

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 879/2009  
(22) Anmeldetag: 05.06.2009  
(45) Veröffentlicht am: 15.04.2012

(51) Int. Cl. : **B21J 5/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 4016339A1 DE 4016340C1

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

(72) Erfinder:  
KREMMER SASCHA  
KRAUBATH (AT)  
ROMEN-KIERNER HEINZ  
BRUCK AN DER MUR (AT)  
WALLGRAM WILFRIED  
LEOBEN (AT)

(54) **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES SCHMIEDESTÜCKES AUS EINER GAMMA-TITAN-ALUMINIUM-BASISLEGIERUNG**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Schmiedestückes aus einer Gamma-Titan-Aluminium-Basislegierung. Um eine schwierige und kostenintensive Verarbeitung der Titan-Aluminid-Werkstoffe zu verbessern, ist erfindungsgemäß ein Verfahren vorgesehen, bei welchem ein zylindrisches oder stabförmiges Ausgangs- oder Vormaterial in einem oder mehreren Schritten an jenen Stellen, an welchen das auszuformende Schmiedestück Volumenkonzentrationen aufweist, durch elektrischen Stromdurchgang oder durch Induktion über den Querschnitt auf eine Temperatur von höher 1150°C erwärmt und durch Kraftbeaufschlagung verformt, insbesondere stauchverformt, und derart ein Schmiederohling mit unterschiedlichen Querschnittsflächen über dessen Längserstreckung erstellt wird, welcher Rohling in einem oder mehreren Folgeschritt(en) jeweils nach einer Erwärmung auf Umformtemperatur, insbesondere in einem Gesenk, endverformt wird.

## Beschreibung

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

**[0002]** Titan-Aluminium-Basislegierungen sind im Wesentlichen aus intermetallischen Titan-Aluminiden gebildet und weisen einen hohen Schmelzpunkt, geringe Dichte, einen hohen, spezifischen Elastizitätsmodul, gutes Oxidationsverhalten sowie hohe, spezifische Zugfestigkeit sowie Kriechfestigkeit im Temperaturbereich von 600°C bis 800°C auf, erfüllen also die ständig steigenden Anforderungen an Sonderwerkstoffe wie z.B. für Komponenten der nächsten Generation von Flugzeugtriebwerken und Verbrennungsmotoren.

**[0003]** Titan-Aluminid-Werkstoffe sind bezüglich ihrer Legierungszusammensetzung sowie ihrer Herstellung und Verarbeitung noch nicht optimiert.

**[0004]** Eine Legierung, die eine gute Verarbeitbarkeit, sowie ausgewogene, mechanische Eigenschaften aufweist, die durch geeignete Wärmebehandlungen erstellt werden können, weist die Elemente Titan, Aluminium, Niob, Molybdän und Bor auf und wird deshalb in der Fachwelt als TNM-Legierung bezeichnet.

**[0005]** Auf Grund des intermetallischen Charakters der Titan-Aluminid-Legierungen, ggf. auch der TNM-Werkstoffe, mit anderen Worten: ihres spröden Verhaltens bei ungeeigneten Verformungsbedingungen wegen, ist besonders eine Herstellung von Schmiedestücken wie Turbinenschaufeln kritisch und meist mit hohen Abfallraten verbunden.

**[0006]** Es ist bekannt, eine Schmiedeumformung unter isothermen Bedingungen durchzuführen, was ein besonderes Hochtemperatur-Schmiedegesenk mit Schutzgasatmosphäre erfordert und daher kostenintensiv ist.

**[0007]** Wie die DE 40 16 339 A1 offenbart, erfolgten auch Materialerprobungen an unter Verwendung von pulvermetallurgischen Verfahren hergestellten  $Ti_{52-44}Al_{46-50}Cr_{1-3}W_{1-3}$ )-Legierungen, wobei nach einem heißisostatischen Pressen des Legierungspulvers der Pressung in eine Kapsel eingeschlossen und bei einer Temperatur zwischen 950°C und 1000°C extrudiert wurde.

**[0008]** Es sind auch Verfahren bekannt (DE 40 16 340 C1), das Werkstück in einer Kapsel bzw. einer Ummantelung einzuschließen und in dieser zu wärmen und zu verformen. Ein derartiges Verfahren kann im Hinblick auf eine Umformung eines Teiles in einem engen Temperaturfenster, insb. bei einer Legierungsentwicklung, durchaus zielführend sein, erfordert jedoch einen hohen Aufwand.

**[0009]** Die Erfindung setzt sich zum Ziel, die schwierige und kostenintensive Verarbeitung von Titan-Aluminid-Werkstoffen zu verbessern und hat die Aufgabe, ein Verfahren der eingangs genannten Art zur wirtschaftlichen Herstellung zu schaffen.

**[0010]** Dieses Ziel wird bei einem Verfahren erreicht, bei welchem ein zylindrisches oder stabförmiges Ausgangs- oder Vormaterial in einem oder mehreren Schritten an jenen Stellen, an welchen das auszuformende Schmiedestück Volumenkonzentrationen aufweist, durch elektrischen Stromdurchgang oder durch Induktion über den Querschnitt auf eine Temperatur von höher 1150°C erwärmt und durch Kraftbeaufschlagung verformt, insb. stauchverformt und derart ein Schmiederohling mit unterschiedlichen Querschnittsflächen über dessen Längserstreckung erstellt wird, welcher Rohling in einem oder mehreren Folgeschritten jeweils nach einer Erwärmung auf Umformtemperatur, insb. in einem Gesenk endverformt wird.

**[0011]** Die mit der Erfindung erreichten Vorteile sind im Wesentlichen in einer wirtschaftlichen Vormaterialerstellung mit in der Längserstreckung unterschiedlichen Querschnittsflächen und in dadurch günstigen Werkstofffließbedingungen bei der Endformung des Schmiedestückes zu sehen. Obwohl Gamma-Titan-Aluminium-Basislegierungen eine hohe spezifische Steifigkeit aufweisen, hat es sich als günstig erwiesen, ein zylindrisches oder stabförmiges Ausgangsmaterial zu verwenden und dieses durch Induktion oder insb. durch direkten Stromdurchgang zwischen Klemm- oder Anschlussbereichen am Stab auf eine Temperatur von höher als

1150°C zu erwärmen. Durch dieses Aufheizen wird trotz Abstrahlung von der Oberfläche eine Verteilung der Temperatur über den Querschnitt gleichmäßig ausgebildet, weil offensichtlich durch eine Stromverdrängung der spezifische Stromfluss und damit die Wärmeentwicklung im Oberflächenbereich vergrößert sind.

**[0012]** Bei Raumtemperatur besteht die Legierung hauptsächlich aus Gamma-Titan-Aluminium und Alpha 2-Titan-Aluminium und weist nur einen ggf. geringen Anteil an Beta-Phase auf, welche Phase je nach Temperatur duktile Eigenschaften hat. Bei einer Erwärmung auf über 1150°C, mit Vorteil auf über 1250°C, vergrößert sich der Anteil an Beta-Phase im Werkstoff, was eine Verbesserung der Verformbarkeit des Werkstoffes begründet.

**[0013]** Mit einem Stauchen, wie oben erwähnt, bei gezielter und homogener Erwärmung über den Querschnitt des Stabes auf hohe Temperatur kann eine gleichmäßige und gezielte Volumenkonzentration und eine gewünschte Feinkorngestuktur desselben erreicht werden.

**[0014]** Wird mehr als ein Bereich mit vergrößertem Querschnitt des Stabes gewünscht, kann ein Stauchumformen an mehreren Stellen in der Folge vorgenommen werden.

**[0015]** Ein nach oben beschriebenen Schritten erfundungsgemäß hergestellter Schmiederohling kann nun nach Aufwärmen, bspw. in einem Schmiedeofen, in einem oder mehreren Folgeschritt(en), insb. in einem Gesenk, endverformt werden, wobei mit Vorteil aufgrund der Volumenkonzentrationen eine Gesenkfüllung bei geringerem Materialfluss und/oder Materialeinsatz erfolgen kann.

**[0016]** Weil nun ein Transport des Schmiederohlings oder Zwischenproduktes vom Wärmeofen zur Verformungsanlage mit dem Werkzeug bzw. mit einem Gesenk, insb. bei zeitaufwändigen Verbringungswegen, eine kritische Abkühlung des Oberflächenbereiches des zu verformenden Teiles bewirken kann, ist in Ausgestaltung der Erfindung ein Verfahren, bei welchem der oder die Folgeschritt(e) zur Endverformung des Schmiederohlings oder des Zwischenproduktes aus einem zumindest teilweisen Beschichten der Oberfläche mit einem die Wärmeabstrahlung und dadurch den oberflächlichen Temperaturabfall mindernden Mittel, einem Erwärmen des Schmiederohlings oder Zwischenproduktes auf Umformtemperatur, einem Durchwärmen, einem Verbringen und einem Umformen desselben, insb. in einem Gesenk gebildet wird (werden), vorteilhaft durchführbar.

**[0017]** Es hat sich gezeigt, dass ein Beschichten der Oberfläche des Schmiederohlings oder Zwischenproduktes mit einem Mittel zur Verminderung der Wärmeabstrahlung schon mit einer Dicke von größer 0.1mm einen Temperaturverlust der Randzone in der Zeiteinheit deutlich verringern kann und derart eine erforderliche hohe Umformtemperatur des Werkstückes im Oberflächenbereich bei Vermeidung einer Rissbildung bei einer Umformung erhalten bleibt.

**[0018]** Gemäß der Erfindung wirkt die Oxidphase als hitzebeständige Isolierkomponente, wobei ein oder mehrere Additiv(e) bzw. Haftmittel mit geringeren Anteilen die Oxidkörner verbindet (verbinden) und auf dem Substrat hält (halten). Die flüssige(n) Komponente(n) dient (dienen) der Homogenisierung der Phasen und einer Einstellung eines gewünschten Flüssigkeitsgrades zur homogenen Aufbringung auf die Oberfläche des Werkstückes oder Teiles.

**[0019]** Ein Mittel, bei welchem die Hauptkomponente bzw. Oxidphase aus Zirkonoxid mit einem Anteil in Gew.-% von größer 70, bevorzugt von 80 bis 98, insb. von 90 bis 97, gebildet ist, hat sich im Hinblick auf eine wesentliche Verringerung der Wärmeabstrahlung als besonders günstig herausgestellt.

**[0020]** Vorteilhaft kann weiters bei einer Ausführungsvariante der Erfindung ein fehlerfrei durchführbares Verfahren sein, bei welchem die Endverformung in einem Gesenk erfolgt, welches eine um mindestens 300°C niedrigere Temperatur als der Schmiederohling oder das Zwischenprodukt aufweist. Dadurch werden anlagentechnische Vereinfachungen bei verbesserter Wirtschaftlichkeit erreicht.

**[0021]** Ein Verfahren nach der Erfindung, bei welchem die Endverformung in einem Gesenk erfolgt, welches eine bis zu 900°C, bevorzugt bis zu 800°C, niedrigere Temperatur als der

Schmiederohling oder das Zwischenprodukt hat, intensiviert obige Vorteile, weil eine derart niedrige Werkzeugtemperatur eine Verwendung von gebräuchlichen Warmarbeitsstählen für thermisch vergütete Gesenke zulässt, ohne dass eine Gefahr des Härteteabfalles derselben im Betrieb befürchtet werden muss.

**[0022]** Ein Verfahren, bei welchem die Endumformung als Schnellumformung mit einer Verformungsgeschwindigkeit von > 0.3mm/sec, insb. von 0.5 bis 5mm/sec, erfolgt, erbringt sowohl schmiedetechnische Vorteile als auch eine wesentlich verbesserte Mikrostruktur des Schmiedestückes.

**[0023]** Mit Vorteil ist das Verfahren für eine Herstellung von Turbinenschaufeln, zB. aus einer TNM-Legierung, verwendbar.

**[0024]** Anhand von Ausführungsbeispielen, welche jeweils lediglich einen Verfahrensweg darstellen, soll die Erfindung näher erläutert werden.

**[0025]** Es zeigen schematisch:

**[0026]** Fig. 1 in Ansicht und Fig. 2 im axialen Schnitt ein freies Aufstauchen eines Stabendes

**[0027]** Fig. 3 in Ansicht und Fig. 4 im axialen Schnitt ein Aufstauchen eines Stabendes in einer Form

**[0028]** Fig. 1 und Fig. 2 zeigen ein Aufstauchen eines Stabes 1 bei freier Breitung.

**[0029]** Eine Stromquelle (nicht dargestellt) ist mit einer Klemme 2 und einem leicht konkav geformten Flachsattel 3 verbunden. Für eine Umformung wird ein Stab 1 in einer Presse an den Flachsattel 3 angedrückt, wobei zwischen dem Flachsattel 3 und der Klemme 2 elektrischer Strom fließt, welcher in diesem Bereich durch den Ohm'schen Widerstand den Stab erwärmt.

**[0030]** Eine Erwärmung eines Stabes oder Stabteiles kann auch mittels einer Induktionsspule und Wechselstrom erfolgen.

**[0031]** Durch eine Stauchkraft erfolgt nach einem Aufwärmen eines Stabteiles ein Aufstauchen eines Stabendes, im gegebenen Fall mit freier Breitung.

**[0032]** Es hat sich gezeigt, dass Titan-Aluminium-Basislegierungen besonders gute Stauchehigenschaften aufweisen und nicht zum Ausknicken neigen. Weiters ist durch eine Wärmetechnologie mit elektrischem Stromdurchgang oder durch Induktion eine rasche, gezielte Durchwärmung eines Stabbereiches möglich, wobei eine genaue Einstellung der Umformtemperatur im sog. Verformbarkeitsfenster der Legierung erreichbar ist.

**[0033]** Fig. 3 und Fig. 4 zeigen ein Einstauchen eines Endes eines Stabes 1 in eine Form 3 unter Ausbildung eines gewünscht geformten Endenbereiches 11.

**[0034]** Derart kann eine genaue Abmessung eines Schmiederohlings für eine Endformgebung hergestellt werden.

**[0035]** Rohlinge, wie in Fig. 3 und Fig. 4 schematisch gezeigt, wurden für eine Turbinenschaufelschmiedung aus einem Stab mit einem Durchmesser von 30mm Ø und einer Länge von 225mm aus einer Legierung Ti-43.5Al-(Nb-Mo-B) 5 Atom-% gefertigt. Die Fertigungslänge betrug 192mm bei einem Kopfdurchmesser von 45mm und einer Kopflänge von 63mm.

**[0036]** Die Erwärmungs- und Stauchzeit war 60 sec., wobei ein Heizstrom mit 7740 A und eine Umformtemperatur von 1250°C eingestellt worden waren.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Schmiedestückes aus einer Gamma-Titan-Aluminium-Basislegierung, bei welchem ein zylindrisches oder stabförmiges Ausgangs- oder Vormaterial in einem oder mehreren Schritten an jenen Stellen, an welchen das auszuformende Schmiedestück Volumenkonzentrationen aufweist, durch elektrischen Stromdurchgang oder durch Induktion über den Querschnitt auf eine Temperatur von höher 1150°C erwärmt und durch Kraftbeaufschlagung verformt, insbesondere stauchverformt, und derart ein Schmiederohling mit unterschiedlichen Querschnittsflächen über dessen Längserstreckung erstellt wird, welcher Rohling in einem oder mehreren Folgeschritten jeweils nach einer Erwärmung auf Umformtemperatur, insbesondere in einem Gesenk, endverformt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem der oder die Folgeschritt(e) zur Endverformung des Schmiederohlings oder des Zwischenproduktes aus einem zumindest teilweisem Beschichten der Oberfläche mit einem die Wärmeabstrahlung und dadurch den oberflächlichen Temperaturabfall mindernden Mittel, einem Erwärmen des Schmiederohlings oder Zwischenproduktes auf Umformtemperatur, einem Durchwärmen und einem Umformen desselben, insbesondere in einem Gesenk, gebildet wird (werden).
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei das den oberflächlichen Temperaturabfall mindernde Mittel aus einer Oxidphase als Hauptkomponente und einem oder mehreren Haftmittel(n) als Zusatz sowie flüssigen Komponenten gebildet ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Beschichtungsmittel aus Zirkonoxid mit einem Anteil in Gew.-% von größer 70, bevorzugt von 80 bis 98, insbesondere von 90 bis 97, gebildet ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei welchem die Endverformung in einem Gesenk erfolgt, welches eine um mindestens 300°C niedrigere Temperatur als der Schmiederohling oder das Zwischenprodukt aufweist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 5, bei welchem die Endverformung in einem Gesenk erfolgt, welches eine bis zu 900°C, bevorzugt bis zu 800°C, niedrigere Temperatur als der Schmiederohling oder das Zwischenprodukt aufweist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei welchem die Endumformung als Schnellumformung mit einer Verformungsgeschwindigkeit von > 0.3mm/sec, insbesondere von 0.5 bis 5mm/sec., erfolgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 für eine Herstellung von Turbinenschaufeln.

**Hierzu 1 Blatt Zeichnungen.**

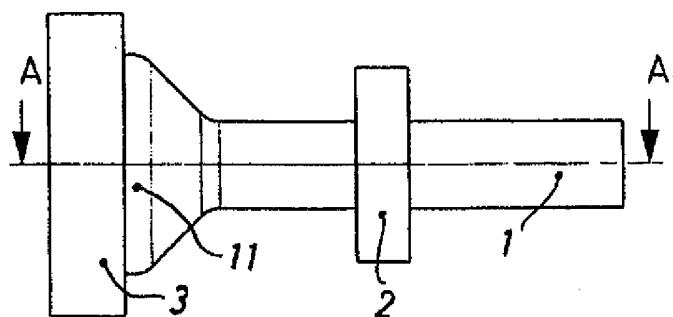


Fig. 1

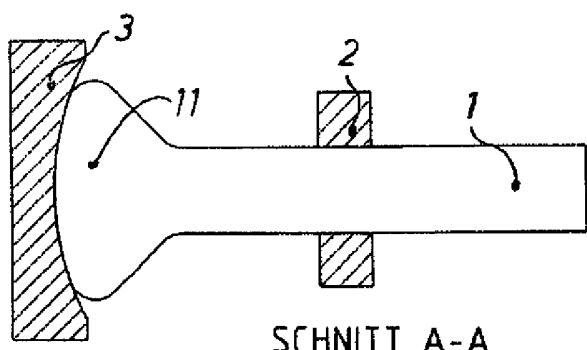


Fig. 2

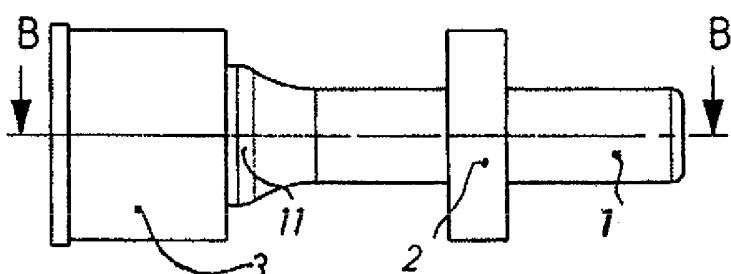


Fig. 3

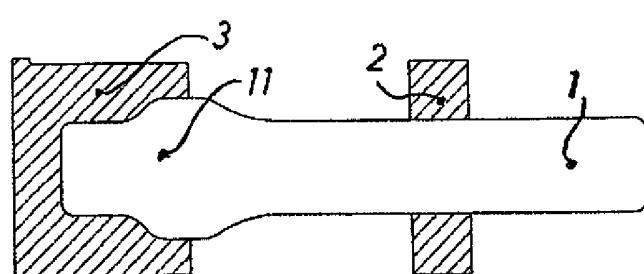


Fig. 4

SCHNITT B-B