



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 045 883 A1** 2006.04.06

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 045 883.9**

(22) Anmeldetag: **22.09.2004**

(43) Offenlegungstag: **06.04.2006**

(51) Int Cl.⁸: **B24B 7/22** (2006.01)

B24B 7/20 (2006.01)

G02B 5/08 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG, 88662
Überlingen, DE**

(72) Erfinder:

**Marquardt, Hans-Georg, 88690
Uhdingen-Mühlhofen, DE; Knapp, Klaus-Dieter,
88662 Überlingen, DE; Gaiser, Alfred, 88662
Überlingen, DE; Fisch, Peter Gerd, 88662
Überlingen, DE; Dittler, Anton, 88662 Überlingen,
DE; Bross, Dirk, 88662 Überlingen, DE; Betz,
Thomas, 88662 Überlingen, DE; Baumgart, Jörg,
Dr., 88682 Salem, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 37 90 008 T1

US 51 36 819 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

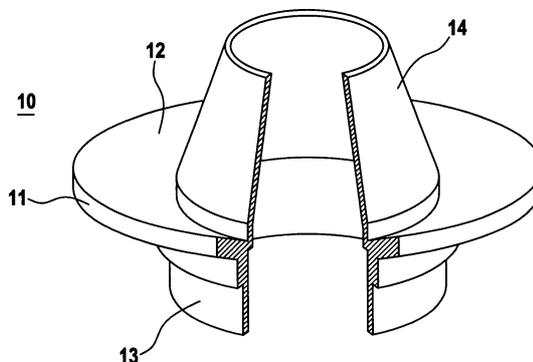
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Spiegels aus einem Werkstoff auf Titanbasis, sowie Spiegel aus einem solchem Werkstoff**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Spiegels (10) aus einem Werkstoff auf Titanbasis unter Verwendung der Technik der Ultrapräzisionsbearbeitung. Der nach diesem Verfahren hergestellte Spiegel weist sowohl eine Formgenauigkeit als auch eine Oberflächenrauheit im Submikrometerbereich auf.

Zum Herausarbeiten der Grundform (11) des Spiegels (10) aus dem Werkstoff wird die Technik der Ultrapräzisionsbearbeitung angewandt. Die herausgearbeitete Grundform (11) wird anschließend zur Reduktion der Oberflächenrauheit und zur Erzeugung einer Spiegeloberfläche (12) mit einem Polierkörper, welcher eine geringere Härte als der Werkstoff aufweist, derart poliert, dass die Formgenauigkeit erhalten bleibt.

Weiterhin betrifft die Erfindung einen Spiegel (10) aus einem Werkstoff auf Titanbasis mit einer Formgenauigkeit und einer Oberflächenrauheit im Submikrometerbereich, dessen Grundform (11) eine Spiegeloberfläche (12) mit einer Oberflächenrauheit von weniger als 60 nm, insbesondere von weniger als 30 nm aufweist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Spiegels gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Weiter betrifft die Erfindung einen Spiegel gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 9.

[0002] Auf der 10th World Conference on Titanium, Ti-2003, Hamburg, wurde von Z. Tanaka et al. ein Verfahren zur Bearbeitung von Oberflächen basierend auf dem Werkstoff Titan in Form einer Posterpräsentation vorgestellt. Mit diesem Verfahren wird durch Ultrapräzisions-Schleifen mit einer Diamant-Scheibe auf einer planen Oberfläche eine Spiegeloberfläche mit einer Flachheit im Bereich zwischen 700–900 nm und einer Oberflächenrauheit zwischen 60–70 nm erzeugt.

Stand der Technik

[0003] Werkstoffe auf Titanbasis sind hochharte, verschleißbeständige und extrem insensitive Werkstoffe gegenüber atmosphärischen Einflüssen. Diese Werkstoffe zählen zu den Leichtmetallen und sind daher prinzipiell geeignet für Spiegel in Suchköpfen für Lenkflugkörper. Spiegel mit einer planen Oberfläche zeigen jedoch in aller Regel nicht die in Suchköpfen geforderten Eigenschaften bezüglich des optischen Strahlengangs. Eine Grundform für einen Spiegel in einem Suchkopf ist beispielsweise in der EP 1 256 832 A2 beschrieben. Mittels dieser Grundform ist es möglich, die auf den Spiegel auftreffende Strahlung zu fokussieren und einen vorgegebenen Strahlengang zu realisieren. Da bei derartigen Anwendungen eine hohe Bildgüte notwendig ist, muss die auf den Spiegel einfallende Strahlung besonders effektiv reflektiert werden.

[0004] Nachteiligerweise können mit dem im oben genannten Stand der Technik beschriebenen Verfahren nur Spiegel mit planer Oberfläche und keine Spiegeloberflächen mit hohen Anforderungen an die Reflektivität aus einem Werkstoff auf Titanbasis hergestellt werden.

Aufgabenstellung

[0005] Der vorliegenden Erfindung liegt die technische Problemstellung zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Spiegels aus einem Werkstoff auf Titanbasis anzugeben, mit welchem Spiegel beliebiger Grundform angefertigt werden können, die gegenüber dem Stand der Technik bei einer Formgenauigkeit und einer Oberflächenrauheit im Submikrometerbereich eine weiter verbesserte Reflektivität aufweisen. Weiter liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Spiegel aus einem Werkstoff auf Titanbasis mit einer Formgenauigkeit und einer Oberflächenrauheit im Submikrometerbereich, jedoch gegenüber dem Stand der Technik

verbesserter Reflektivität seiner Spiegeloberfläche anzugeben.

[0006] Erfindungsgemäß wird die erstgenannte Aufgabe dadurch gelöst, dass die Technik der Ultrapräzisionsbearbeitung zum Herausarbeiten einer Grundform aus dem Werkstoff verwendet wird und anschließend diese Grundform zur weiteren Reduktion der Oberflächenrauheit und zur Erzeugung einer Spiegeloberfläche mit einem Polierkörper, der eine geringere Härte als der Werkstoff aufweist, derart poliert wird, dass die Formgenauigkeit erhalten bleibt.

[0007] Unter einem Spiegel im Sinne der Anmeldung wird ein optisches Instrument verstanden, an dessen Oberfläche elektromagnetische Strahlung möglichst vollständig so reflektiert wird, dass eine von der Form des Spiegels abhängige Abbildung entsteht.

[0008] Unter Ultrapräzisionsbearbeitung im Sinne der Anmeldung werden im Mikrometerbereich zerspanende Verfahren wie Drehen, Fräsen, Bohren und Schleifen verstanden, die zumeist auf luftlagergeführten Maschinen mit Formwerkzeugen hoher Genauigkeit, wie insbesondere monokristallinen Diamantwerkzeugen, ausgeführt werden.

[0009] Unter Oberflächenrauheit im Sinne der Anmeldung wird der quadratische Mittelwert der Rauheit gemäß ISO 4287 verstanden.

[0010] Die Erfindung geht in einem ersten Schritt von der Überlegung aus, dass die Oberflächenrauheit, im Folgenden auch Rautiefe genannt, gering sein muss, damit an einem Spiegel eine regelmäßige, gerichtete Reflexion und keine diffuse Reflexion erfolgt. Rautiefen in der Größenordnung der einfallenden Strahlungswellenlänge führen dazu, dass in viele Richtungen von der Spiegeloberfläche zerstreut zurückgestrahlt wird. Hingegen erfolgt eine Spiegelung der einfallenden Strahlung, wenn die Rautiefe klein gegenüber der Strahlungswellenlänge ist. Für einen hochwertigen Infrarot-Spiegel (IR-Spiegel) der eine hohe Reflektivität von über 97 % in einem Spektralbereich zwischen 3–7 µm aufweisen soll, wie er beispielsweise in Suchköpfen eingesetzt wird, ist eine Oberflächenrauheit im Bereich zwischen 30–50 nm erforderlich. Nur ein derartiger Spiegel ist in der Lage, innerhalb dieses Strahlungswellenlängenbereichs die einfallende Strahlung nahezu komplett zu reflektieren.

[0011] In einem weiteren Schritt geht die Erfindung von der Erkenntnis aus, dass mit dem Verfahren der Ultrapräzisionsbearbeitung, wie Ultrapräzisions-Drehen, -Fräsen, -Bohren und -Schleifen, Grundformen mit Abweichungen von der Sollform von weniger als 1 µm erzeugt werden können. Die Herstellung einer vorgegebenen Grundform ist notwendig zur Realisie-

nung komplexer Optiken mit vorgegebenem Strahlengang, wie beispielsweise in Suchköpfen von Lenkflugkörpern. Sowohl die Qualität einer entstehenden Abbildung eines Objektes als auch die Lage der Bildebene eines Spiegels hängen von der Grundform des Spiegels ab. Für empfindliche Anwendungen, wie beispielsweise solche, bei welchen eine dem Spiegel nachfolgende Optik auf die Lage von dessen Bildebene ausgerichtet ist, ist eine Formgenauigkeit im Submikrometerbereich erforderlich.

[0012] Nun geht die Erfindung von der Erkenntnis aus, dass Werkstoffe auf Titanbasis – im Gegensatz zu den üblicherweise ultrapräzisionsbearbeiteten Werkstoffen wie kubisch-flächenzentriertes Aluminium oder Kupfer – zwei unterschiedliche Kristallgefüge, nämlich hexagonales α und kubisch-raumzentriertes β , aufweisen. Diese beiden Kristallgefüge besitzen unterschiedliche Bindungsenergien und damit unterschiedliche mechanische Eigenschaften, wie Elastizität und Festigkeit. Dadurch kommt es während der Ultrapräzisionsbearbeitung zu einem unterschiedlich starken Materialabtrag, je nachdem an welchen Stellen der Oberfläche welches Kristallgefüge vorliegt, und zu einem unterschiedlich starken Verschleiß des Ultrapräzisions-Werkzeuges. Aufgrund der an der Oberfläche vorliegenden unterschiedlichen Kristallgefüge kommt es während der weiteren Oberflächenbearbeitung mittels Ultrapräzisions-Werkzeugen, insbesondere bei Bearbeitung mit einer Ultrapräzisions-Schleifscheibe, nur noch zu einem Gleiten der Kristallebenen, d. h. zu einem Verschmieren der Oberfläche des Werkstücks und einem Verkleben des Werkzeuges, eine weitere Verbesserung der Rautiefe, d. h. der Reduktion der Oberflächenrauheit bzw. Erhöhung der Reflektivität, mittels Ultrapräzisionsbearbeitung ist nicht erreichbar.

[0013] In einem letzten Schritt geht die Erfindung von der Überlegung aus, dass beim Polieren, im Gegensatz zu den spanabhebenden Verfahren der Ultrapräzisionsbearbeitung, kein Materialabtrag stattfindet, sondern nur letzte Unebenheiten entfernt werden. Hierbei erfolgt kein Wegsprengen oder Abreißen von Teilen des zu bearbeitenden Werkstücks. Vielmehr führt die glättende Bewegung des Polierens zu einer Verringerung der Rautiefe, d. h. der Oberflächenrauheit, und zwar dann, wenn ein Polierkörper geringerer Härte im Vergleich zum Werkstoff verwendet wird.

[0014] Durch die Kombination der beiden Verfahren der Werkstoffbearbeitung, nämlich Ultrapräzisionsbearbeitung und Polieren mit einem Polierkörper, welcher eine geringere Härte als der zu bearbeitende Werkstoff aufweist, können auch hochwertige Metallspiegel aus einem hochharten und verschleißbeständigen Werkstoff auf Titanbasis realisiert werden, die die optischen Anforderungen an derartige reflektierende Elemente wie gute Formgenauigkeit und gerin-

ge Oberflächenrauheit gleichermaßen erfüllen.

[0015] In einem ersten Verfahrensschritt wird ein Werkstoff auf Titanbasis ultrapräzisionsbearbeitet, um aus dem Werkstück eine Grundform herauszuarbeiten, die von einer vorgegebenen Sollform weniger als 1 μm , bestenfalls sogar weniger als 500 nm abweicht. In einem darauf folgenden Verfahrensschritt wird die so hergestellte Grundform poliert, um dadurch eine Spiegeloberfläche hoher Güte zu erzeugen. Dabei wird ein Polierkörper – auch Polierwerkzeug genannt – verwendet, der eine geringere Härte als der Werkstoff aufweist. Dadurch ist gewährleistet, dass zum einen die Formgenauigkeit erhalten bleibt und zum anderen eine Reduktion der Oberflächenrauheit in dem Maß erfolgt, dass eine Spiegeloberfläche mit einer Reflektivität von über 97 % erzeugt wird. Ein nach diesem Verfahren angefertigter, hochwertiger Spiegel aus einem Werkstoff auf Titanbasis eröffnet neue Anwendungsgebiete, bei denen an den Spiegel neben seiner hohen Reflektivität hohe Anforderungen an Korrosions- und Verschleißbeständigkeit gestellt werden.

[0016] Bevor die eigentliche Grundform aus dem Werkstück mittels Ultrapräzisionsbearbeitung herausgearbeitet wird, kann es vorgesehen sein, neben der Ultrapräzisionsbearbeitung andere in der Metallverarbeitung übliche, gröbere Bearbeitungsmethoden anzuwenden, um eine erste geometrische Annäherung an die zu realisierende Grundform vorzunehmen.

[0017] Das angegebene Verfahren ist besonders dafür geeignet, Spiegel mit einer sphärischen oder asphärischen Grundform herzustellen. Mittels derartig geformter Spiegel, die zum Beispiel in einem Suchkopf von Lenkflugkörpern eingesetzt werden, wird die von einem Objekt reflektierte oder ausgestrahlte Strahlung, die sich zumeist im infraroten Wellenlängenbereich befindet, über weitere optische Elemente auf entsprechende Detektoren innerhalb des Suchkopfes weitergeleitet. Damit eine Detektion von Objekten mittels der Optik des Suchkopfes möglich ist, muss der Spiegel jedoch äußerst formgenau, d. h. nur mit Fehlertoleranzen im Submikrometerbereich behaftet sein, damit sich die Bildebene relativ genau an dem Ort, der über die Sollform vorgegeben ist, befindet. Dies ist erforderlich, da die auf den Spiegel nachfolgende Optik auf die Sollage seiner Bildebene justiert ist. Generell ist auch eine Herstellung beliebiger Oberflächenformen mit dem beschriebenen Verfahren denkbar.

[0018] Vorteilhafterweise wird beim Polieren mit dem Polierkörper über die Grundform gewischt. Beim Wischen wird nur ein minimaler Druck auf die zu bearbeitende Oberfläche ausgeübt und zwar dergestalt, dass ein die Formgenauigkeit der Grundform beeinträchtigender Materialabtrag verhindert wird. Durch

den geringen Druck wird auch ein Gleiten der Kristallebenen verhindert, welches zu einer Erhöhung der Oberflächenrauheit führen würde. Unter Wischen wird dabei eine solche Bewegung verstanden, bei welcher die Reibung zwischen dem Polierkörper und dem Werkstoff und damit auch die daraus resultierende Temperaturerhöhung vernachlässigbar klein gehalten wird. Dadurch werden chemische Reaktionen zwischen Polierkörper und Werkstoff unterdrückt. Ein Verbrennen oder Verschmieren der Werkstoffoberfläche aufgrund starker Wärmeentwicklung während der Bearbeitung mit damit verbundener Rissbildung aufgrund von Oberflächenspannung, d. h. Beeinträchtigung der Dauerfestigkeit des Werkstoffs, wird somit vermieden.

[0019] Durch Wischen mit dem Polierkörper über die Grundform kann eine Oberflächenrauheit von weniger als 60 nm, speziell von weniger als 30 nm erzeugt werden. Durch die Wischbewegung werden die letzten Unebenheiten, die von der vorangegangenen Ultrapräzisionsbearbeitung herrühren, von der Oberfläche beseitigt. Dadurch wird eine Spiegeloberfläche erzeugt, welche sogar infrarotoptischen Anforderungen in einem spektralen Bereich zwischen 3–7 µm hinsichtlich der Rauheit genügt, d. h. die Erzielung von Spiegelreflektivitäten von über 97 % erlaubt. Dadurch, dass es sich bei einer Wischbewegung nicht um eine gerichtete Bewegung handelt, sondern beim Wischvorgang ein fortwährender Richtungswechsel zwischen Polierkörper und Werkstück bzw. Grundform vorliegt, kommt es zu einem Abtragen der Werkzeugspuren. Beispielsweise werden also Drehriefen, die von der Ultrapräzisionsbearbeitung herrühren, entfernt, ohne dabei neue Spuren vom Polierkörper zu hinterlassen. Da beim Wischen sich überschneidende Bewegungen zwischen Polierkörper und Grundform ausgeführt werden, ist eine gleichmäßige und vollständige Glättung, also Reduktion der Rautiefe, auf der gesamten Oberfläche der Grundform gegeben.

[0020] Zweckmäßigerweise wird über den Polierkörper auf jede Stelle im Wesentlichen der gleiche Anpressdruck ausgeübt. Dadurch wird sichergestellt, dass die komplette Oberfläche der Grundform mittels des Polierkörpers eine homogene Kraft erfährt. Somit wird eine über die gesamte Oberfläche gleichmäßige Entfernung der von der Ultrapräzisionsbearbeitung zurückgebliebenen Bearbeitungsspuren erzielt, ohne dass dadurch an manchen Stellen eine stärkere Beeinträchtigung der Formgenauigkeit als an anderen Stellen hervorgerufen wird. Im Fall eines planen Spiegels wird keine Balligkeit oder Wölbung erzeugt. Bei einem sphärischen oder asphärischen Spiegel bleibt die Formgenauigkeit von dessen Grundform erhalten.

[0021] Vorteilhafterweise wird die Grundform mittels einer flächigen, flexiblen, sich an eine Form anpas-

senden Membran, an der der Polierkörper angeordnet ist, poliert. Durch das gleichmäßige Anschmiegen der Membran an die Oberfläche der Grundform, was beispielsweise durch die Beaufschlagung der Oberseite der Membran mit einem Druck in der Größenordnung des Luftdrucks erfolgen kann, wird beim Polieren ein definierter Anpressdruck auf die Oberfläche ausgeübt und die Oberfläche ist kontrolliert maschinell bearbeitbar. Es kann dabei vorgesehen sein, dass die Membran über einen Hohlzylinder gespannt ist oder dass die Membran die Hülle eines mit Flüssigkeit gefüllten Ballons darstellt. Es ist vorstellbar, dass die dünne Membranhaut aus einem flexiblen Material wie Gummi besteht.

[0022] Zweckmäßigerweise wird das Polieren in einer Anzahl von Stufen mit jeweils verschiedenen Poliermitteln ausgeführt. Dabei kann es vorgesehen sein, dass zu Beginn jeder neuen Stufe ein neuer Polierkörper eingesetzt wird. Dadurch wird verhindert, dass eventuelle Verunreinigungen, die sich auf dem Polierkörper befinden, oder durch den Poliervorgang bedingte Abnutzungserscheinungen des Polierkörpers zu einer Beschädigung der zu bearbeitenden Oberfläche während des Polierens führen.

[0023] Vorteilhafterweise nimmt die abrasive Wirkung der verwendeten Poliermittel, d. h. deren Körnung, von Stufe zu Stufe ab. Vor der ersten Polierstufe sind die Bearbeitungsspuren und Oberflächenunebenheiten bzw. der Grad an Oberflächenrauheit am stärksten ausgeprägt, daher wird hier der Polierkörper zusammen mit einem Poliermittel eher groberen Körnung eingesetzt. Speziell während der ersten Polierstufen kann es erforderlich sein, den Polierkörper auch innerhalb einer Stufe mehrmals auszutauschen, um eine optimale Polierwirkung, also eine Reduktion der Oberflächenrauheit zu erreichen. Das erklärt sich dadurch, dass der Abrieb sowohl von Polierkörper als auch vom Werkstoff zu Anfang des Polierens am höchsten ist, da die Oberflächenunebenheiten der Grundform während dieser Phase noch am stärksten ausgebildet sind. Auch die Verwendung frischen Poliermittels zusammen mit einem neuen Polierkörper innerhalb einer Stufe kann erforderlich sein. Während des Poliervorgangs kommt es zu einem Abstumpfen der Schnittkanten der Körner des Poliermittels und die abrasive Wirkung lässt nach. Zwar kann es auch zu einem Zerbrechen der Körner in kleinere Körner mit frischen Schnittkanten kommen, nach einer gewissen Zeitspanne, abhängig von der vorliegenden Rauheit der bearbeiteten Oberfläche, ist aber keine weitere Verbesserung der Spiegelqualität mehr möglich. Mit jeder weiteren Polierstufe mit einem Poliermittel feinerer Körnung nimmt die Oberflächenrauheit ab. Die von der Ultrapräzisionsbearbeitung zurückgebliebenen Bearbeitungsspuren können soweit reduziert werden, dass die Oberflächenrauheit mindestens auf den Submikrometerbereich reduziert wird.

[0024] Es ist empfehlenswert, dass jede Stufe des Polierens eine Zeitdauer von einigen Minuten umfasst. Dadurch ist gewährleistet, dass alle Stellen auf der Oberfläche des Werkstoffes mehrmals mit dem Polierkörper poliert werden. Damit werden die durch die Ultrapräzisionsbearbeitung hervorgerufenen Unebenheiten auf der gesamten Oberfläche der Grundform reduziert und eine Spiegeloberfläche konstanter Güte erzeugt.

[0025] Es ist denkbar, dass das Polieren, insbesondere das Wischen, manuell ausgeführt wird. Beim manuellen Polieren durch einen Bearbeiter kann dieser geschickterweise nach beliebigen Zeiten mittels diverser antastender und optischer Prüf- und Messmethoden, wie zum Beispiel Laser-Interferometrie, AFM-Aufnahmen (Atomic Force Microscope) und -Messungen, Messungen nach dem Tastschnittverfahren gemäß ISO 4287 oder dergleichen, die Oberflächenrauheit nachkontrollieren und situationsbedingt entscheiden, ob ein Wechsel des Polierkörpers oder des Poliermittels zu diesem Zeitpunkt empfehlenswert ist.

[0026] Bei dem Polierkörper oder dem Polierwerkzeug kann es sich um ein saugfähiges Material, wie ein Mikrofaserstuch, ein Polyurethanpad oder eine Art von Vliestuch, beispielsweise ein Papiertaschentuch, handeln. Wichtig ist, dass das Polierwerkzeug eine geringere Härte als der zu bearbeitende Werkstoff auf Titanbasis besitzt, da ansonsten durch den Polierkörper auf der Oberfläche des Werkstoffes zusätzliche Rauheiten hervorgerufen werden.

[0027] Vorteilhafterweise handelt es sich bei dem Werkstoff auf Titanbasis um eine Titan-Aluminium-Legierung, insbesondere mit 80 bis 90 Gewichtsprozent Titan. Derartige Werkstoffe sind vor allem aufgrund ihrer mechanischen und thermischen Eigenschaften sehr gut für den Einsatz in der Luft und Raumfahrttechnik und im Flugkörperbau geeignet. Es kann sich beispielsweise um die Titanlegierung TiA16V4 nach MIL-T-9047 handeln.

[0028] Die auf den Spiegel gerichtete Aufgabe wird durch einen Spiegel der eingangs genannten Art gelöst, der erfindungsgemäß eine Grundform mit einer Spiegeloberfläche aufweist, die eine Oberflächenrauheit von weniger als 60 nm, insbesondere von weniger als 30 nm hat. Ein solcher Spiegel sorgt aufgrund seiner Grundform für einen definierten Strahlengang der reflektierten Strahlung. Durch die geringe Rautiefe von weniger als 60 nm werden auch die Anforderungen für eine hohe Reflektivität für einen Spektralbereich zwischen 3–7 μm erfüllt.

[0029] Vorteilhafterweise ist der Spiegel aus einer Titan-Aluminium-Legierung, insbesondere aus TiA16V4, gefertigt. Ein aus diesem Material bestehender Spiegel kann aufgrund seiner hohen Ver-

schleißbeständigkeit besonders gut in Suchkopplationen für Lenkflugkörper eingesetzt werden.

Ausführungsbeispiel

[0030] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand einer Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigt

[0031] [Fig. 1](#) schematisch einen asphärischen Spiegel für einen Suchkopf eines Lenkflugkörpers,

[0032] [Fig. 2](#) ein Interferogramm eines Spiegels gemäß [Fig. 1](#) nach einer Ultrapräzisionsbearbeitung und anschließendem Polieren und

[0033] [Fig. 3](#) Reflektivitätsspektren eines Spiegels gemäß [Fig. 1](#) nach einer Ultrapräzisionsbearbeitung und anschließendem Polieren.

[0034] In der [Fig. 1](#) ist ein Spiegel **10**, so wie er in einem Suchkopf von Lenkflugkörpern zum Einsatz kommt, schematisch dargestellt. Der gezeigte Spiegel **10** besitzt eine asphärische Grundform **11**. Als Werkstoff wird hier die Titanlegierung mit der kommerziellen Bezeichnung TiA16V4 nach MIL-T-9047 verwendet.

[0035] Die Ultrapräzisionsbearbeitung wird auf einer Ultrapräzisionsmaschine mit 5-Achs-Bearbeitungszentrum in hydrostatischer/aerostatischer Lagerausführung und berührungslosem, digital gesteuertem Antriebssystem ausgeführt. Dieses Maschinensystem ermöglicht eine Positioniergenauigkeit im Submikrometerbereich. Für die Erzeugung der Grundform **11** des Spiegels **10** nach der Figur wird unter anderem eine Ultrapräzisions-Drehmaschine verwendet. Das Schneidwerkzeug besteht aus monokristallinem Diamant. Aufgrund des sehr geringen Reibwerts und der ausgezeichneten Wärmeleitfähigkeit von Diamant wird der Zerspanungsprozess von Werkstoffen auf Titanbasis positiv beeinflusst. Ein Verbrennen der Werkstoffoberfläche durch die während des Bearbeitungsprozesses entstehende Wärmeentwicklung wird verhindert, da diese effektiv über das diamantene Schneidwerkzeug abgeführt wird. Das Schneidwerkzeug besitzt eine Schneidkante nahezu atomarer Schärfe. Die geringe Schneidkantenverrundung sorgt bereits für die Realisierung einer geringen Oberflächenrauheit. Zudem sind dadurch nur niedrige Prozesskräfte bei der Bearbeitung notwendig, was sich in Form einer mäßigen Wärmeentwicklung und einer somit oberflächenschonenden Bearbeitung des Werkstoffes bei der Erzeugung der Grundform **11** auswirkt.

[0036] Im dargestellten Ausführungsbeispiel werden aus dem Werkstück nicht nur die tellerförmige Grundform **11** des Spiegels **10**, sondern auch noch weitere an den Spiegel **10** anschließende Teile **13**, **14**

des Suchkopfs mit der Ultrapräzisionsbearbeitung herausgeformt. Die Spiegeloberfläche **12** bildet dabei die Oberseite der tellerförmigen Grundform **11**.

[0037] Um die Oberflächenrauheit einer derart hergestellten Grundform **11** nach der zuvor beschriebenen Ultrapräzisionsbearbeitung zu ermitteln werden Tastschnitt-Messungen nach ISO 4287 durchgeführt. Dazu wird ein Tastschnitt-Messgerät der Mahr GmbH mit der Bezeichnung „Perthometer S3P“ verwendet. An verschiedenen Stellen der Grundform **11** werden Tastschnitt-Messungen über eine Normtaststrecke von insgesamt 1,75 mm – aufgeteilt in $5 \times 0,25$ mm lange Einzelmessstrecken und jeweils 0,25 mm zu Beginn und Ende einer Tastschnitt-Messung – durchgeführt. Die Welligkeit wird bei diesem Tastschnitt-Messgerät aus den Tastschnitt-Messungen herausgefiltert. Die Tastschnitt-Messungen ergeben, dass die Oberflächenrauheit (genauer gesagt der quadratische Mittelwert der Rauheit) der Grundform **11** im Bereich zwischen 47 und 70 nm bzw. über eine Anzahl von fünf Tastschnitt-Messungen gemittelt bei 57 nm liegt.

[0038] An den Verfahrensschritt Ultrapräzisionsbearbeitung schließt sich der Verfahrensschritt Polieren an. Hierbei wird ein Vliestuch mit einem Poliermittel auf Aluminiumoxid-Basis und einer Körnigkeit von 3 µm getränkt. Mit diesem Polierkörper wird dann für einige Minuten sanft unter Ausübung eines gleichbleibenden Anpressdrucks manuell über die komplette Oberfläche auf der Oberseite der Grundform **11** gewischt. Dabei wird darauf geachtet, dass alle Stellen auf der später die Spiegeloberfläche **12** bildenden Oberfläche zeitlich gleich lange poliert werden. Danach wird das benutzte Vliestuch, dem nun minimale Werkstoffrückstände anhaften, gegen ein neues Vliestuch ausgetauscht. Dadurch wird eine Beschädigung durch Verkratzen der Oberfläche durch die Werkstoffreste im Vliestuch verhindert. Im Bedarfsfall wird das neue Vliestuch mit dem gleichen Poliermittel, jedoch mit feinerer Körnigkeit im Bereich von 1 – 2 µm, verwendet. Nun wird das Polieren auf die zuvor beschriebene Weise wiederholt. Anschließend wird die Spiegeloberfläche **12** erneut Tastschnitt-Messungen gemäß der zuvor beschriebenen Weise unterzogen. Die Tastschnitt-Messungen an der so erzeugten Spiegeloberfläche **12** ergeben, dass die Oberflächenrauheit (bzw. der quadratische Mittelwert der Rauheit) im Bereich zwischen 23 und 26 nm bzw. über eine Anzahl von fünf Messungen gemittelt bei 24 nm liegt. Somit ergibt sich eine Reduktion der mittleren Oberflächenrauheit um 33 nm bzw. um 58 %.

[0039] [Fig. 2](#) zeigt ein Interferogramm des gemäß diesem Verfahren hergestellten Spiegels **10**. Für die Aufnahme des Interferogramms wurde ein Michelson-Interferometer verwendet. Der Aufbau und die Funktionsweise eines Michelson-Interferometers ist dem Fachmann hinreichend bekannt, daher wird hier

nicht im Detail darauf eingegangen. Bei diesem Interferogramm wurde ein Referenzspiegel mit dem Testobjekt, dem Spiegel **10** bzw. der Spiegeloberfläche **12** der Grundform **11**, verglichen. Als Messgröße wurde dabei die Wellenlänge eines Helium-Neon-Lasers von 632,8 nm verwendet. Der Referenzspiegel war gegenüber dem Spiegel **10** leicht verkippt angeordnet. Ein Hell-Dunkelübergang in der [Fig. 2](#) entspricht einem Unterschied der Abstände des Spiegels **10** und des Referenzspiegels bezogen auf einen Referenzpunkt in Größe der halben Wellenlänge des Helium-Neon-Lasers. In einem idealen Spiegel würden die Konturlinien zwischen einem Hell-Dunkelübergang zueinander parallel verlaufen. Da bei dem Spiegel **10** die maximal vorkommende „Durchbiegung“ einer Konturlinie zwischen einem Hell-Dunkelübergang den Wert von zweimal dem Abstand zwischen zwei Konturlinien nicht überschreitet, ergibt sich daraus, dass der maximale Formfehler des Spiegels **10** kleiner als zweimal die halbe Wellenlänge des Helium-Neon-Lasers ist, also kleiner als 0,6 µm. Der Spiegel **10** weist somit eine Formgenauigkeit im Submikrometerbereich auf.

[0040] Der derart bearbeitete Spiegel **10** ist aufgrund seiner exzellenten Oberflächengüte speziell für den infraroten Spektralbereich zwischen 3,6 µm und 6,3 µm optimal einsetzbar, wie es den in [Fig. 3](#) gezeigten zwei Reflektivitätsspektren entnehmbar ist. Der mit diesem Verfahren hergestellte Spiegel **10** auf Titanbasis weist in diesem Spektralbereich eine Reflektivität von sogar über 98 % auf. Die über den Spiegel **10** gleich bleibende hohe Güte hinsichtlich seines Reflexionsvermögens wird durch die gute Übereinstimmung der beiden, an unterschiedlichen Stellen auf der Spiegeloberfläche **12** aufgenommenen Reflektivitätsspektren belegt. Merkliche Differenzen zwischen den beiden Reflektivitätsspektren sind nur im Spektralbereich zwischen 5,5 und 7 µm zu erkennen.

Bezugszeichenliste

10	Spiegel
11	Grundform
12	Spiegeloberfläche
13	Teil
14	Teil

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Spiegels (**10**) aus einem Werkstoff auf Titanbasis mit einer Formgenauigkeit und mit einer Oberflächenrauheit im Submikrometerbereich unter Verwendung der Technik der Ultrapräzisionsbearbeitung, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Technik der Ultrapräzisionsbearbeitung zum Herausarbeiten einer vorgegebenen Grundform (**11**) aus dem Werkstoff verwendet wird und dass die herausgearbeitete Grundform (**11**)

zur Reduktion der Oberflächenrauheit und zur Erzeugung einer Spiegeloberfläche (12) mit einem Polierkörper, welcher eine geringere Härte als der Werkstoff aufweist, derart poliert wird, dass die Formgenauigkeit erhalten bleibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Technik der Ultrapräzisionsbearbeitung eine sphärische oder asphärische Grundform (11) herausgearbeitet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass beim Polieren mit dem Polierkörper über die Grundform (11) gewischt wird.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Polieren der Grundform (11) der Polierkörper an jeder Stelle im Wesentlichen den gleichen Anpressdruck ausübt.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer flexiblen, sich an die Grundform (11) anpassenden Membran, auf der der Polierkörper angeordnet ist, poliert wird.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Polieren in einer Anzahl von Stufen mit jeweils verschiedenen Poliermitteln ausgeführt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Körnigkeit der verwendeten Poliermittel von Stufe zu Stufe abnimmt.

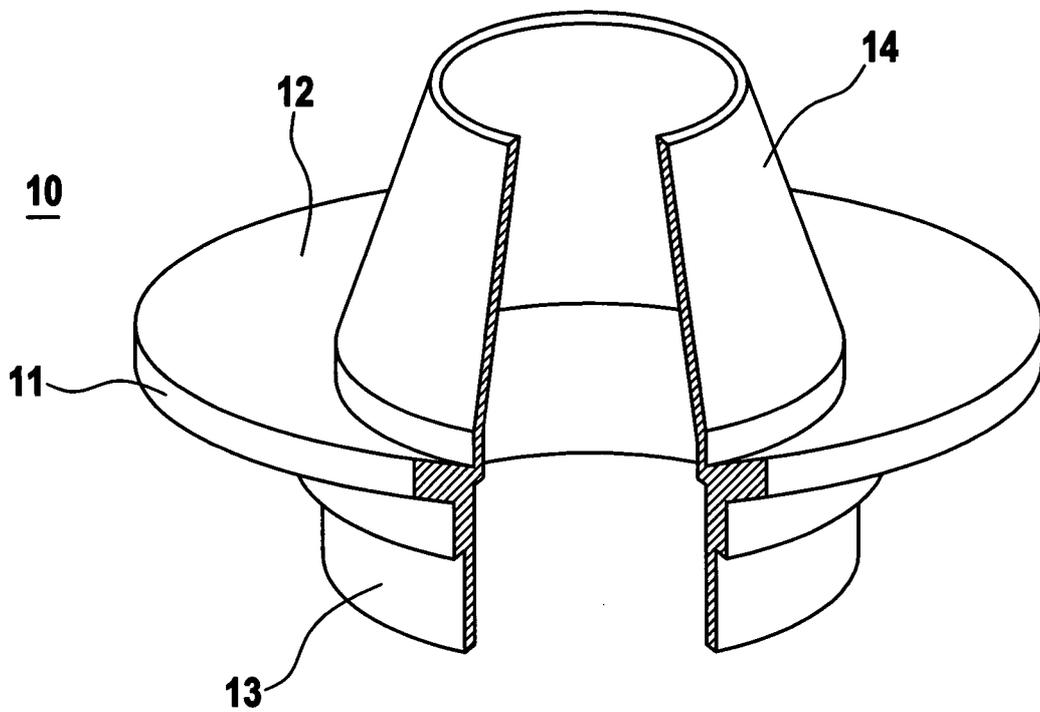
8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Werkstoff aus einer Titan-Aluminium-Legierung verwendet wird.

9. Spiegel (10) aus einem Werkstoff auf Titanbasis mit einer Formgenauigkeit und mit einer Oberflächenrauheit im Submikrometerbereich, dadurch gekennzeichnet, dass er eine Grundform (11) mit einer Spiegeloberfläche (12) aufweist, die eine Oberflächenrauheit von weniger als 60 nm, insbesondere von weniger als 30 nm hat.

10. Spiegel (10) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Werkstoff eine Titan-Aluminium-Legierung ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Fig. 1



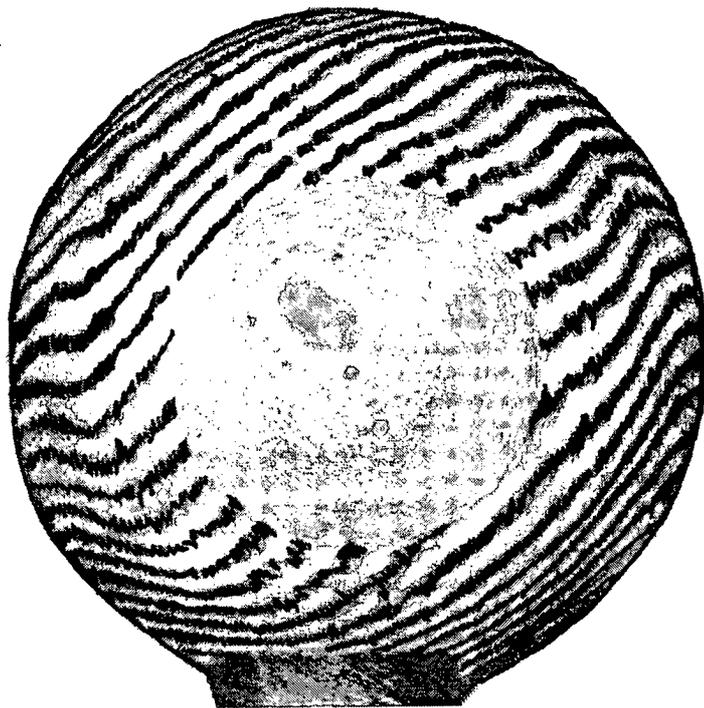


Fig. 2

Fig. 3

