700°C und anschließend weiter, vorzugsweise an Luft, abgekühlt wird und derart eine Phasenausformung:

ALPHA₂: globular übersättigt, gegebenenfalls gering feine γ -Lamellen enthaltend, mit einer Korngröße von 5 μm bis 80 μm mit einem Volumsanteil von 50% bis 98%

BETA₀: globular, mit einer Korngröße von 1 μm bis 20 μm mit einem Volumsanteil von 1% bis 25%

GAMMA: globular, mit einer Korngröße von 1 μm bis 20 μm mit einem Volumsanteil von 1% bis 28%

gebildet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4, bei welchem das Bauteil nach einer Folgeglühung gemäß Anspruch 4 mindestens einer Stabilisierungsglühung unterworfen wird, welche in einem Temperaturbereich von 700°C bis 1000°C, allenfalls oberhalb der Anwendungstemperatur des Bauteiles mit einer Dauer von 60 min bis 1000 min und einer anschließenden Langsam- bzw. Ofenabkühlung mit einer Geschwindigkeit von weniger als 5°C/min, vorzugsweise von weniger als 1 °C/min, zur Einstellung bzw. Ausformung der Gefügebestandteile:

ALPHA₂ / GAMMA: Lamellarkorn mit einer Korngröße von 5 μm bis 100 μm mit einem Volumsanteil von 25% bis 98% mit einer (α_2/γ) Lamellen-Feinstruktur vorzugsweise mit einem mittleren Lamellenabstand von 10 nm bis 1 μm

BETA₀: globular, mit einer Korngröße von 1 µm bis 25 µm mit einem Volumsanteil von 1 % bis 25%

GAMMA: globular, mit einer Korngröße von 1 µm bis 25 µm mit einem Volumsanteil von 1% bis 50%

erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 5, bei welchem das Bauteil nach einer Folgeglühung gemäß Anspruch 5 mindestens einer Stabilisierungsglühung unterworfen wird, welche in einem Temperaturbereich von 700°C bis 1000°C, allenfalls oberhalb der Anwendungstemperatur des Bauteiles mit einer Dauer von 60 min bis 1000 min und einer anschließenden Langsam- bzw. Ofenabkühlung mit einer Geschwindigkeit von weniger als 5°C/min, vorzugsweise von weniger als 1 °C/min, zur Einstellung bzw. Ausformung der Gefügebestandteile:

ALPHA₂ / GAMMA: Lamellarkorn mit einer Korngröße von 5 µm bis 80 µm mit (α₂/γ) Lamellen-Feinstruktur vorzugsweise, mit einem mittleren Lamellenabstand von 10 nm bis 30 nm, und mit einem Volumsanteil von 45% bis 90%

BETA₀: globular, mit einer Korngröße von 1 µm bis 20 µm mit einem Volumsanteil von 1 % bis 25%

GAMMA: globular, mit einer Korngröße von 1 µm bis 20 µm mit einem Volumsanteil von 1 % bis 25%

erfolgt.

8. Bauteil aus einer Titan-Aluminium-Basislegierung mit einer chemischen Zusammensetzung gemäß Anspruch 1 oder 2, hergestellt mit endabmessungsnahen Dimensionen, vorzugsweise mit einem Verfahren nach Anspruch 1 oder 3, mit einem Gefüge des Werkstoffes, bestehend aus den bei Raumtemperatur eine geordnete Atomstruktur aufweisenden Phasen:

GAMMA, BETA₀, ALPHA₂ (γ, β₀, α₂)

mit einer Ausformung:

ALPHA₂: globular mit einer Korngröße von 1 µm bis 50 µm mit einem Volumsanteil von 1% bis 50%, die vereinzelte, gröbere γ-Lamellen mit einer Dicke von > 100 nm enthalten können

BETA₀: globular die α₂-Phase umgebend, mit einer Korngröße von 1 µm bis 25 µm mit einem Volumsanteil von 1 % bis 50%

GAMMA: globular die α₂-Phase umgebend, mit einer Korngröße von 1 µm bis 25 µm mit einem Volumsanteil von 1 % bis 60%

eingestellt, vorzugsweise mit einem Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 3, wobei das Material folgende, mechanische Eigenschaften im Bereich von:

- Festigkeit und Bruchdehnung bei Raumtemperatur:
 - o R_{p0.2}: 650 bis 910 MPa
 - o R_m: 680 bis 1010 MPa
 - o A_t: 0.5% bis 3%
- Festigkeit und Bruchdehnung bei 700°C:
 - o R_{p0.2}: 520 bis 690 MPa
 - o R_m: 620 bis 970 MPa
 - o A_t: 1% bis 3.5%

aufweist.

9. Bauteil aus einer Titan-Aluminium-Basislegierung mit einer chemischen Zusammensetzung gemäß Anspruch 1 oder 2, hergestellt mit endabmessungsnahen Dimensionen, mit einem Gefüge des Werkstoffes bestehend aus:

ALPHA₂: globular übersättigt, gegebenenfalls gering feine γ -Lamellen enthaltend, mit einer Korngröße von 5 μm bis 80 μm mit einem Volumsanteil von 50% bis 95%

BETA₀: globular, mit einer Korngröße von 1 μm bis 20 μm mit einem Volumsanteil von 1% bis 25%

GAMMA: globular, mit einer Korngröße von 1 μm bis 20 μm mit einem Volumsanteil von 1 % bis 28%

vorzugsweise eingestellt nach einem Verfahren gemäß Anspruch 4 oder 5, wobei das Material folgende, mechanische Eigenschaften im Bereich von:

- Festigkeit und Bruchdehnung (nach ASTM E8M, EN 2002-1) bei Raumtemperatur:
 - o $R_{p0.2}$: 650 bis 940 MPa
 - o R_m : 730 bis 1050 MPa
 - o A_t : 0.2% bis 2%
- Festigkeit und Bruchdehnung bei 700°C
 - o $R_{p0.2}$: 430 bis 620 MPa
 - o R_m : 590 bis 940 MPa
 - o A_t : 1% bis 2.5%

aufweist.

10. Bauteil aus einer Titan-Aluminium-Basislegierung mit einer chemischen Zusammensetzung gemäß Anspruch 1 oder 2, hergestellt mit abmessungsnahen Dimensionen, mit einem Gefüge des Werkstoffes, bestehend aus den Bestandteilen mit einer Ausformung:

ALPHA₂ / GAMMA: Lamellarkorn mit einer Korngröße von 5 μm bis 100 μm mit einem Volumsanteil von 25% bis 98% mit einer (α_2/γ) Lamellen-Feinstruktur vorzugsweise mit einem mittleren Lamellenabstand von 10 nm bis 1 nm

BETA₀: globular, mit einer Korngröße von 0.5 μm bis 25 μm mit einem Volumsanteil von 1 % bis 25%

GAMMA: globular, mit einer Korngröße von 0.5 μm bis 25 μm mit einem Volumsanteil von 1 % bis 50%

vorzugsweise eingestellt nach einem Verfahren gemäß Anspruch 6 oder 7, wobei das Material folgende, mechanische Eigenschaften im Bereich von:

- Festigkeit und Bruchdehnung (nach ASTM E8M, EN 2002-1) bei Raumtemperatur:
 - o $R_{p0.2}$: 710 bis 1020 MPa
 - o R_m : 800 bis 1250 MPa
 - o A_t : 0.8% bis 4%
- Festigkeit und Bruchdehnung bei 700°C:
 - o $R_{p0.2}$: 540 bis 760 MPa
 - o R_m : 630 bis 1140 MPa
 - o A_t : 1% bis 4.5%

aufweist.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

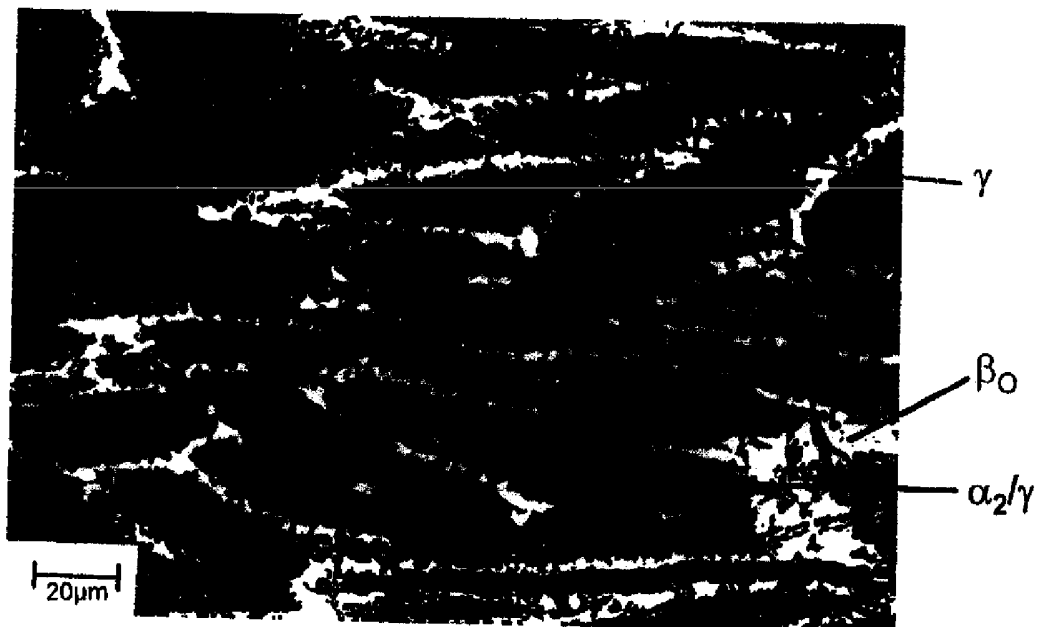
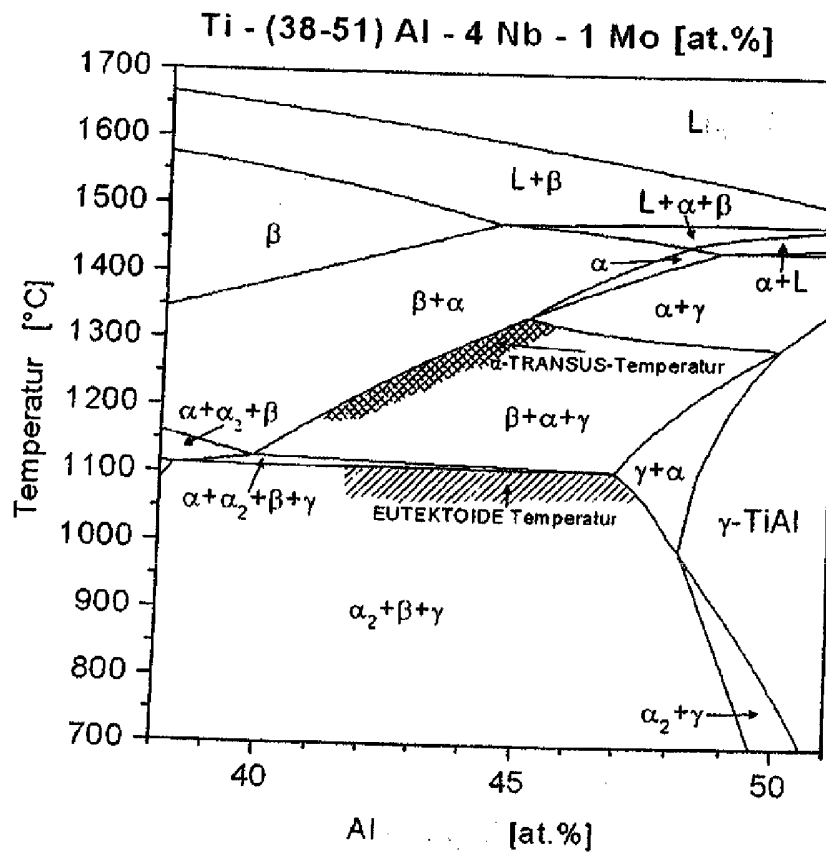


Fig. 2

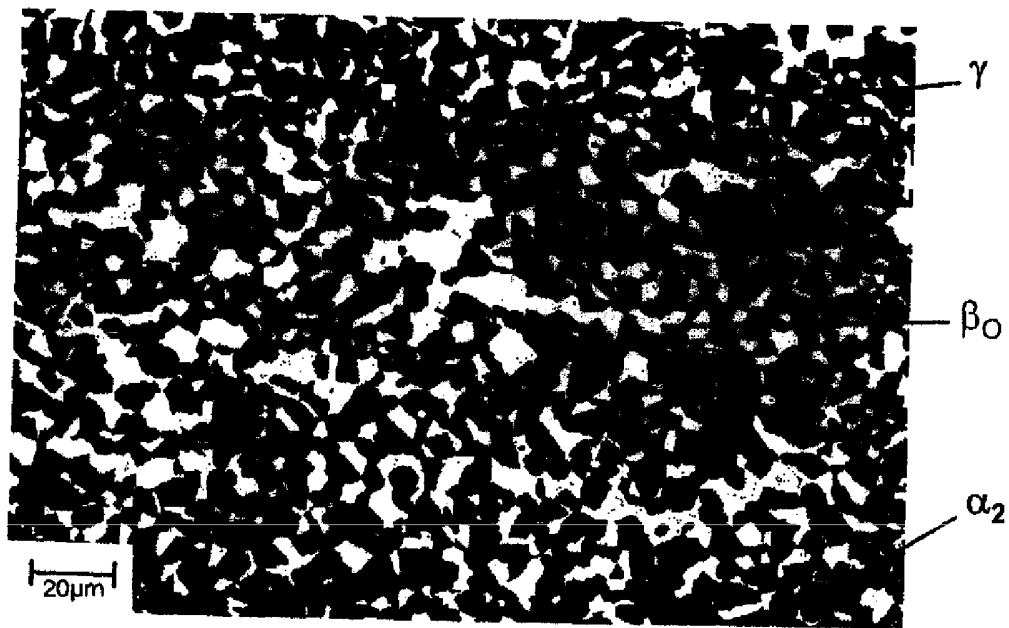


Fig. 3

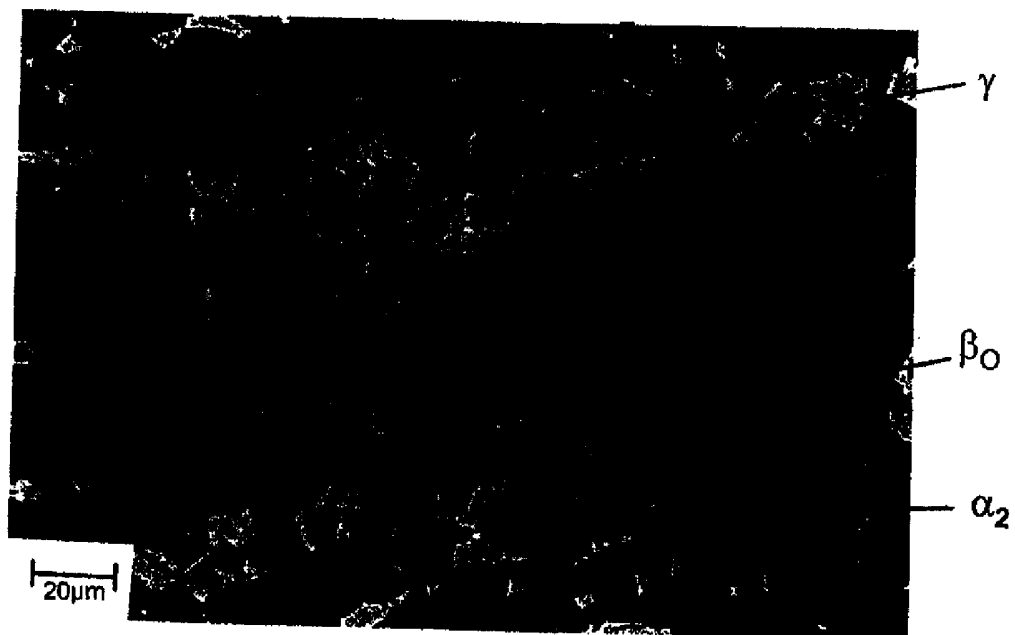


Fig. 4

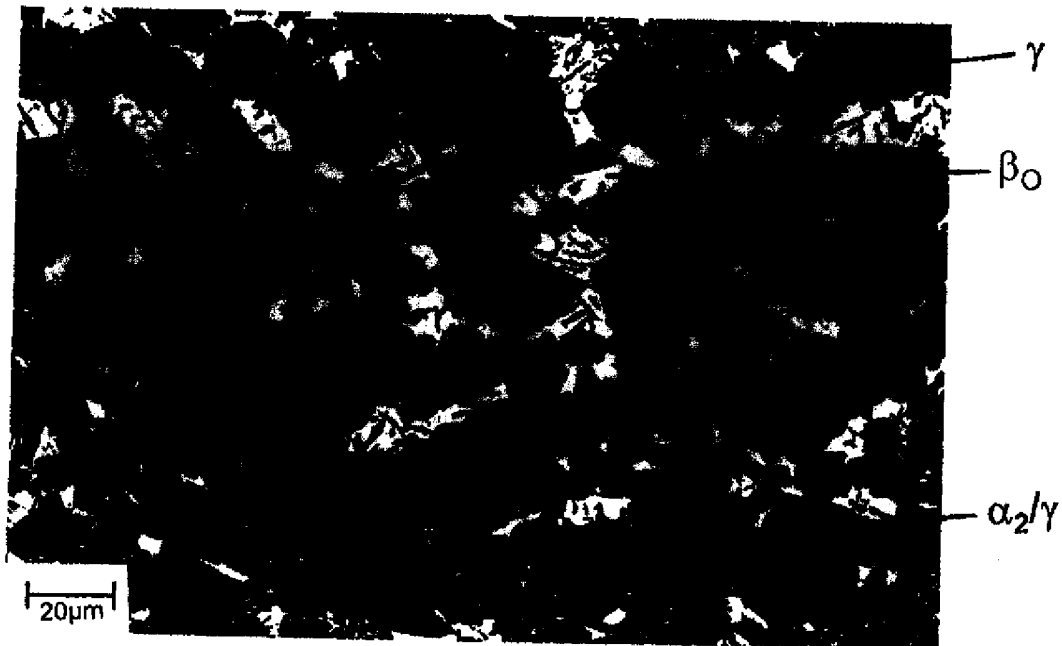


Fig. 5