

(19)



(11)

EP 2 393 952 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
29.10.2014 Patentblatt 2014/44

(51) Int Cl.:
C22F 1/18 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10702655.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2010/051078

(22) Anmeldetag: **29.01.2010**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2010/089256 (12.08.2010 Gazette 2010/32)

(54) VERFAHREN ZUM BETA-GLÜHEN EINES AUS EINER TI-LEGIERUNG HERGESTELLTEN WERKSTÜCKES

METHOD FOR THE BETA ANNEALING OF A WORKPIECE PRODUCED FROM A TI ALLOY

PROCÉDÉ POUR LE RECUIT BÊTA D'UNE PIÈCE À USINER FABRIQUÉE À PARTIR D'UN ALLIAGE DE TITANE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR

(74) Vertreter: **Haverkamp, Jens**
Patentanwalt
Stefanstraße 2
Kirchhoffgebäude
58638 Iserlohn (DE)

(30) Priorität: **05.02.2009 DE 102009003430**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
14.12.2011 Patentblatt 2011/50

(56) Entgegenhaltungen:
US-A- 5 705 794

(73) Patentinhaber: **Otto Fuchs KG**
58540 Meinerzhagen (DE)

- **IVASISHIN O M ET AL: "Grain growth and texture evolution in Ti-6Al-4V during beta annealing under continuous heating conditions" MATERIALS SCIENCE & ENGINEERING A (STRUCTURAL MATERIALS: PROPERTIES, MICROSTRUCTURE AND PROCESSING), Bd. A337, Nr. 1-2, 25. November 2002 (2002-11-25), Seiten 88-96, XP002581190 ELSEVIER SWITZERLAND ISSN: 0921-5093**
- **Lampman S.R., Zorc T.B.: "ASM HANDBOOK - HEAT TREATING" 1991, ASM INTERNATIONAL , U.S. , XP002581351 Bd. 4, Seiten 914-915,**

(72) Erfinder:

- **BÜSCHER, Markus**
57489 Drolshagen (DE)
- **WITULSKI, Thomas**
58540 Meinerzhagen (DE)

EP 2 393 952 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Wärmebehandeln eines aus einer Titanlegierung hergestellten Werkstückes zum Einstellen eines feinkörnigen Gefüges durch Glühen des Werkstückes oberhalb seiner β -Transus-temperatur (β -Glühen), wobei das Werkstück in einem Ofen auf ein Temperaturniveau oberhalb seiner β -Transustemperatur erwärmt wird und das Erreichen des Temperaturniveaus den Beginn einer bezüglich seiner Dauer vordefinierten Haltezeit bestimmt und das Werkstück für die Dauer der Haltezeit auf dem Temperaturniveau belassen wird, bevor es einem Abkühlprozess unterworfen wird.

[0002] Werkstücke, die aus einer Titanlegierung bestehen, werden in Abhängigkeit von ihrem Chemismus und ihrem Einsatzzweck unterschiedlichen Wärmebehandlungen unterworfen, um dem Werkstück bestimmte Eigenschaften zu verleihen bzw. einzustellen. Werkstücke aus Titanlegierungen werden zu diesem Zwecke mitunter einem Glühverfahren unterworfen. Hauptanwendungszweck derartiger Glühverfahren liegt je nach Legierungstyp und der jeweils gewünschten zu erreichenden Eigenschaft in einer Steigerung der Festigkeit, dem Einstellen einer hinreichenden Zähigkeit sowie einer thermischen Stabilität und/oder zur Erhöhung der Kriechbeständigkeit. Eines dieser Warmbehandlungsverfahren ist das sogenannte β -Glühen. Bei diesem Verfahren wird das Werkstück knapp oberhalb seiner β -Umwandlungstemperatur (β -Transustemperatur) geglüht und anschließend einem definierten Abkühlprozess unterworfen, wobei es sich hierbei um ein Abkühlen in Luft oder einem inerten Gas auf Raumtemperatur oder auch um ein Abschrecken handeln kann. Oberhalb der β -Transus-temperatur wird die in der Ti-Legierung enthaltene hexagonale α -Phase in eine raumzentrierte β -Phase umgewandelt. Der sich an das β -Glühen anschließende Abschreckprozess ist typischerweise ausgelegt, um bei der Abkühlung die Ausbildung von α -Phase möglichst zu unterdrücken oder definiert auszuscheiden.

[0003] Bei Werkstücken aus Ti-Legierungen kann es sich um Strukturbauteile, etwa zur Verwendung im Flugzeugbau, handeln. Derartige Strukturbauteile weisen typischerweise eine nicht unbeträchtliche Dicke auf. Beim β -Glühen eines solchen Werkstückes ist zum Erzielen der gewünschten Eigenschaften besondere Sorgfalt notwendig. Zu diesem Zweck sind Normen entwickelt worden, nach deren Vorgaben derartige Ti-Strukturbauteile β gegült werden müssen. Durch die Normung des β -Glühprozesses soll gewährleistet werden, dass bei einer industriellen Anwendung des β -Glühverfahrens die Werkstücke ein möglichst einheitliches Korngefüge aufweisen. Problematisch beim β -Glühen ist, dass ein zu langes Halten des Werkstückes oberhalb seiner β -Transustemperatur zu einer unerwünschten Kornvergrößerung führt. Gemäß den geltenden Normen, wie AMS-H-81200B oder DIN 65084, ist gefordert, dass das Werkstück bis auf eine Temperatur erwärmt wird, die 30°C oberhalb der β -Transustemperatur der Ti-Legierung liegt. Das oberhalb der β -Transustemperatur liegende Temperaturniveau, auf das das Werkstück zu erwärmen ist, weist eine ausreichende Temperaturdifferenz zu der β -Transustemperatur auf, das auch unter Berücksichtigung der systembedingten Temperaturtoleranzen (β -Transustemperatur, Ofentemperatur) sichergestellt ist, dass das Werkstück insgesamt bei Erreichen des Temperaturniveaus oberhalb der β -Transustemperatur erwärmt ist. Hinsichtlich der eingestellten Ofentemperatur wird in aller Regel ein Toleranzbereich von $\pm 14^\circ\text{C}$ vorgegeben. Durchgeführt wird ein β -Glühen gemäß diesen Vorgaben durch Erwärmen des Werkstückes in einem Ofen. Überschreitet die Werkstücktemperatur die untere Toleranzgrenze des vordefinierten Temperaturniveaus ($T_\beta + 30^\circ\text{C} - 14^\circ\text{C}$) bestimmt dieses den Zeitpunkt des Beginns der Haltezeit. Die Haltezeit selbst ist beispielsweise mit 30 Minuten vorgegeben. Demzufolge wird das Werkstück in dem Ofen für die Dauer der Haltezeit auf einem Temperaturniveau oberhalb von $T_\beta + 30^\circ - 14^\circ\text{C}$ belassen und anschließend einem Abkühlprozess unterworfen.

[0004] Ein solches Verfahren ist vom Prinzip her aus GB 1,141,409 bekannt. Beschrieben ist in diesem Dokument ein Verfahren zur Kornfeinung der Mikrostruktur einer α - oder α - β -Titanlegierung. Das Werkstück wird auf eine Temperatur oberhalb der β -Transustemperatur erwärmt, um eine im Wesentlichen vollständige Umwandlung in die β -Phase zu erhalten. Auf dieser Temperatur wird das Werkstück so lange gehalten, bis hinreichend sichergestellt ist, dass eine vollständige Konversion in die β -Phase stattgefunden hat. Als Beispiel wird eine Haltezeit von einer Stunde angegeben. Anschließend wird das Werkstück abgeschreckt, und zwar auf eine Temperatur hinreichend weit unterhalb der β -Transustemperatur, um einen wesentlichen Anteil der β -Phase in eine α -Phase oder eine α -Äquivalent-Phase zu bringen. In einem nachfolgenden Schritt wird das Formstück plastisch deformiert. Die Glühung bezieht sich bei diesem Dokument auf einen Zwischenschritt in der Herstellung eines Materials im Zustand "*annealed*" mit einer Gefügestruktur aus globularer α -Phase, die nach dem β -Glühen und nach einer weiteren Verformung eingestellt wird. In diesem Dokument wird keine β -Glühung, die eine Endwarmbehandlung darstellt beschrieben, mit dem die Korngröße des β -Gefüges verfeinert wird, wie dieses Eingangs erwähnt ist.

[0005] Es hat sich gezeigt, dass trotz der normativen Vorgaben zum β -Glühen von Werkstücken aus einer Titanlegierung diese nicht mit der notwendigen Prozesssicherheit hergestellt werden können, diese sich mithin hinsichtlich ihres Gefüges und damit ihrer Eigenschaften trotz gleicher Verfahrensparameter voneinander unterscheiden können. Dieses ist jedoch unerwünscht.

[0006] Ausgehend von diesem diskutierten Stand der Technik liegt der Erfindung daher die Aufgabe zugrunde, ein eingangs genanntes Verfahren dergestalt auszubilden, dass ein β -Glühen von Werkstücken aus einer Titanlegierung mit einem höheren Maß an Prozesssicherheit möglich ist.

[0007] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst.

[0008] Im Unterschied zu der herrschenden Meinung, die Ofentemperatur lediglich knapp über die β -Transustemperatur einzustellen, um eine Kornvergrößerung durch eine zu hohe Temperatur zu vermeiden, wird bei dem vorgeschlagenen Verfahren der Ofen auf eine Temperatur eingestellt, die sich oberhalb desjenigen Temperaturniveaus befindet, bei dessen Überschreiten die Haltezeit zu laufen beginnt. Ausgenutzt wird bei diesem Verfahren die Eigenschaft, dass innerhalb des betrachteten Temperaturfensters oberhalb der β -Transustemperatur die Temperatur nur einen untergeordneten Einfluss auf das Kornwachstum hat. Entscheidend für das Kornwachstum und die Korngröße des β -geglühten Werkstückes ist vielmehr die Haltezeit. Durch Einstellen der Ofentemperatur auf eine Temperatur mit einer deutlichen Differenz zu derjenigen Temperatur, bei der die Zeitspanne des Haltens beginnt, wird erreicht, dass die Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt, in dem das Werkstück seine β -Transustemperatur überschreitet und dem Erreichen des den Beginn der Haltezeit bestimmenden Temperaturniveaus gegenüber einem herkömmlichen β -Glühen infolge des raschen Erwärmens des Werkstückes durch die erfindungsgemäß eingestellte höhere Ofentemperatur erheblich kürzer ist. Ausgenutzt wird bei diesem Verfahren auch das Aufheizverhalten eines Ti-Werkstückes, dessen Aufheizgradient mit zunehmender Temperatur abnimmt. Der Abschnitt der Aufheizkurve des Werkstückes zwischen seiner β -Transustemperatur und dem Temperaturniveau der Haltezeit befindet sich in einem Abschnitt der Aufheizkurve mit einem höheren Gradienten, verglichen mit dem herkömmlichen β -Glühprozess. Durch Verkürzen dieser, nicht zur Haltezeit zählenden Zeitspanne, in der eine Umwandlung in β -Phase bereits stattfindet, ist der Umfang dieser Umwandlung und das damit einhergehende Kornwachstum deutlich reduziert. Dieses macht sich gerade bei dickeren Werkstücken bemerkbar, die eine entsprechend geringe Aufheizgeschwindigkeit vor allem in dem letzten Abschnitt ihrer Aufheizkurve aufweisen und daher die Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt des Überschreitens der β -Transustemperatur und dem Beginn der Haltezeit entspricht lang ist. Bei vorbekannten Verfahren hatte dies zur Folge, dass die vorgegebene Haltezeit erheblich kürzer war als diejenige Zeit, die das Werkstück erwärmt werden musste, um von seiner β -Transustemperatur auf das Temperaturniveau zum Halten erwärmt zu werden.

[0009] Die Ofeneinstelltemperatur wird man in Abhängigkeit von der Ti-Legierung und der Geometrie des Werkstückes einstellen. Es wird als ausreichend angesehen, wenn die Ofeneinstelltemperatur 50°C oberhalb der β -Transustemperatur liegt und damit deutlich oberhalb des für das Halten vorgesehenen Temperaturniveaus von $T_{\beta}+30^{\circ}\text{C}$ - 14°C . Aus ökonomischen Gründen wird man die Ofeneinstelltemperatur nicht zu hoch einstellen. Die maximale Ofeneinstelltemperatur wird man in Abhängigkeit von dem temperaturbedingten Korngrößenwachstum und der vorgesehenen Haltezeit und der erwarteten Zeitspanne wählen, die für das Erwärmen des Werkstückes von seiner β -Transustemperatur auf das Temperaturniveau der Haltezeit benötigt wird. Versuche haben gezeigt, dass selbst eine Ofeneinstelltemperatur von $T_{\beta}+100^{\circ}\text{C}$ zu den erwarteten Ergebnissen führt, ohne, bedingt durch die zunehmende Erwärmung während der Haltezeit, ein zu großes Kornwachstum hinnehmen zu müssen. Bei einer Ofeneinstelltemperatur von $T_{\beta}+100^{\circ}\text{C}$ ist die Zeitspanne für das Erwärmen des Werkstückes von seiner β -Transustemperatur auf das Temperaturniveau der Haltezeit entsprechend kurz. Bei einer Durchführung des Verfahrens mit einer Ofeneinstelltemperatur zum Erwärmen des Werkstückes, die, wie bei dem vorstehenden Beispiel beschrieben, erheblich oberhalb der β -Transustemperatur liegt, ist es möglich, nach Erreichen der für das Halten vorgesehenen Temperatur die Ofentemperatur eine Temperatur, die nur etwas oberhalb der β -Temperatur liegt, abzusenken. Dieses wiederum reduziert ein temperaturbedingtes Kornwachstum.

[0010] Durch das beanspruchte Verfahren wird erstmals vorgeschlagen, die Ofentemperatur als Stellgröße einzusetzen, um dem Prozess einer β -Glühung eines aus einer Ti-Legierung hergestellten Werkstückes nicht unerheblich zu verbessern, insbesondere die mit diesem Warmbehandlungsverfahren hergestellten Werkstücke prozesssicher hinsichtlich in der gewünschten Eigenschaft herzustellen zu können. Dabei kann durchaus vorgesehen sein, die Ofentemperatur als aktive Stellgröße einzusetzen, die, nachdem das Werkstück eine vorbestimmte Temperatur erreicht hat, von einer ersten Einstelltemperatur abgesenkt wird.

[0011] Nachfolgend ist die Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren nochmals eingehender beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematisiert dargestellte Aufheizkurve zum Darstellen eines aus einer Ti-Legierung bestehenden Werkstückes zum Durchführen einer β -Glühung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren in einer Gegenüberstellung zu der Aufheizkurve eines aus derselben Legierung bestehenden Werkstückes gemäß dem herkömmlichen β -Glühverfahren und

Fig. 2 ein Diagramm darstellend das Kornwachstum eines Werkstückes aus einer Ti-Legierung in Abhängigkeit von der Haltezeit bei unterschiedlichen Temperaturen.

[0012] In dem Diagramm der Figur 1 ist das erfindungsgemäße β -Glühen eines Werkstückes aus einer Ti-Legierung anhand eines Temperatur/ZeitDiagramms dargestellt. Eingetragen in das Diagramm ist die Aufheizkurve A eines Ti-Werkstückes, das bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel aus einer Ti6Al4V-Legierung hergestellt ist. Der Chemismus einer Ti6Al4V-Legierung ist nachfolgend wiedergegeben:

Al	V	Fe	O	C	N	H	Y	Andere, einzeln	Andere, Summe	Ti
5,5-6,75	3,5-4,5	max. 0,30	max. 0,20	max. 0,08	max. 0,05	max. 0,0125	max. 0,005	0,10	0,40	Rest

[0013] Das Ti-Werkstück, dessen Aufheizkurve A in Figur 1 für den Prozess des β -Glühens schematisiert wiedergegeben ist, weist konkret folgende Zusammensetzung auf:

Al	V	Fe	O	C	N	H	Y	Andere, einzeln	Andere, Summe	Ti
5,98	3,86	0,18	0,11	0,006	0,005	0,0017	< 0,005	< 0,10	< 0,30	Rest

[0014] Die β -Transustemperatur T_β der für dieses Werkstück eingesetzten Ti-Legierung liegt bei etwa 970°C. Der Ofen, in dem das Werkstück dem β -Glühverfahren unterworfen werden soll, ist bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel auf eine Temperatur von $T_\beta + 50^\circ\text{C}$ eingestellt. Damit beträgt die Ofeneinstelltemperatur T_F 1.020°C. Eingetragen sind in das Diagramm die β -Transustemperatur T_β sowie die eingestellten Ofentemperatur T_F als durchgehende Linie, wobei der Toleranzbereich der beiden Temperaturen T_β sowie T_F gerastert oberhalb und unterhalb der jeweiligen Temperatur T_β bzw. T_F eingetragen ist. Eingetragen ist ferner die Untergrenze des für das Halten des Werkstückes für den β -Glühprozess bestimmten Temperaturniveaus T_H . Der Zeitpunkt des Erreichens des Werkstückes der Temperatur T_H bestimmt sodann den Beginn der Haltezeit - derjenigen Zeitspanne, die das Werkstück zum bestimmungsgemäßen Ausführen des β -Glühens auf oder oberhalb der Temperatur T_H zu belassen ist. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Untergrenze des Temperaturniveaus für die Haltezeit diejenige Temperatur, die auch bei herkömmlichen Verfahren den Beginn der Haltezeit definiert, namentlich $T_\beta + 30^\circ\text{C} - 14^\circ\text{C}$ für die in Rede stehende Ti6Al4V-Legierung.

[0015] Die Erwärmung des Ti-Werkstückes kann ausgehend von einem kalten Ofen oder auch in einem bereits vorgewärmten Ofen erfolgen. Die Aufheizkurve A ist bestimmt durch einen sich ab einer bestimmten Temperatur zunehmend abnehmenden Erwärmungsgradienten. Je geringer die Temperaturdifferenz zwischen der aktuellen Temperatur des Werkstückes und der Ofeneinstelltemperatur T_F ist, je geringer ist der Erwärmungsgradient. Im Zuge der fortschreitenden Erwärmung überschreitet die Temperatur des Werkstückes im Zeitpunkt t_1 die Obergrenze der Toleranz der β -Transustemperatur T_β . Um sicherzustellen, dass das Werkstück insgesamt auf eine Temperatur oberhalb der Obergrenze des Toleranzbereiches der β -Transustemperatur T_β erwärmt worden ist, liegt die Untergrenze des Temperaturniveaus T_H oberhalb der Obergrenze des Toleranzbereiches der β -Transustemperatur T_β . Wenn das Werkstück im Zeitpunkt t_2 die für das Halten vorgesehene Temperatur T_H erreicht hat, beginnt die bezüglich ihrer Dauer vordefinierte Haltezeit, die im vorliegenden Ausführungsbeispiel mit 30 Minuten gewählt ist. Nach Ablauf der Haltezeit, die in dem Diagramm der Figur 1 im Zeitpunkt t_3 eingetragen ist, wird das Werkstück aus dem Ofen entnommen und einem definierten Abkühlprozess unterworfen. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel der Aufheizkurve A beträgt das Zeitintervall zwischen den Zeitpunkten t_1 , t_2 etwa 15 - 20 Minuten.

[0016] Ist das Werkstück auf seine Haltetemperatur erwärmt worden, kann der Ofen auf ein niedrigeres Temperaturniveau abgesenkt werden. Dieses reduziert den Energieverbrauch und den, wenn auch geringen Einfluss der Temperatur auf das Kornwachstum oberhalb der β -Transustemperatur. Dieses geschieht im Zeitpunkt t_2 oder kurz danach. Abgesenkt werden kann die Ofentemperatur auf die zum Halten vorgesehene Temperatur, die bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel $T_\beta + 30^\circ\text{C} - 14^\circ\text{C}$ beträgt.

[0017] Dem vorstehend beschriebenen β -Glühen ist in Figur 1 das herkömmliche β -Glühen eines Ti-Werkstückes gegenübergestellt. Dieses Ti-Werkstück weist dieselbe Legierungszusammensetzung auf, wie dasjenige, welches mit dem erfindungsgemäßen β -Glühen warmbehandelt worden ist. Bei dem vorbekannten β -Glühen beträgt die Ofeneinstelltemperatur $T_F' = T_\beta + 30^\circ$ (1.000°C). Auch zu dieser Temperatur T_F' ist der Toleranzbereich oberhalb und unterhalb durch eine Rasterung kenntlich gemacht. Aufgrund der geringeren Ofeneinstelltemperatur T_F' , verglichen mit dem Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung, verläuft der Erwärmungsprozess des Werkstückes, in Figur 1 anhand seiner Aufwärmkurve A' strichpunktiert gezeigt, insgesamt langsamer. Im Zeitpunkt t_1' wird die Obergrenze des Toleranzbereiches der β -Transustemperatur überschritten und im Zeitpunkt t_2' die Untergrenze des Temperaturniveaus T_H der Haltezeit. Wird im Zeitpunkt t_2' das Temperaturniveau T_H überschritten, beginnt die 30-minütige Haltezeit.

[0018] Die Gegenüberstellung der beiden Aufheizkurven A, A' macht zum einen deutlich, dass der Beginn der Haltezeit bezogen auf den Gesamtprozess bei dem herkömmlichen β -Glühen (Aufheizkurve A') später einsetzt und daher die Prozessdauer länger ist als bei dem zur Aufheizkurve A beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren. Bei dem herkömmlichen Verfahren beträgt das Zeitintervall zwischen den Zeitpunkten t_1' und t_2' etwa 40 Minuten und ist daher etwa doppelt so lange wie bei dem zu der beanspruchten Erfindung im Wege des vorstehenden Ausführungsbeispiels be-

schriebenen Verfahren. Die bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kürzere Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt des Erreichens der β -Transustemperatur bzw. der Untergrenze des Toleranzbereiches derselben und dem Erreichen der Temperatur T_H erklärt nicht nur die höhere Prozesssicherheit dieses Verfahrens sondern auch, dass das mit diesem Verfahren β -geglühte Werkstück insgesamt feinkörniger ist und eine homogenere Korngrößenverteilung aufweist.

[0019] Bei den vorbeschriebenen Ti-Werkstücken, deren Aufheizkurven A, A' in Figur gegenüber gestellt sind, handelte es sich um zylindrische Probenkörper mit einem Durchmesser von 200 mm und einer Höhe von 125 mm. Im Anschluss an die jeweilige β -Glühung wurde eine Korngrößenuntersuchung an den beiden Werkstücken durchgeführt. Als Ergebnis zeigte sich, dass bei gemäß dem Stand der Technik durchgeführtem β -Glühen eine durchschnittliche Korngröße von 0,74 mm erzielt worden ist. Die gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren β -geglühte Probe wies dagegen eine durchschnittliche Korngröße von nur 0,58 mm auf. Zudem war festzustellen, dass die Abweichung der Korngrößen von dem vorgenannten Mittelwert bei der erfindungsgemäß β -geglühten Probe kleiner ist als bei derjenigen, die einem herkömmlichen β -Glühen unterworfen worden ist.

[0020] Figur 2 zeigt ein Korngrößenvergleichsdiagramm, in dem in Abhängigkeit von der Haltezeit der auch für die Glühversuche verwendeten Legierung Ti6Al4V die Korngröße aufgetragen ist. Eingetragen sind in dem Diagramm vier, sich hinsichtlich der Temperatur ihrer Haltezeit unterscheidende Kurven. Die vier Proben wiesen folgende Legierungszusammensetzung auf:

Al	V	Fe	O	C	N	H	Y	Andere, einzeln	Andere, Summe	Ti
5,92	3,82	0,18	0,11	0,006	0,005	0,0035	< 0,005	< 0,10	< 0,30	Rest

[0021] Die in Figur 2 aufgetragenen Kurven machen deutlich, dass in dem betrachteten Temperaturfenster ($T_\beta + 30^\circ\text{C}$ bis $T_\beta + 100^\circ\text{C}$) die Korngröße maßgeblich von der Haltezeit und nur untergeordnet von dem Temperaturniveau der Haltezeit abhängig ist. Die Kurven weichen nicht signifikant voneinander ab und befinden sich innerhalb der Messgenauigkeit. Dieses festzustellen war unerwartet und entsprach nicht der herrschenden Meinung.

[0022] Aus der Beschreibung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird deutlich, dass, je höher die Ofeneinstelltemperatur ist und damit je größer die Temperaturdifferenz zwischen der Ofeneinstelltemperatur und der Temperatur T_H , die den Beginn des Haltens definiert, ist, je kürzer ist die Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt des Erreichens der β -Transustemperatur und der Temperatur T_H . Mithin befindet sich dieser Zeitabschnitt in einem Bereich der Aufheizkurve mit einem größeren Erwärmungsgradienten. Da in dem Temperaturintervall zwischen T_β und T_H bereits Phasenänderungen eintreten können, diese Zeitspanne jedoch nicht zur Haltezeit zählt, wird deutlich, dass diese in Bezug auf die normierten Verfahren nicht definierte Zeitspanne bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erheblich minimiert worden ist. Folglich ist die Prozesssicherheit der mit diesem Verfahren warmbehandelten Ti-Werkstücke entsprechend größer.

[0023] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben worden. Versuche haben gezeigt, dass sich ebenfalls andere Ti-Legierungen zum Durchführen dieses β -Glühens eignen, wie beispielsweise eine Ti6Al4V ELI oder eine Ti 6-22-22-Legierung. Darüber hinaus eignet sich dieses β -Glühverfahren auch für andere α - β -Ti-Legierungen.

Patentansprüche

- Verfahren zum Wärmebehandeln eines aus einer Titanlegierung hergestellten Werkstückes zum Einstellen eines feinkörnigen Gefüges durch Glühen des Werkstückes oberhalb seiner β -Transustemperatur (T_β) (β -Glühen), wobei das Werkstück in einem Ofen auf ein Temperaturniveau (T_H) oberhalb seiner β -Transustemperatur (T_β) erwärmt wird und das Temperaturniveau (T_H) seine Untergrenze bei dem für das anschließende Halten des Werkstückes für den β -Glühprozess bestimmten Temperatur hat, und das Erreichen des Temperaturniveaus (T_H) den Beginn einer bezüglich seiner Dauer vordefinierten Haltezeit bestimmt und das Werkstück für die Dauer der Haltezeit auf dem Temperaturniveau (T_H) belassen wird, bevor es einem Abkühlprozess unterworfen wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wärmebehandlung in einem Ofen durchgeführt wird, dessen eingestellte Ofentemperatur (T_F) zum Erwärmen des Werkstückes auf das zum Durchführen des Haltens vorgesehene Temperaturniveau oberhalb des den Beginn der Haltezeit bestimmenden Temperaturniveaus (T_H) des Werkstückes liegt, wobei die eingestellte Ofentemperatur zum Erwärmen des Werkstückes auf seine Haltetemperatur (T_H) wenigstens 20°C oberhalb des für das Halten vorgesehenen Temperaturniveaus (T_H) liegt.
- Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Erwärmen des Werkstückes auf das Temperaturniveau (T_H) die Ofentemperatur auf eine niedrigere Ofentemperatur abgesenkt wird.
- Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ofen auf das den Beginn der Haltezeit bestimm-

mende Temperaturniveau (T_H) abgesenkt wird.

4. Verfahren einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ofeneinstelltemperatur 50°C oberhalb der β -Transustemperatur (T_β) liegt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die eingestellte Ofentemperatur zum Erwärmen des Werkstückes auf seine Haltetemperatur (T_H) nicht mehr als 100°C oberhalb des für das Halten vorgesehenen Temperaturniveaus (T_H) liegt.

Claims

1. Method for the heat treatment of a workpiece produced from a titanium alloy for obtaining a fine-grained microstructure by annealing the workpiece above its β -transus temperature (T_β) (β -annealing), wherein the workpiece is heated in a furnace to a temperature level (T_H) above its β -transus temperature (T_β), and the temperature level (T_H) has its lower limit at the temperature determined for the subsequent holding of the workpiece for the β -annealing process, and the reaching of the temperature level (T_H) determines the beginning of a predefined holding time, and the workpiece is left at the temperature (T_H) for the duration of the holding time before being subjected to a cooling process, **characterised in that** the heat treatment is carried out in a furnace of which the furnace temperature (T_F) set for the heating of the workpiece to the temperature level intended for carrying out the holding procedure is above the temperature level (T_H) which determines the beginning of the holding time, wherein the furnace temperature set for the heating of the workpiece to its holding temperature (T_H) is at least 20°C above the temperature level (T_H) intended for the holding process.
2. Method according to claim 1, **characterised in that**, after the heating of the workpiece to the temperature level (T_H), the furnace temperature is reduced to a lower furnace temperature.
3. Method according to claim 2, **characterised in that** the furnace is reduced to the temperature level (T_H) which determines the beginning of the holding period.
4. Method according to one of claims 1 to 3, **characterised in that** the furnace temperature which is set is 50°C above the β -transus temperature (T_β).
5. Method according to one of claims 1 to 4, **characterised in that** the furnace temperature which is set for heating the workpiece to its holding temperature (T_H) is not more than 100°C above the temperature level (T_H) intended for the holding process.

Revendications

1. Procédé pour le traitement thermique d'une pièce à usiner fabriquée à partir d'un alliage de titane pour la mise au point d'une structure à grains fins par recuit de la pièce à usiner au-dessus de sa température transus β (T_β) (recuit β), la pièce à usiner étant chauffée dans un four à un niveau de température (T_H) au-dessus de sa température transus β (T_β) et le niveau de température (T_H) ayant son seuil inférieur à la température définie pour le processus de recuit β à laquelle doit ensuite être maintenue la pièce à usiner et l'atteinte du niveau de température (T_H) déterminant le début d'un temps de maintien prédéfini en ce qui concerne la durée et la pièce à usiner étant laissée pendant le temps de maintien au niveau de température (T_H) avant de la soumettre à un processus de refroidissement, **caractérisé en ce que** le traitement thermique est réalisé dans un four dont la température du four (T_F), réglée pour le chauffage de la pièce à usiner au niveau de température prévu pour le maintien, se situe au-dessus du niveau de température (T_H) de la pièce à usiner déterminant le début du temps de maintien, la température du four, réglée pour le chauffage de la pièce à usiner à sa température de maintien (T_H), se situant au moins 20°C au-dessus du niveau de température (T_H) prévu pour le maintien.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, après chauffage de la pièce à usiner au niveau de température (T_H), la température du four est ramenée à une température du four plus basse.
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le four est ramené à un niveau de température (T_H) déterminant le début du temps de maintien.

EP 2 393 952 B1

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la température de réglage du four se situe 50 °C au-dessus de la température transus β (T_{β}).
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la température du four réglée pour chauffer la pièce à usiner à sa température de maintien (T_H) se situe à pas plus de 100 °C au-dessus du niveau de température (T_H) prévu pour le maintien.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

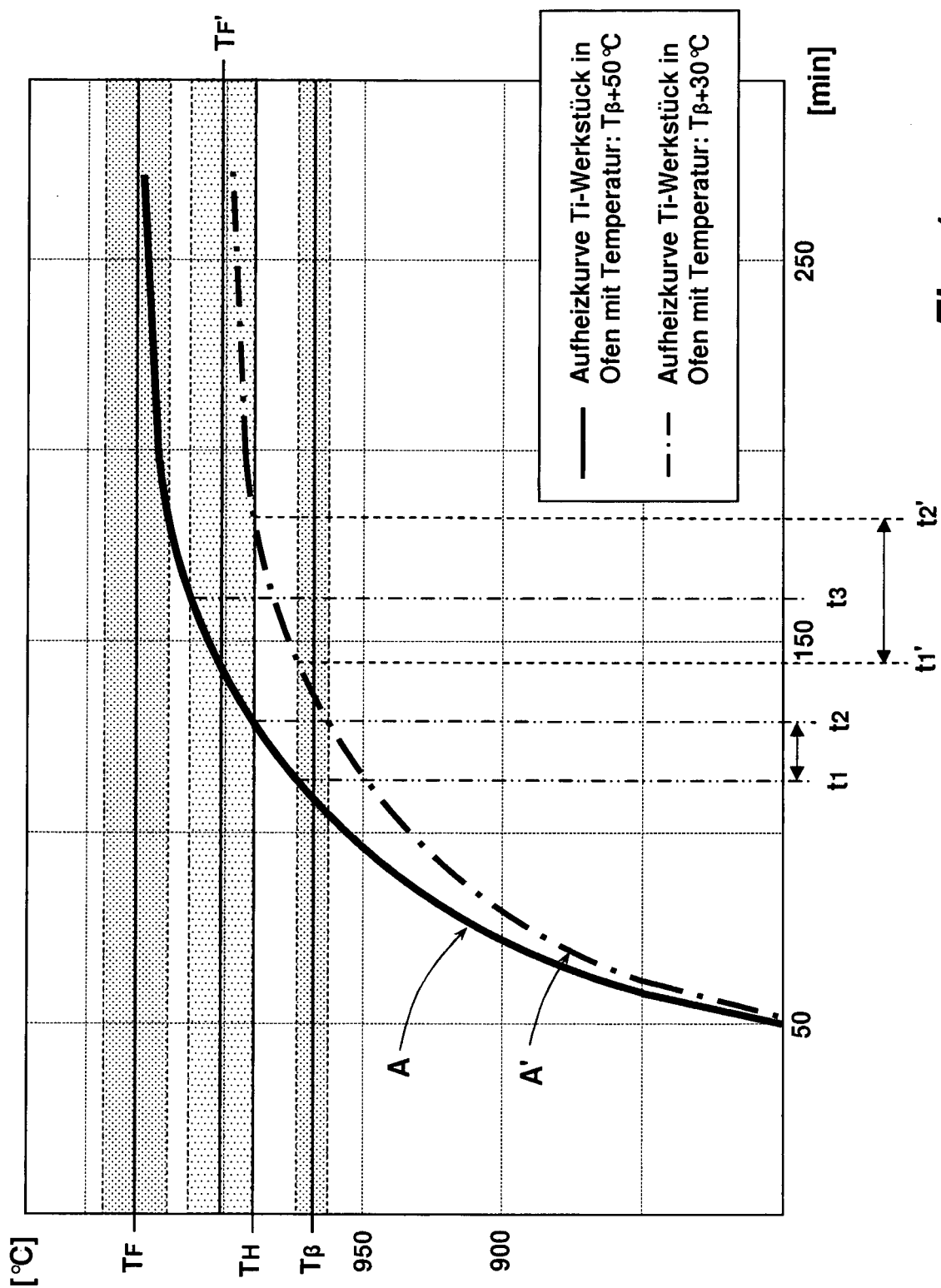
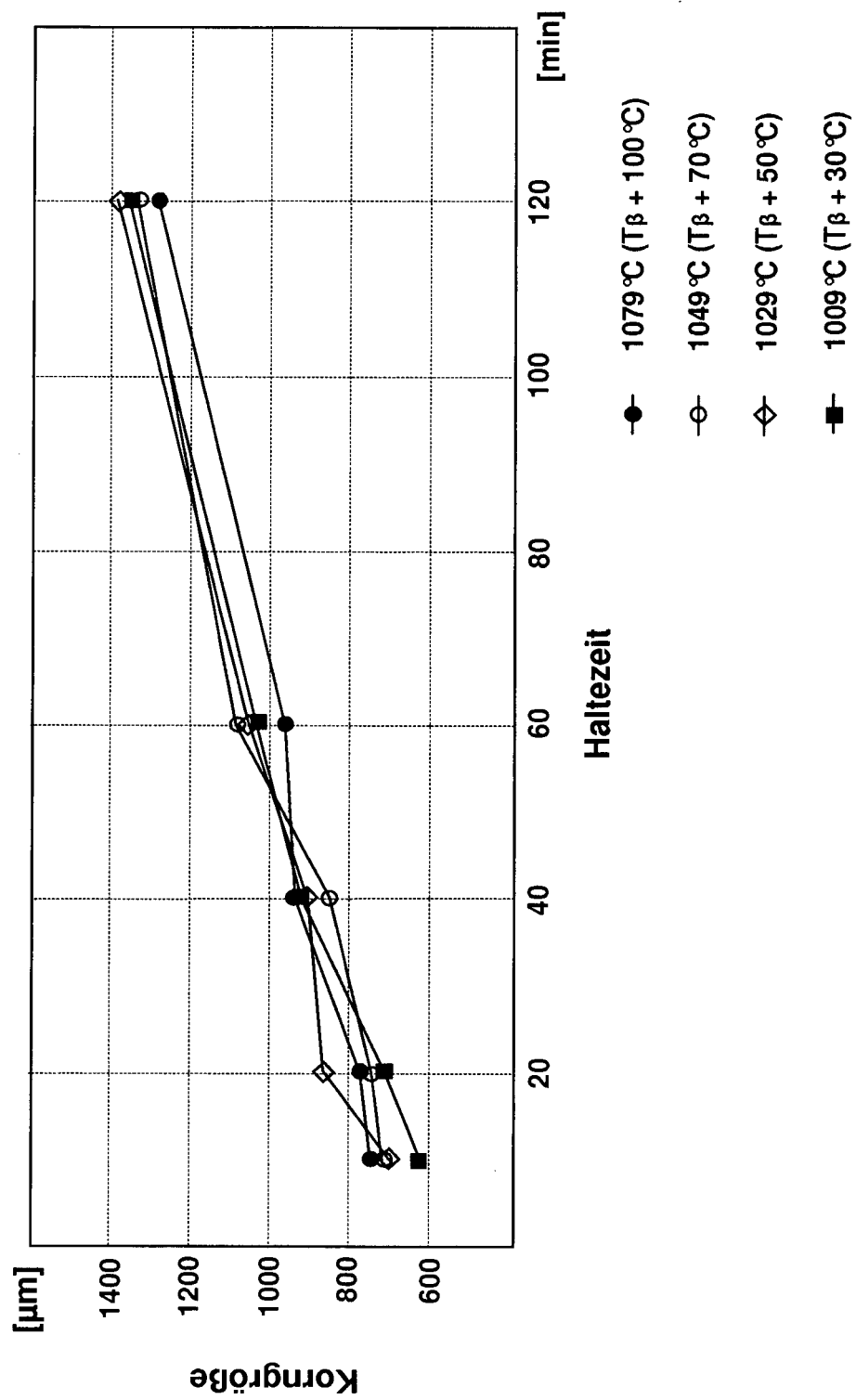


Fig. 1

**Fig. 2**

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- GB 1141409 A [0004]