

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50049/2023
(22) Anmeldetag: 30.01.2023
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2025

(51) Int. Cl.: **C22C 14/00** (2006.01)
C22F 1/16 (2006.01)
C21D 8/00 (2006.01)
C21D 8/04 (2006.01)
B21C 1/00 (2006.01)
B21C 9/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2017146046 A1
US 2014261922 A1
US 2003223902 A1
US 2001041148 A1
EP 0969109 A1
EP 0663453 A1

(73) Patentinhaber:
LKR Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen
GmbH
5282 Braunau am Inn - Ranshofen (AT)

(72) Erfinder:
Nietsch Jürgen A.
51675 Wiehl (DE)
Kunschert Georg Dr.
1030 Wien (AT)
Cerny Angelika Dipl.-Ing.
3613 Albrechtsberg an der Großen Krems (AT)
Grabner Florian Dipl.-Ing.
4210 Katsdorf (AT)
Denk Michael
5280 Braunau am Inn (AT)

(74) Vertreter:
WIRNSBERGER & LERCHBAUM
Patentanwälte OG
8700 Leoben (AT)

(54) **Verfahren zur Herstellung eines Objektes aus einer alpha-beta-Titanlegierung und damit hergestelltes Objekt**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Objektes aus einer α - β -Titanlegierung, insbesondere zur Herstellung eines umgeformten Bleches aus einer α - β -Titanlegierung. Erfindungsgemäß sind bei einem solchen Verfahren folgende Verfahrensschritte vorgesehen:

- Vorwärmen des Objektes auf eine Vorwärmtemperatur;
- Einstellen eines β -Phasenanteils in einem Gefüge des Objektes;
- Abkühlen des Objektes auf eine Umformtemperatur;
- Umformen des Objektes bei Umformtemperatur.

Des Weiteren betrifft die Erfindung ein mit einem derartigen Verfahren hergestelltes Objekt.

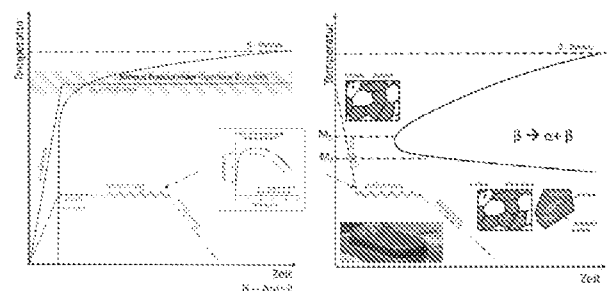


Fig. 1

Beschreibung

VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES OBJEKTES AUS EINER α - β -TITANLEGIERUNG UND DAMIT HERGESTELLTES OBJEKT

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Objektes aus einer α - β -Titanlegierung, insbesondere zur Herstellung eines umgeformten Bleches aus einer α - β -Titanlegierung.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung ein mit einem solchen Verfahren hergestelltes Objekt.

[0003] Titanlegierungen sind Werkstoffe, welche zwar relativ teuer sind, aber viele günstige Eigenschaften aufweisen, weshalb solche Legierungen trotz hoher Kosten in einzelnen technologischen Bereichen mit Vorteil eingesetzt werden. Hierzu zählen beispielsweise Hochtechnologien im Bereich der Kraftfahrzeugtechnik und der Luft- und Raumfahrt, aber auch Anwendungen im medizinischen Bereich wie beispielsweise Implantate.

[0004] Ein signifikanter Vorteil von Titanlegierungen besteht in den exzellenten Festigkeitseigenschaften, welche jene von vergüteten Stählen erreichen können und welche so temperaturbeständig sind, dass Komponenten aus solchen Legierungen auch bei höheren Temperaturen verwendet werden können, wie diese beispielsweise bei Anwendungen in der Kraftfahrzeugtechnik oder der Luft- und Raumfahrt auftreten. Auch eine Korrosionsbeständigkeit ist vielen anderen Materialien überlegen, weshalb Titanlegierungen häufig für die vorstehend erwähnten Implantate eingesetzt werden. Hinzu kommt vom Eigenschaftsspektrum noch eine gegenüber Stahl deutlich geringere spezifische Dichte, was für viele Anwendungen ein ideales Eigenschaftsspektrum bietet.

[0005] Reines Titan liegt bei Raumtemperatur und bis 882 °C als hexagonales α -Titan vor. Bei 882 °C geht das hexagonale α -Titan in kubisch raumzentriertes β -Titan über. Der Übergangspunkt wird als β -Transus bezeichnet. Titanlegierungen können ebensolche Übergangspunkte aufweisen, allerdings bei anderen Temperaturen. Durch Zulegieren geeigneter Elemente, insbesondere Chrom, Kupfer, Eisen, Mangan, Molybdän, Niob, Vanadium und/oder Tantal kann die an sich nur bei höheren Temperaturen thermodynamisch stabile β -Phase bis auf Raumtemperatur stabilisiert werden. Dies bedeutet, dass durch Zulegieren geeigneter Legierungselemente eine α - β -Titanlegierung erhalten werden kann. Ein Anteil an β -Phase begünstigt eine Umformbarkeit und führt auch zu geänderten Materialkennwerten. Somit können je nach Anteil der β -Phase auch die Eigenschaften gesteuert werden können. Die β -Phase ist insbesondere deswegen interessant, weil mit der β -Phase außerordentlich hohe Festigkeitswerte erzielt werden können.

[0006] Für die Herstellung eines endabmessungsnahen Objektes ist es wie auch in anderen metallurgischen Bereichen in der Regel erforderlich, ein Objekt aus einer gegebenen Titanlegierung geeignet umzuformen. Hierfür hat sich in den letzten Jahren beim Blechumformen das relativ langsame und deswegen auch energieintensive superplastische Umformen gegenüber dem bis dahin dominierenden Warmtiefziehen durchgesetzt.

[0007] Beim Warmtiefziehen bei etwa 650 °C ist ein relativ hoher Energieeinsatz für die Erwärmung des Werkzeuges und ein Einsatz von teuren Werkzeugwerkstoffen wie Nickellegierungen erforderlich, was nachteilig ist. Zudem sind die Grenzziehverhältnisse im Vergleich mit einem superplastischen Umformen limitiert und die Möglichkeiten einer Einstellung der Eigenschaften des fertigen Produktes kaum gegeben. Ein superplastisches Umformen wiederum ist langsam und mit einem hohen Energieaufwand verbunden.

[0008] Davon ausgehend ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, welches bei optimierten Energieeinsatz eine gezielte Einstellung der Eigenschaften eines Objektes aus einer α - β -Titanlegierung ermöglicht.

[0009] Ein weiteres Ziel der Erfindung ist es, ein entsprechend hergestelltes Objekt anzugeben.

[0010] Die verfahrensmäßige Aufgabe wird gelöst, wenn bei einem Verfahren der eingangs genannten Art folgende Verfahrensschritte vorgesehen sind:

- a) Vorwärmen des Objektes auf eine Vorwärmtemperatur;
- b) Einstellen eines β -Phasenanteils in einem Gefüge des Objektes;
- c) Abkühlen des Objektes auf eine Umformtemperatur;
- d) Umformen des Objektes bei Umformtemperatur.

[0011] Ein erfindungsgemäßes Verfahren bietet mehrere Vorteile: Zunächst kann durch das vorgesehene Vorwärmen sowie das Einstellen eines Anteils an β -Phase auf einer Vorwärmtemperatur oder in einem geeigneten Temperaturbereich ein Grundstein für die späteren mechanischen Eigenschaften des umgeformten, insbesondere tiefgezogenen, Objektes gelegt werden. Durch die Wahl einer Vorwärmtemperatur und einer Haltezeit bei der Vorwärmtemperatur oder in einem bestimmten Temperaturbereich, jeweils unterhalb von β -Transus kann der Anteil der β -Phase eingestellt werden. Dabei wird gleichzeitig eine geeignete Korngröße eingestellt, wobei Grobkorn vermieden wird. Beim nachfolgenden Abkühlen des Objektes auf die Umformtemperatur wandelt sich ein Teil der β -Phase wieder um, ein anderer Anteil verbleibt jedoch im Gefüge. Letzteres verändert eine Festigkeit sowie ein Verfestigungsverhalten, unter anderem dadurch, dass dieser Anteil im metastabilen Zustand oder als Rest einer umgewandelten β -Phase im Gefüge verbleibt. Die gewählte Abfolge der Verfahrensschritte führt auch dazu, dass höhere Zugspannungen angewendet werden können, sodass es beispielsweise bei der Herstellung eines Topfes aus einer entsprechenden α - β -Titanlegierung im Vergleich mit dem Stand der Technik erst später zu einer Rissbildung kommt. Es können somit auch größere Grenzziehverhältnisse realisiert werden. Dies ist insbesondere von Bedeutung, wenn als Umformschritt ein Tiefziehen angewendet wird, was der Regelfall ist. Schließlich ist auch der Energieeinsatz im Vergleich mit einem üblichen Warmtiefziehen vermindert. Zwar muss das Ausgangsmaterial aus der α - β -Titanlegierung, insbesondere ein entsprechendes Blech, auf eine höhere Temperatur als beim Warmtiefziehen vorerwärmt werden, allerdings kann im Gegenzug bei tieferen Temperaturen umgeformt werden, sodass sich insgesamt eine Energieersparnis ergibt. Es können auch günstigere Werkzeuge eingesetzt werden, da diese weniger temperaturbeständig sein müssen.

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich insbesondere auch industriell gut anwenden. In der Regel ist nämlich nach dem Vorwärmvorgang in einem Ofen oder entlang einer Erwärmungsstrecke ein Transport des umzuformenden Objektes wie beispielsweise ein Blech zu einer Umformstation erforderlich. Der Schritt des Abkühlens auf die Umformtemperatur kann mit dem Transport des Bleches kombiniert werden, sodass sich auch im industriellen Verfahrensablauf ein zeitlich optimierter Prozess ergibt.

[0013] Ein erfindungsgemäßes Verfahren kann für beliebige Objekte angewendet werden, insbesondere Strukturbauteile für die Luft- und Raumfahrt. Beispielsweise lassen sich mit einem erfindungsgemäßen Verfahren Flugzeugnasen oder andere Bauteile für Flugzeuge, beispielsweise Schaltkästen, herstellen.

[0014] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren werden geeignete Titanlegierungen eingesetzt, insbesondere auch solche, welche Elemente als Legierungsbestandteile aufweisen, welche die β -Phase stabilisieren können, wie insbesondere Chrom, Kupfer, Eisen, Mangan, Molybdän, Niob, Vanadium und/oder Tantal. Aluminium und/oder Sauerstoff können in diesem Zusammenhang als α -stabilisierende Elemente ebenfalls vorgesehen sein. Eine bevorzugte Legierung ist die für viele Anwendungen gängige Titanlegierung Ti-6Al-4V (Ti64).

[0015] Die Vorwärmtemperatur wird üblicherweise so gewählt, dass diese mindestens 100 °C, vorzugsweise mindestens 150 °C, insbesondere mindestens 180 °C, beispielsweise 200 °C bis 450 °C, über der Umformtemperatur liegt. Aus Gründen der Energieeffizienz kann eine möglichst große Temperaturdifferenz zwischen der Vorwärmtemperatur im Schritt a) und der Umformtemperatur im Schritt c) günstig sein. Typische Vorwärmtemperaturen liegen im Bereich von 700 °C bis 900 °C, insbesondere 720 °C bis 850 °C. Eine Haltedauer wird üblicherweise so eingestellt, dass das Objekt vollständig durcherwärmt wird. Ein Aufheizen auf die Vorwärmtemperatur kann innerhalb von 120 s erfolgen.

[0016] Eine Umformtemperatur wird zweckmäßigerweise im Bereich von 375 °C bis 580 °C, vorzugsweise 380 °C bis 570 °C, insbesondere 400 °C bis 550 °C, gewählt. Über die Umformtem-

peratur sowie die Umformgeschwindigkeit einschließlich weiterer Abkühlung wird das Gefüge gezielt eingestellt. Dies hängt davon ab, wie die Abkühlkurve im Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubild (ZTU-Schaubild) zu liegen kommt. Die Umformung samt nachfolgender Abkühlung kann so durchgeführt werden, dass sich die β -Phase teilweise in Lamellen aus α -Phase und eine verbleibende metastabile β -Phase oder auch martensitisch umwandelt. Neben einer hohen Festigkeit wird dabei auch eine vorteilhafte Gleichmaßdehnung erhalten. Die nachfolgende Abkühlung auf Raumtemperatur kann aber bei Bedarf so erfolgen, dass die Abkühlkurve den Bereich bzw. die Nase im ZTU-Schaubild durchläuft, in welchem die β -Phase deutlich stärker in die α -Phase umwandelt.

[0017] Im Rahmen der Erfindung ist vorgesehen, dass das Objekt innerhalb einer vorbestimmten Zeitdauer von einer Vorwärmtemperatur auf eine Umformtemperatur abgekühlt wird. Die Abkühlung erfolgt mit Vorteil relativ zügig. Als günstig hat es sich erwiesen, wenn das Objekt innerhalb von 60 s, vorzugsweise innerhalb von 30 s, insbesondere in weniger als 20 s, von einer Vorwärmtemperatur auf eine Umformtemperatur abgekühlt wird. Je nach Dimension des Objektes kann die Abkühlung auf die Umformtemperatur passiv oder gegebenenfalls aktiv durch Kühlung mit Luft oder einem flüssigen Medium erfolgen. Nach dem eigentlichen Umformprozess erfolgt dann in der Regel eine weitere Abkühlung auf Raumtemperatur. Diese weitere Abkühlung auf Raumtemperatur erfolgt in der Regel passiv, indem das fertige Objekt auf Raumtemperatur abkühlen gelassen wird. Eine aktive Kühlung ist aber ebenfalls möglich. Nach der Abkühlung auf Raumtemperatur können weitere Bearbeitungsschritte erfolgen, um eine weitere Festigkeitssteigerung hervorzurufen, beispielsweise eine weitere Temperaturbehandlung, beispielsweise eine Wärmebehandlung oder ein Tiefkühlen, und/oder weitere formgebende oder spanabhebende Prozesse sowie Verfahren zur Oberflächenbehandlung. Die erzielten mechanischen Eigenschaften erlauben es aber auch, auf eine festigkeitssteigernde Wärmebehandlung zu verzichten, sofern die Umformung unterhalb der Martensitstarttemperatur stattfindet und/oder sich nach dem Abkühlen nach dem Umformen ein entsprechender Gefügezustand einstellt; es genügt dann ein Glühen zum Reduzieren von Eigenspannungen.

[0018] Das Objekt wird vorzugsweise im Vergleich mit einer Umformung in einem superplastischen Umformprozess rasch verformt. Vorteilhafterweise beträgt eine Umformgeschwindigkeit 0,001 1/s bis 4 1/s, insbesondere 0,005 1/s bis 2,0 1/s, beispielsweise 0,005 1/s bis 1,0 1/s.

[0019] Das Umformen kann oberhalb einer Martensitstarttemperatur der β -Phase durchgeführt werden, was für eine günstige Gefügebildung von Vorteil sein kann. Die Umformtemperatur kann aber auch in das Martensittemperaturfenster abgesenkt werden, um eine Umformung mit günstigeren Werkzeugen durchführen zu können. Ein Umformen unterhalb einer Martensittemperatur der β -Phase ist somit im Rahmen der Erfindung ebenfalls möglich. Eine Umformtemperatur steht dabei im Zusammenhang mit der Vorwärmtemperatur, welche darüber entscheidet, ob die Umformung oberhalb oder unterhalb der Martensitstarttemperatur der β -Phase erfolgt.

[0020] Es kann sich als günstig erweisen, das Objekt vor und/oder während des Umformens mit einem Schmiermittel beaufschlagt wird, das eine Umformung, insbesondere bei einem Tiefziehen, begünstigt.

[0021] Das weitere Ziel der Erfindung wird durch ein Objekt erreicht, welches nach einem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt ist. Das Objekt zeichnet sich durch eine hohe Festigkeit und ein vorteilhaft feinkörniges Gefüge aus, welches durch die vorgesehenen Prozessschritte erreicht wird. Eine durchschnittliche Korngröße des Gefüges beträgt, gemessen nach dem standardisierten Linienschnittverfahren, etwa 1 μm bis 10 μm , bevorzugt 3 μm bis 8 μm . Das Gefüge ist in der Regel im Wesentlichen frei von Grobkorn. Ein Anteil an β -Phase im finalen Objekt liegt bevorzugt zwischen 10 Vol.-% und 80 Vol.-%, insbesondere zwischen 15 Vol.-% und 70 Vol.-%, beispielsweise 22 Vol.-% bis 60 Vol.-%.

[0022] Weitere Merkmale, Vorteile und Wirkungen der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgenden Ausführungsbeispielen. In den Zeichnungen, auf welche dabei Bezug genommen wird, zeigen:

- [0023]** Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Aufheizkurve (links) sowie einer nachfolgenden Abkühlkurve (rechts) für eine Umformung unterhalb der Martensitstarttemperatur;
- [0024]** Fig. 2 eine schematische Darstellung analog jener in Fig. 1 mit verschiedenen Abkühlkurven für eine Umformung oberhalb der Martensitstarttemperatur bzw. im Bereich der Martensitbildung;
- [0025]** Fig. 3 ein Diagramm mit einem Temperaturverlauf während eines erfindungsgemäßen Verfahrens;
- [0026]** Fig. 4 eine Darstellung zur Berechnung eines exponentiellen Verfestigungskoeffizienten in Abhängigkeit einer Vorwärmtemperatur;
- [0027]** Fig. 5 ein Diagramm zu einem Fließverhalten für unterschiedlich vorbehandelte Bleche.

[0028] In Fig. 1 und Fig. 2 ist das Konzept eines erfindungsgemäßen Verfahrens schematisch dargestellt. Links ist jeweils der Temperaturverlauf während eines Aufheizens gezeigt, wohingegen rechts der Temperaturverlauf in einem ZTU-Schaubild dargestellt ist. Wie insbesondere in Fig. 1 auf der linken Seite ersichtlich ist, wird ein umzuformendes Objekt auf eine Temperatur unterhalb von β -Transus erwärmt, bei welcher sich ein bestimmter Anteil an β -Phase einstellt, zum Beispiel bei 820 °C. Die Erwärmung kann relativ rasch erfolgen, beispielsweise innerhalb von 120 s. Anschließend wird das Objekt auf der Vorwärmtemperatur gezielt gehalten, bis das Objekt vollständig auf der gewünschten Temperatur und damit durcherwärmt ist ohne übermäßiges Kornwachstum hervorzurufen. Dies stellt eine homogene Gefügestruktur einschließlich einer erforderlichen Korngröße vor der Umformung sicher.

[0029] Anschließend erfolgt entsprechend den ZTU-Schaubildern auf der rechten Seite in Fig. 1 und Fig. 2 ein Abkühlen des Objektes auf eine gewünschte Umformtemperatur. Die Abkühlung erfolgt vergleichsweise schnell, beispielsweise in einem Zeitfenster von 3 s bis 60 s. Insbesondere kann ein Abkühlen während eines Transportes eines Bleches von einem Ofen zu einer Umformstation erfolgen. Die Abkühlung erfolgt in der Regel sehr rasch, beispielsweise innerhalb von 60 s. Anschließend erfolgt die Umformung, wonach das umgeformte Objekt ohne aktive Kühlung abkühlen gelassen oder alternativ einer gesteuerten Abkühlung unterworfen wird, bis das Objekt Raumtemperatur erreicht hat. Das Objekt kann dann weiteren Behandlungsschritten unterworfen werden, beispielsweise weiteren Wärmebehandlungen oder Verarbeitungsschritten wie spanabhebende Bearbeitung.

[0030] In Fig. 1 ist auf der linken Seite schematisch auch der Prozess eines üblichen Warmtiefziehens dargestellt. Dabei wird das Objekt auf eine Umformtemperatur erwärmt, bei dieser umgeformt und anschließend abkühlen gelassen. Diese Darstellung ist nicht skaliert, da eine Umformtemperatur beim Warmtiefziehen etwa im Bereich von 650 °C liegt.

[0031] Wie in Fig. 1 auf der rechten Seite ersichtlich ist, kann beim Abkühlen die Starttemperatur für eine Martensitbildung (M_s) sowie eine finale Martensittemperatur (M_f) durchlaufen werden und erfolgt dann eine Umformung unterhalb des entsprechenden Temperaturfensters. Resultat ist ein Gefüge, wie dieses in Fig. 1 rechts dargestellt ist, nämlich aus Korn aus einer α -Phase sowie umgewandelter β -Phase, die aus metastabiler β -Phase sowie α -Phase besteht. Es ist aber auch möglich, wie in Fig. 2 auf der rechten Seite angedeutet, die Abkühlung so zu fahren, dass in die Nase des ZTU-Schaubildes hineingefahren wird. Dadurch lässt sich ein anderes Gefüge erreichen, in welchem β -Phase neben der α -Phase existiert. Somit lässt sich durch eine gezielte Temperaturführung beim Abkühlen eine Gefügebildung steuern. Dabei kann auch, wie in Fig. 2 rechts dargestellt, eine Umformtemperatur über dem Martensitfenster liegen.

[0032] In Fig. 3 ist ein Temperaturverlauf ersichtlich, wie dieser typischerweise bei der Umformung eines Bleches als Objekt zur Herstellung eines entsprechenden Objektes aus einer α - β -Titanlegierung angewendet wird.

[0033] Fig. 4 zeigt eine Abhängigkeit des Verfestigungsexponenten von der Temperatur der Vorwärmung. Über diesen weiteren Parameter kann die Festigkeit festgelegt werden.

[0034] Fig. 5 zeigt ein Diagramm zu einem Fließverhalten bei 500 °C für erfindungsgemäß vorbehandeltes Material im Vergleich mit unbehandeltem Material. Es ist ersichtlich, dass das vorbehandelte Material ein deutlich besseres Fließverhalten aufweist.

[0035] Ein erfindungsgemäßes Verfahren bietet somit die Möglichkeit, Gefüge und Festigkeiten einzustellen, wobei höhere Grenzziehverhältnisse erreicht werden können, und dies mit einem vergleichsweise niedrigen Gesamtenergiebedarf.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Objektes aus einer α - β -Titanlegierung, insbesondere zur Herstellung eines umgeformten Bleches aus einer α - β -Titanlegierung, umfassend folgende Verfahrensschritte:
 - a) Vorwärmen des Objektes auf eine Vorwärmtemperatur von 700 °C bis 900 °C;
 - b) Einstellen eines β -Phasenanteils in einem Gefüge des Objektes;
 - c) Abkühlen des Objektes auf eine Umformtemperatur von 375 °C bis 580 °C;
 - d) Umformen des Objektes bei Umformtemperatur.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Objekt auf eine Vorwärmtemperatur erwärmt wird, die mindestens 100 °C, vorzugsweise mindestens 150 °C, insbesondere mindestens 180 °C, beispielsweise 200 °C bis 450 °C, über der Umformtemperatur liegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Objekt bei einer Umformtemperatur von 380 °C bis 570 °C, insbesondere 400 °C bis 550 °C, umgeformt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Objekt innerhalb von 60 s, vorzugsweise innerhalb von 30 s, insbesondere in weniger als 20 s, von einer Vorwärmtemperatur auf eine Umformtemperatur abgekühlt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Objekt mit einer Umformgeschwindigkeit von 0,001 1/s bis 4 1/s, insbesondere 0,005 1/s bis 2,0 1/s, beispielsweise 0,005 1/s bis 1,0 1/s, umgeformt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Umformen oberhalb einer Martensitstarttemperatur der β -Phase durchgeführt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Objekt vor und/oder während des Umformens mit einem Schmiermittel beaufschlagt wird.
8. Objekt, erhältlich nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

1/5

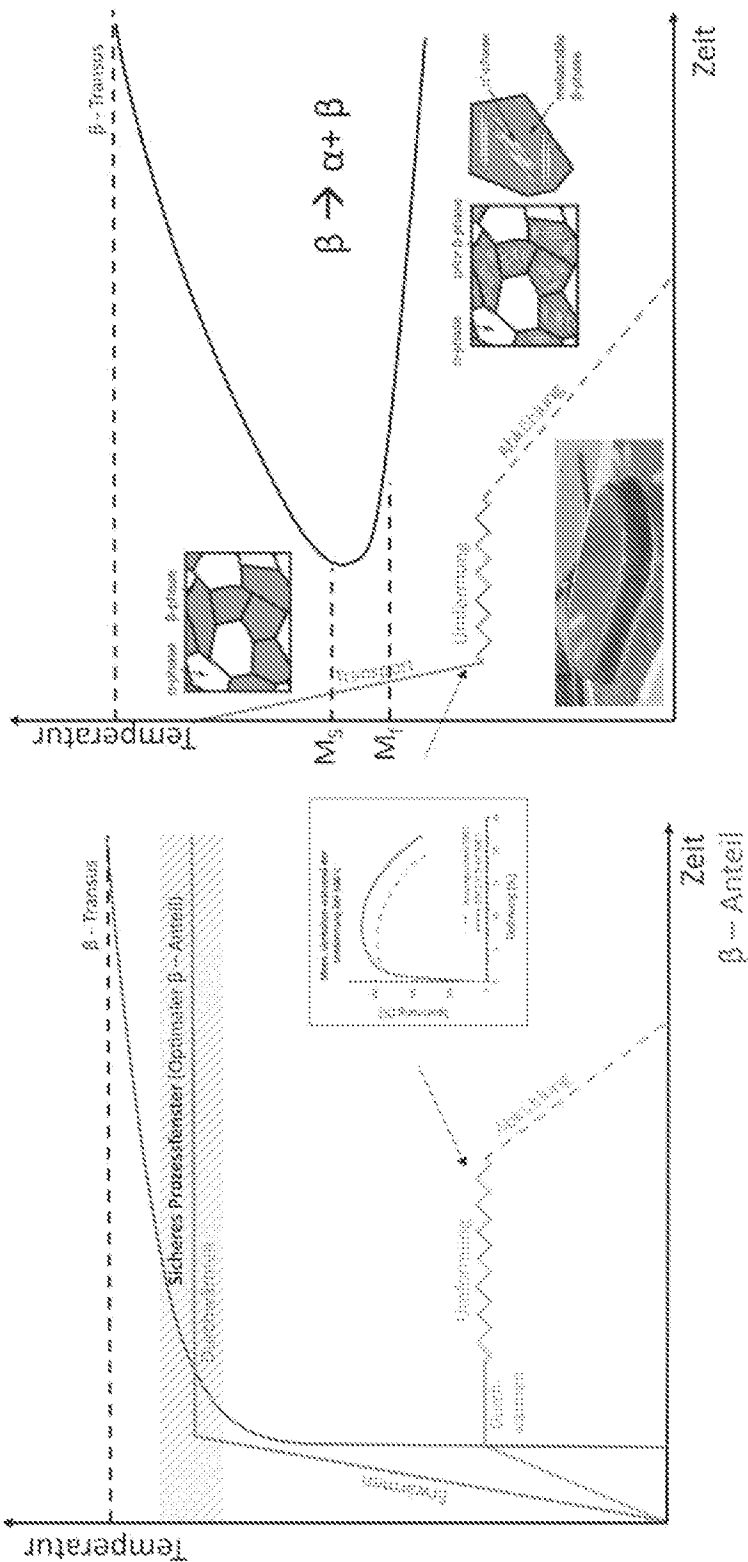


Fig. 1

3/5

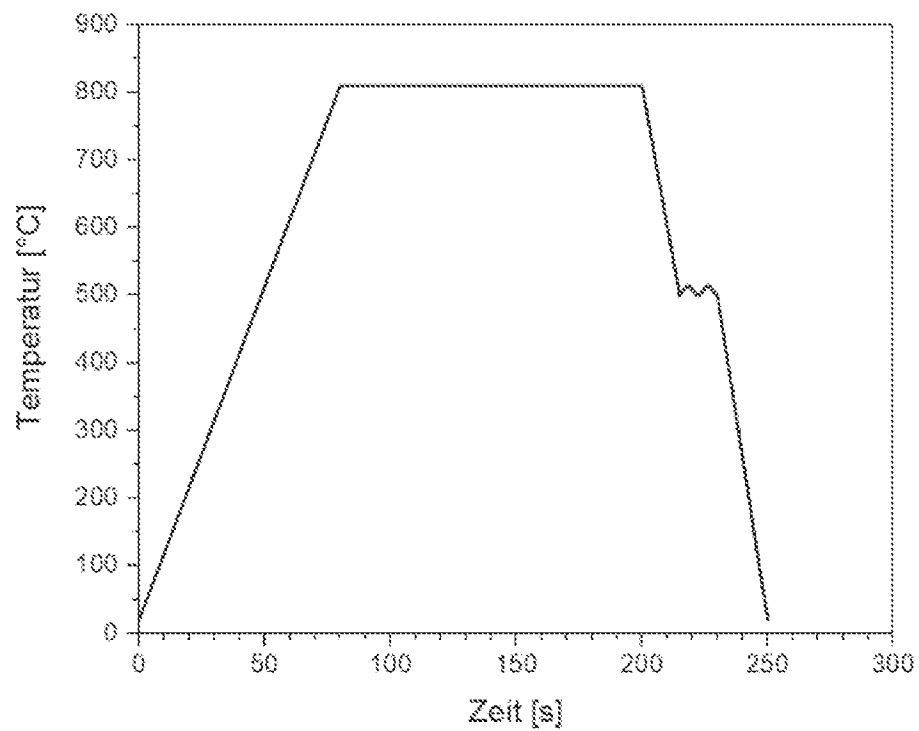


Fig. 3

4/5

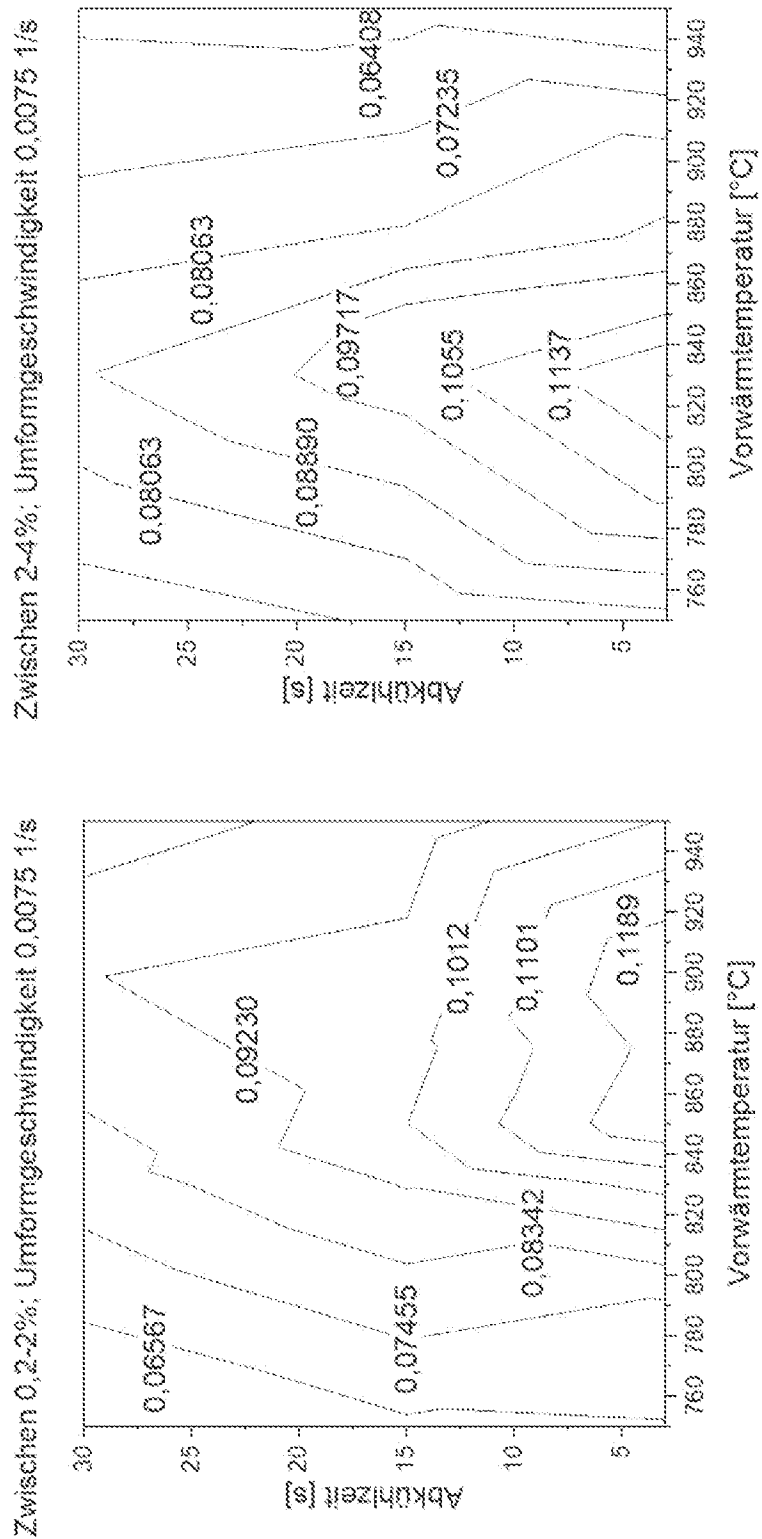


Fig. 4

5/5

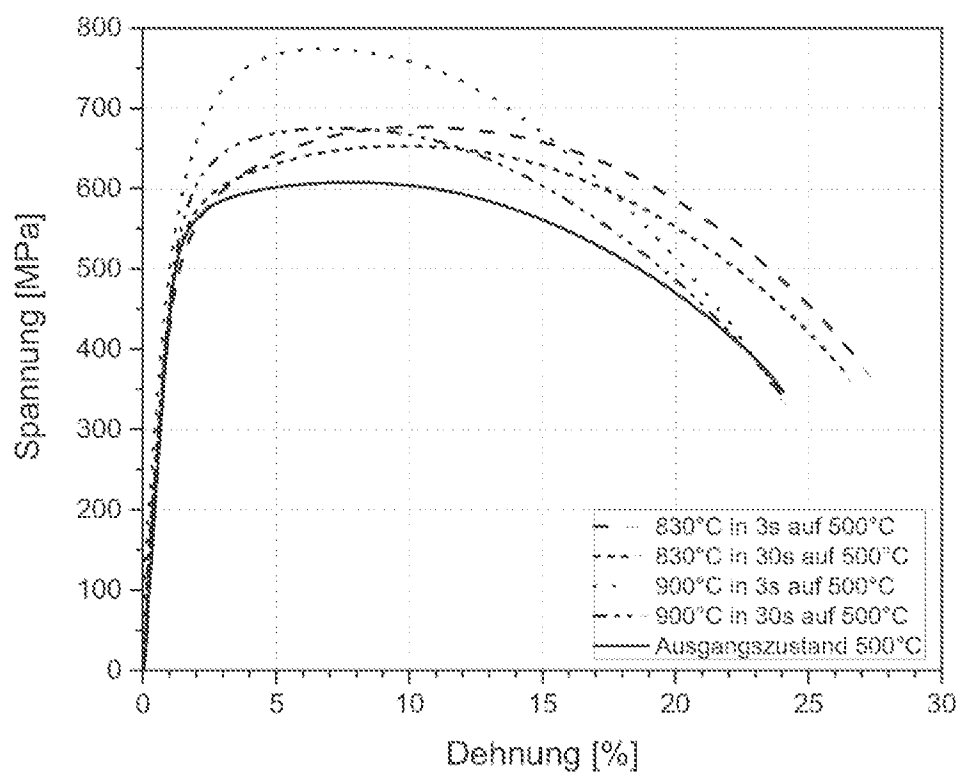


Fig. 5