

(10) **AT 527504 A2 2025-03-15**

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50686/2024
(22) Anmeldetag: 22.08.2024
(43) Veröffentlicht am: 15.03.2025

(51) Int. Cl.: **G01N 21/91** (2006.01)
G06T 7/00 (2006.01)

(30) Priorität: 11.09.2023 DE 102023124430.2 beansprucht.	(71) Patentanmelder: Becker & Hickl GmbH 12277 Berlin (DE)
	(74) Vertreter: Puchberger & Partner Patentanwälte 1010 Wien (AT)

(54) **Farbeindringverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Prüflings und Prüfvorrichtung**

(57) Die Erfindung betrifft ein Farbeindringverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Prüflings (12), mit den Schritten Bestrahlen des mit einem Fluoreszenzfarbstoff (30) versehenen Prüflings (12) mit Anregungs-Photonen (20), sodass Fluoreszenz-Photonen (28) entstehen, und Erfassen von Fluoreszenz-Photonen (28), mit den Schritten Erfassen einer Verzögerungszeit (t) der Fluoreszenz-Photonen (28) zwischen dem Auftreffen der Anregungs-Photonen (20) auf dem Prüfling (12) und der Emission des Fluoreszenz-Photons (28.1) und Ermitteln von Oberflächenfehlern (32) des Prüflings (12) anhand der Verzögerungszeiten (t).

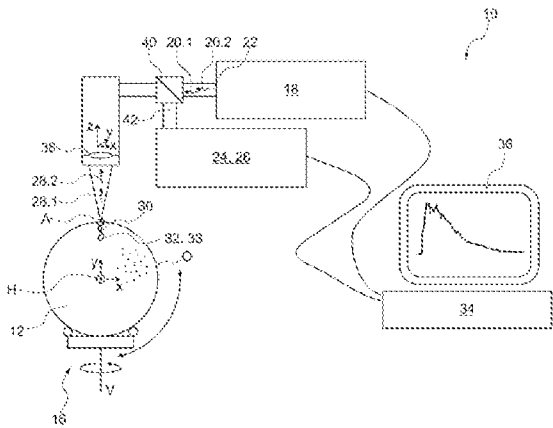


Fig. 1

| Becker & Hickl GmbH
Nunsdorfer Ring 7-9
12277 Berlin

Anwaltsakte:

6458-0005 DE-1

Datum:

11. September 2023

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Farbeindringverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines
5 Prüflings (12), mit den Schritten Bestrahlen des mit einem Fluoreszenzfarbstoff (30)
versehenden Prüflings (12) mit Anregungs-Photonen (20), sodass Fluoreszenz-
Photonen (28) entstehen, und Erfassen von Fluoreszenz-Photonen (28), mit den
Schritten Erfassen einer Verzögerungszeit (t) der Fluoreszenz-Photonen (28)
zwischen dem Auftreffen der Anregungs-Photonen (20) auf dem Prüfling (12) und der
10 Emission des Fluoreszenz-Photons (28.1) und Ermitteln von Oberflächenfehlern (32)
des Prüflings (12) anhand der Verzögerungszeiten (t).

Figur 1

Farbeindringverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Prüflings und Prüfvorrichtung

Die Erfindung betrifft ein Farbeindringverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Prüflings, mit den Schritten (a) Bestrahlen des mit einem Fluoreszenzfarbstoff versehenen Prüflings mit Anregungs-Photonen, sodass Fluoreszenz-Photonen entstehen, und (b) Erfassen von Fluoreszenz-Photonen, die vom Prüfling aufgrund der Anregungs-Photonen emittiert wurden.

Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung eine Prüfvorrichtung zur zerstörungsfreien Prüfung von Prüflingen, insbesondere auf Oberflächen-oder Randzonenfehler, mit (a) einer Aufnahme zum Aufnehmen des Prüflings, (b) einer Lichtquelle, insbesondere einem Laser, zum Bestrahlen des Prüflings mit Anregungs-Photonen und (c) einem Detektor, insbesondere einer Kamera, zum Erfassen von Fluoreszenz-Photonen, die vom Prüfling aufgrund der Bestrahlung mit den Anregungs-Photonen abgegeben werden.

Farbeindringverfahren werden bei der zerstörungsfreien Prüfung von Prüflingen zur Prüfung auf Oberflächenfehlern eingesetzt. Unter Oberflächenfehlern werden beispielsweise Risse, insbesondere Mikrorisse und Fehlstellen wie beispielsweise Lunken, Poren oder Eindruckstellen verstanden. Dabei wird ein Fluoreszenzfarbstoff auf den Prüfling aufgebracht, gegebenenfalls teilweise wieder entfernt, sodass nur an solchen Stellen Fluoreszenzfarbstoff verbleibt, die für die Reinigung schwer zugänglich sind. Das sind in der Regel Oberflächenfehler.

Je höher die Anforderungen an den Prüfling, desto kleiner sind die Oberflächenfehler, die detektiert werden müssen. Es hat sich herausgestellt, dass mit dem bekannten Farbeindringverfahren sehr feine Risse nicht prozesssicher erkannt werden können.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Nachteile im Stand der Technik zu vermindern.

Die Erfindung löst das Problem durch ein gattungsgemäßes Farbeindringverfahren mit den Schritten des Erfassens der jeweiligen Verzögerungszeit der Fluoreszenz-Photonen zwischen dem Abgeben des das Fluoreszenz-Photon auslösenden Anregungs-Photons, insbesondere der Anregungs-Photonen, auf den Prüfling einerseits und dem Erfassen des Fluoreszenz-Photons andererseits und des Ermitteln von Oberflächenfehlern des Prüflings anhand der Verzögerungszeiten.

Die Erfindung löst das Problem zudem durch eine gattungsgemäße Prüfvorrichtung, die eine Auswerteeinheit aufweist, die eingerichtet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten (i) Erfassen der jeweiligen Verzögerungszeit der Fluoreszenz-Photonen zwischen dem Abgeben der Anregungs-Photonen auf den Prüfling und dem Erfassen des Fluoreszenz-Photons und (ii) Darstellen eines Bilds des Prüflings anhand der Verzögerungszeiten und/oder Berechnen zumindest eines Fehlerparameters, der ein Ausmaß von Oberflächenfehlern des Prüflings kodiert, aus den Verzögerungszeiten.

Erfindungsgemäß ist zudem die Verwendung eines Fluoreszenzlebensdauer-Mikroskops zur zerstörungsfreien Prüfung auf Risse und/oder Oberflächen-oder Randzonenfehler in Bauteilen vorgesehen.

Erfindungsgemäß ist zudem eine Herstellvorrichtung zum Herstellen eines Produkts aus zumindest zwei Komponenten, mit (a) einer Anlage zum Herstellen zumindest einer ersten Komponente und (b) einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung, die angeordnet und ausgebildet ist zum, insbesondere automatischen, Prüfen dieser Komponente. Vorzugsweise umfasst die Herstellvorrichtung eine Montageanlage zum Montieren des Produkts unter Verwendung der geprüften Komponente, wobei die Herstellvorrichtung vorzugsweise so ausgebildet ist, dass nur für fehlerfrei befundene Komponenten verwendet werden. Statt Komponente könnte auch Bauteil gesagt werden. Wenn die Komponente geprüft wird, kann sie auch Prüfling genannt werden.

Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass die Erkennung von Oberflächenfehlern in der Regel schneller durchgeführt werden kann als bei bekannten Farbeindringverfahren. Der Grund hierfür ist, dass durch das Ermitteln der Oberflächenfehler anhand der Verzögerungszeiten störende Signale, beispielsweise von reflektierten Photonen oder durch Streuung entstandene Photonen, unterdrückt werden können, da sich deren Verzögerungszeiten von Verzögerungszeiten der Fluoreszenz-Photonen unterscheiden. Das Eliminieren von Hintergrundsignalen wird daher ermöglicht.

Günstig ist zudem, dass die Erkennung der Oberflächenfehler mit vergleichsweise hoher Verlässlichkeit möglich ist. Der Grund hierfür ist, dass vom Prüfling emittierte Photonen, die nicht Fluoreszenz-Photonen sind, diskriminiert werden können. Das Ermitteln des Oberflächenfehlers hängt daher deutlich weniger von der Vorbereitung des Prüflings ab.

In anderen Worten können mittels der Erfindung Hintergrundeffekte und Effekte durch Verunreinigungen des Prüflings hinreichend stark unterdrückt werden, sodass das eigentliche Signal, das durch Oberflächenfehler hervorgerufen wird, mit einem höheren Kontrast erfasst wird. In anderen Worten wird anhand der ermittelten Verzögerungszeiten der Bildkontrast bzw. die Selektivität bei unterschiedlichen Fluorophoren erhöht.

Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter dem Prüfling insbesondere jedes Objekt, insbesondere ein Bauteil, ein Produkt, ein Fahrzeug, ein Luftfahrzeug wie beispielsweise ein Flugzeug, eine Maschine, eine Fahrzeitkomponente wie beispielsweise eine Autokomponente, eine Eisenbahnkomponente oder eine Luftfahrzeugkomponente, verstanden.

Es kann sich bei dem Prüfling um einen Lagerbestandteil, insbesondere ein Wälzlager-Bestandteil, insbesondere einen Wälzkörper, handeln. *Der Prüfling kann insbesondere Bolzen, ein medizinisches Implantat, eine Prothese, insbesondere eine Endoprothese, oder ein Gasturbinenbestandteil, insbesondere eine Leit- oder Laufschaufel, sein.*

Bevorzugt ist der Prüfling jedoch kein Lager- Bestandteil, insbesondere kein Wälzlager-Bestandteil, insbesondere kein Wälzkörper.

Unter dem Oberflächenfehler wird insbesondere ein Riss, beispielsweise ein Mikroriss verstanden. Unter einem Mikroriss wird insbesondere ein Riss verstanden, dessen Ausdehnung in die beiden Raumrichtungen entlang der Oberfläche des Prüflings kleiner ist als 0,5 mm, insbesondere kleiner als 0,25 mm.

Unter dem Lager-Bestandteil wird insbesondere jeder Bestandteil verstanden, der in einem Lager verwendet wird. Das Lager kann ein Gleitlager, ein Magnetlager oder ein Wälzlager sein. Wenn im Folgenden von einem Wälzlager oder Wälzlager-Bestandteil gesprochen wird, ist immer auch allgemein ein Lager oder Lager-Bestandteil und ein Gleitlager oder ein Gleitlager-Bestandteil und ein Magnetlager oder Magnetlager-Bestandteil mit gemeint.

Unter der Randzone wird insbesondere der Bereich des Prüflings verstanden, der sich von der Oberfläche aus in diejenige Tiefe erstreckt, die durch die, insbesondere spanende, Bearbeitung des Prüflings verändert wird. Die mechanische Belastung des Prüflings beschränkt sich in der Regel auf die Randzone.

Unter einem Fluoreszenzfarbstoff wird insbesondere eine Substanz verstanden, die eine spontane Emission von Licht kurz nach der Anregung mit Licht zeigt. Vorzugsweise klingt die spontane Emission von Licht, also die Fluoreszenz, exponentiell ab. Vorzugsweise beträgt die entsprechende Halbwertszeit, auch Fluoreszenz-Lebensdauer oder Abklingkonstante genannt, zumindest $\tau = 1 \text{ ns}$.

Unter dem Erfassen der Fluoreszenz-Photonen wird insbesondere ein Detektieren verstanden. In anderen Worten bewirkt das Auftreffen eines Fluoreszenz-Photons auf einen entsprechenden Detektor ein, insbesondere elektrisches, Signal, das erfasst und/oder aufgezeichnet wird.

Unter dem Erfassen der Verzögerungszeit wird insbesondere ein Vorgang verstanden, anhand dessen auf die Verzögerungszeit zwischen dem Auftreffen der Anregungs-Photonen auf dem Prüfling einerseits und dem Abgeben des Fluoreszenz-

Photons andererseits geschlossen werden kann. So ist es möglich, dass die Verzögerungszeit die Flugzeit der Anregungs-Photonen und der Fluoreszenz-Photonen umfasst. Es ist zudem möglich, dass die Verzögerungszeit modulo einer Intensitätsvariationszeit mit der das Anregungslicht aus den Anregungs-Photonen gemäß einer Ausführungsform moduliert wird.

Unter dem Ermitteln von Oberflächenfehlern wird jeder Vorgang verstanden, der es ermöglicht, fehlerhafte Bereiche des Prüflings von nicht fehlerhaften Bereichen zu unterscheiden, insbesondere bei dem ein fehlerhafter Bereich des Prüflings von einem nicht fehlerhaften Bereich unterschieden wird.

Bei dem Fehlerparameter kann es sich beispielsweise um eine Zahl, einen Vektor oder ein Bild handeln. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass der Fehlerparameter den Ort kodiert, an dem der Fehler aufgetreten ist. Es ist ausreichend, dass der Fehlerparameter kodiert, dass an irgendeiner Stelle eines Messbereichs auf dem Prüfling ein Oberflächenfehler detektiert wurde.

Unter einer Aufnahme wird insbesondere eine Vorrichtung verstanden, mittels der der Prüfling relativ zur Lichtquelle und/oder zum Detektor auf eine vorgegebene Position bringbar ist.

Vorzugsweise wird das Farbeindringverfahren nach ASTM E 1417 oder ISO 3452-2 durchgeführt.

Günstig ist es, wenn die Aufnahme zum Drehen des Prüflings ausgebildet ist. Besonders bevorzugt ist die Aufnahme ausgebildet zum automatischen Drehen des Prüflings zumindest zwei Achsen, die nicht parallel zueinander verlaufen.

Günstig ist es, wenn es sich bei dem Prüfling um einen Wälzkörper handelt. Beispielsweise besteht der Wälzkörper aus Keramik. Risse, auch Mikrorisse, können zum Bruch des Wälzkörpers führen. Es ist daher vorteilhaft für die Betriebssicherheit des Wälzlagers, wenn auch Mikrorisse prozesssicher erkannt werden. Der Wälzkörper kann beispielsweise eine Kugel, ein Zylinder oder ein Kegelstumpf sein.

Der Prüfling kann aber auch aus Metall, insbesondere Stahl, und/oder Kunststoff aufgebaut sein.

Die Anregungs-Photonen können eine Wellenlänge im sichtbaren Bereich, im UV-Bereich oder im Infrarot-Bereich haben.

Günstig ist es, wenn die Verzögerungszeit der Fluoreszenz-Photonen orts aufgelöst erfasst wird. Hierunter wird verstanden, dass für jedes erfasste Fluoreszenz-Photon neben der Verzögerungszeit auch der Ort auf dem Prüfling ermittelt wird, von dem das Fluoreszenz-Photon emittiert wurde.

Vorzugsweise beträgt eine Sensitivität nach ISO 3452-1 und 3452-2 und/oder EN 571 Level drei oder vier. Das ermöglicht ein effizientes Eindringen in Risse.

Das Bestrahlen kann punktwise, linienförmig oder flächig erfolgen. Das Erfassen der Fluoreszenz-Photonen kann ebenfalls punktwise, linienförmig oder flächig erfolgen. Insbesondere können die Fluoreszenz-Photonen mittels einer Zeilen-Kamera oder einer Flächen-Kamera erfasst werden. Das kann bei entsprechendem Aufbau die Messzeit vermindern. Beispielsweise ist der Detektor ein Punkt-, Linien- oder Flächendetektor.

Vorzugsweise wird das erfindungsgemäße Verfahren automatisch ausgeführt.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren den Schritt des Aufbringens des Fluoreszenzfarbstoffs auf den Prüfling. Vorzugsweise umfasst das Verfahren den Schritt nach dem Aufbringen des Fluoreszenzfarbstoffs auf den Prüfling und vor dem Bestrahlen mit Anregungs-Photonen und dem Erfassen der Verzögerungszeit Entfernen eines Teils des Fluoreszenzfarbstoffs. Das Entfernen von Fluoreszenzfarbstoff erfolgt vorzugsweise nach ISO 3452-1 und 3452-2 und/oder EN 571. Insbesondere erfolgt das Entfernen von Fluoreszenzfarbstoff so, dass in Bereichen mit Oberflächenfehlern flächenspezifisch höchstens ein Fünftel, insbesondere höchstens ein Zehntel, des Fluoreszenzfarbstoffs entfernt wird wie in Bereichen ohne Oberflächenfehler. Wie bei Farbeindringverfahren üblich dient das der Verminderung von Hintergrundstrahlung.

Das Entfernen kann beispielsweise ein Abtragen, Abwischen, Abblasen oder Abreiben sein. Vorzugsweise wird das Entfernen so durchgeführt, dass Fluoreszenzfarbstoffs in Gebieten der Oberfläche ohne Oberflächenfehler im Wesentlichen vollständig entfernt wird.

Vorzugsweise umfasst das Ermitteln von Oberflächenfehlern anhand der Verzögerungszeiten den Schritt des sukzessiven Erfassens der Verzögerungszeiten der Fluoreszenz-Photonen für alle Punkte eines Messbereichs auf der Oberfläche des Prüflings. Vorzugsweise umfasst das Ermitteln von Oberflächenfehlern anhand der Verzögerungszeiten zudem den Schritt des Ausgebens einer Warnmeldung, wenn ein Oberflächenfehler ermittelt wurde, aufweist. Die Warnmeldung wird beispielsweise ausgegeben, wenn ein Fehlerparameter, der das Ausmaß eines Oberflächenfehlers kodiert, einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.

Die Warnmeldung kann vom Menschen wahrnehmbar und/oder von Maschinen wahrnehmbar sein. Beispielsweise ist die Warnmeldung ein optisches oder elektrisches Signal. Die Warnmeldung kodiert die Information, dass ein Oberflächenfehler gefunden wurde. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass die Warnmeldung den Ort kodiert, an dem der Oberflächenfehler gefunden wurde. Insbesondere ist es möglich, dass die Warnmeldung lediglich die Information kodiert, dass an irgendeiner Stelle auf dem Messbereich ein Oberflächenfehler detektiert wurde. Wird das Verfahren, wie gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen, automatisch durchgeführt, kann die Warnmeldung beispielsweise dazu führen, dass der Prüfling ausgesondert wird.

Alternativ oder zusätzlich umfasst das Ermitteln von Oberflächenfehlern des Prüflings anhand der Verzögerungszeiten den Schritt (a) orts aufgelöstes Erfassen der Verzögerungszeiten der Fluoreszenz-Photonen, sodass eine verzögerungszeitabhängige Fluoreszenzphotonenanzahl erhalten wird. Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Ermitteln von Oberflächenfehlern des Prüflings anhand der Verzögerungszeiten den Schritt (b) Darstellen nur solcher Fluoreszenz-Photonen, deren Verzögerungszeiten in einem vorgegebenen Akzeptanzintervall liegt, in einem Bild. Das Bild kodiert vorzugsweise die Zahl oder die Wellenlänge der detektierten

Fluoreszenz-Photonen. Beispielsweise erfolgt das orts aufgelöste Erfassen der Verzögerungszeiten per Einzelphotonenmessung. Das Akzeptanzintervall wird insbesondere so gewählt, dass Photonen, die von Reflexionen oder Streuvorgängen stammen, diskriminiert werden. Auf diese Weise kann ein Benutzer oder eine Bildauswertung, beispielsweise eine künstliche Intelligenz, Oberflächenfehler mit hoher Genauigkeit erkennen.

Wiederum alternativ oder zusätzlich umfasst das Ermitteln von Oberflächenfehlern die Schritte (a) orts aufgelöstes Erfassen der Verzögerungszeiten der Fluoreszenz-Photonen, sodass eine verzögerungszeitabhängige Fluoreszenzphotonenanzahl erhalten wird, und/oder den Schritt (b) Darstellen eines Bildes, das ein Verhältnis der Fluoreszenzphotonenanzahlen zweier unterschiedlicher Verzögerungszeiten und/oder unterschiedlicher Spektralbereiche zeigt. Auf diese Weise wird ein hoher Kontrast zwischen Bereichen mit Oberflächenfehlern und Bereichen ohne Oberflächenfehlern erzeugt.

Wiederum alternativ oder zusätzlich erfolgt das Ermitteln von Oberflächenfehlern durch ein (a) Anpassen der verzögerungszeitabhängigen Fluoreszenzphotonenanzahl mit (i) einer ersten Abklingfunktion f_1 , die die Abhängigkeit der pro Zeiteinheit emittierten Fluoreszenz-Photonen in Abhängigkeit von einer ersten Abklingkonstanten τ_1 und einem ersten, insbesondere orts aufgelösten, Vorfaktor $n_{0,1}$ angibt, und (ii) zumindest einer zweiten Abklingfunktion, die die Abhängigkeit der pro Zeiteinheit emittierten Fluoreszenz-Photonen in Abhängigkeit von einer zweiten Abklingkonstanten τ_2 , die sich von der ersten Abklingkonstante unterscheidet, und einem zweiten, insbesondere orts aufgelösten, Vorfaktor $n_{0,2}$ angibt, und vorzugsweise (b) Ermitteln des Oberflächenfehlers, insbesondere nur, aus einem der orts aufgelösten Vorfaktor und/oder Darstellen der orts aufgelösten Vorfaktoren in einem Bild.

Das Anpassen mit den Abklingfunktionen ist rechenaufwendiger, liefert aber, insbesondere bei einer geringen Fluoreszenzphotonenanzahl erfasster Photonen, einen hohen Kontrast zwischen Bereichen mit und ohne Oberflächenfehlern. Es ist möglich, 3, 4 oder mehr Abklingfunktionen zu verwenden. Statt Anpassen könnte auch von Anfitten gesprochen werden. Unter dem Vorfaktor wird der Faktor vor der

Exponentialfunktion verstanden. Diese Zahl könnte auch Amplitude genannt werden, auch wenn die Exponentialfunktion keinen komplexwertigen Exponenten hat.

Für die erste Abklingfunktion f_1 gilt insbesondere $f_1(t) = n_{0,1} \cdot \exp(-\tau_1 t) + a_1$.

Für die zweite Abklingfunktion f_2 gilt insbesondere $f_2(t) = n_{0,2} \cdot \exp(-\tau_2 t) + a_2$.

Vorzugsweise wird die Fluoreszenzphotonenanzahl orts aufgelöst bestimmt und/oder gegebenenfalls in dem Bild dargestellt. Unter dem Merkmal, dass die Fluoreszenzphotonenanzahl orts aufgelöst bestimmt wird, wird insbesondere verstanden, dass die Fluoreszenzphotonenanzahl in Abhängigkeit von der Position auf dem Prüfling ermittelt wird, von dem das entsprechende Fluoreszenz-Photon emittiert wurde.

Wiederum alternativ erfolgt das Ermitteln von Oberflächenfehlern durch ein Berechnen des orts aufgelösten ersten Moments der orts aufgelösten verzögerungszeitabhängigen Fluoreszenzphotonenanzahl und ein Ermitteln des Oberflächenfehlers, insbesondere nur, aus dem orts aufgelösten Moment. Diese Berechnung ist weniger rechenintensiv als ein Anpassen, sodass eine kürzere Auswertezeit erreicht wird.

Um die Auswertegenauigkeit weiter zu erhöhen, ist es günstig, vor dem Ermitteln der Verzögerungszeiten die verzögerungszeitabhängige Fluoreszenzphotonenanzahl mit einer Übertragungsfunktion einer zum Erfassen der verzögerungszeitabhängigen Fluoreszenzphotonenanzahl verwendeten Prüfvorrichtung zu entfalten. Unter dem Entfalten wird das Durchführen der Umkehrfunktion der mathematischen Faltung verstanden.

Das Akzeptanzintervall hat vorzugsweise eine untere Grenze in Form einer Minimal-Verzögerungszeit. Die Minimal-Verzögerungszeit ist größer als die Flugzeit am Prüfling reflektierter oder gestreuter Photonen. Bei der Streuung kann es sich beispielsweise um Raman-Streuung handeln.

Vorzugsweise ist die Minimal-Verzögerungszeit größer als die Abklingzeit von Fluoreszenzstrahlung des Materials, aus dem der Prüfling besteht, und/oder von am Prüfling haftendem Schmutz. Auf diese Weise können entsprechende Messergebnisse eliminiert werden, was den Kontrast erhöht.

Das Akzeptanzintervall kann zudem so gewählt sein, dass die Fluoreszenz-Photonen unterdrückt werden. Dadurch kann beispielsweise die Verschmutzung des Prüflings ermittelt werden.

Vorzugsweise umfasst das Verfahren den Schritt des Diskriminierens und/oder Herausfilterns von Messereignissen von Photonen, deren Wellenlänge außerhalb eines vorgegebenen Soll-Wellenlängenintervalls liegt. Das reduziert die Hintergrundstrahlung und Strahlung durch Reflexionen. Fluoreszenz-Photonen haben eine geringere Energie und damit eine größere Wellenlänge als die Anregungs-Photonen. Vorzugsweise wird das Soll-Wellenlängenintervall so gewählt, dass Anregungs-Photonen nicht enthalten sind. Unter einem Diskriminieren wird ein Bewirken, dass entsprechende Photonen nicht oder nur in vernachlässigbar kleinem Maße in den Fehlerparameter eingeht, verstanden. Auf diese Weise werden nur selektierte Fluoreszenz-Photonen erfasst. Statt von selektierten Fluoreszenz-Photonen könnte auch von frequenzselektierten Fluoreszenz-Photonen gesprochen werden.

Die selektierten Fluoreszenz-Photonen können, wie oben beschrieben ausgewertet und/oder dargestellt werden.

Das Bestrahlen des Prüflings mit Anregungs-Photonen kann mittels einer gepulsten Lichtquelle, insbesondere einem gepulsten Laser erfolgen. Alternativ oder zusätzlich kann das Bestrahlen mittels einer intensitätsmodulierten Lichtquelle, insbesondere eines intensitätsmodulierten Lasers, erfolgen. Die Lichtquelle kann insbesondere auch eine Diode oder eine Blitzlampe sein. Der gepulste Laser ist beispielsweise ein Picosekundenlaser. Die Halbwertsbreite eines Picosekundenlaser beträgt vorzugsweise höchstens 1000 ps, vorzugsweise höchstens 100 ps, besonders bevorzugt höchstens 50 ps.

Bei dem Fehlerparameter kann es sich auch um ein Flächenmaß handeln, dass die Größe von Gebieten angibt, in denen eine flächenspezifische Emissionsdichte von, insbesondere selektierten, Fluoreszenz-Photonen oberhalb eines vorgegebenen Fluoreszenz-Schwellenwerts liegt. In anderen Worten misst dieses Flächenmaß die

Größe der Bereiche, von denen viele nicht-diskriminierte, insbesondere selektierte, Photonen ausgesandt wurden.

Bei dem Fehlerparameter kann es sich auch um einen Maximalwert der Emissionsdichte von, insbesondere selektierten, Fluoreszenz-Photonen handeln. Insbesondere kann der Fehlerparameter auch ein, insbesondere gewichteter, Mittelwert aus mehreren einzelnen Fehlerparameter oder ein Vektor mit mehreren Fehlerparameter sein.

Vorzugsweise besitzt die Prüfvorrichtung eine Aufbringvorrichtung zum automatischen Aufbringen eines Fluoreszenzfarbstoffs auf den Prüfling. Auf diese Weise entfällt die manuelle Präparation.

Die Prüfvorrichtung kann eine Entfernvorrichtung zum automatischen Entfernen eines Teils des Fluoreszenzfarbstoffs aufweisen. Mittels dieser Entfernvorrichtung wird der Fluoreszenzfarbstoff, zumindest weit überwiegend, nur an den Stellen entfernt, an denen kein Oberflächenfehler vorliegt.

Gemäß einer Ausführungsform ist die Aufnahme zum Befestigen am Prüfling ausgebildet. Das ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn der Prüfling größer und oder schwerer ist als die Prüfvorrichtung.

Gemäß einer Ausführungsform vorzugsweise besitzt die Prüfvorrichtung einen Antrieb zum Bewegen der Lichtquelle und/oder des Detektors und/oder eines Messkopfs relativ zum Prüfling. Auf diese Weise kann ein großer Teil der Oberfläche des Prüflings auf Oberflächenfehler geprüft werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist die Prüfvorrichtung ausgebildet zum selbständigen Bewegen, insbesondere entlang des Prüflings. Dazu kann die Prüfvorrichtung einen, zwei oder mehrere Motoren und/oder Aktuatoren aufweisen. Beispielsweise kann die Prüfvorrichtung Teil eines Prüfroboters sein, der ausgebildet ist zum reversiblen formschlüssigen, reibschlüssigen, stoffschlüssigen oder magnetischen Befestigen am Prüfling.

Wird die Prüfvorrichtung bei künstlichem, periodisch schwankendem Umgebungslicht betrieben, ist es vorteilhaft, die Hintergrundstrahlung dadurch zu reduzieren, dass die Messungen während eines Helligkeitsminimums durchgeführt werden. Gemäß einer Nutzung der Ausdrucksform besitzt die Prüfvorrichtung dazu einen Helligkeitssensor zum Erfassen der Umgebungsfälligkeit. Vorzugsweise ist die Auswerteeinheit eingerichtet zum automatischen (i) zeitabhängigen Erfassen der Umgebungshelligkeit, (ii) Ermitteln einer periodischen Helligkeitsänderung und (iii) Ansteuern der Lichtquelle und/oder des Detektors, sodass nur Fluoreszenz-Photonen erfasst werden, deren die Anregungs-Photonen in einem Minderhelligkeits-Zeitintervall, in dem die Umgebungshelligkeit kleiner ist als eine mittlere Umgebungshelligkeit, auf den Prüfling aufgetroffen sind. Besonders günstig ist es, wenn das Bestrahlen und/oder das Erfassen nur im Minimum der Umgebungshelligkeit erfolgt.

Die Kamera ist vorzugsweise eine Zeitschlitzkamera und/oder eine Laufzeitkamera. Zeitschlitzkameras sind auch unter dem englischen Namen gated Kamera bekannt, Laufzeitkameras werden auch als Time-of-flight-Kamera bezeichnet.

Vorzugsweise wird der Prüfling relativ zum Detektor und/oder zur Lichtquelle bewegt. Gemäß einer Ausführungsform wird der Prüfling abgerastert. In anderen Worten werden die Fluoreszenz-Photonen von einer Vielzahl an unterschiedlichen Orten auf dem Prüfling erfasst.

Erfindungsgemäß ist zudem ein Prüfling, der mit einem erfindungsgemäßen Verfahren geprüft wurde und dem ein Prüfzertifikat zugeordnet ist, in dem das Ergebnis der Prüfung bescheinigt ist. Erfindungsgemäß ist insbesondere auch die Gesamtheit aus dem so geprüften Prüfling und dem Prüfzertifikat. Erfindungsgemäß ist auch ein Produkt, das den Prüfling enthält, und dem das Prüfzertifikat zugeordnet ist.

Vorzugsweise besitzt die Prüfvorrichtung einen Messkopf, mittels dem ein Auftreffpunkt, in dem die Anregungs-Photonen auf den Prüfling auftreffen und von wo die Fluoreszenz-Photonen erfasst werden, auf dem Prüfling positionierbar ist.

Gemäß einer Ausführungsform ist die Prüfvorrichtung und/oder das Fluoreszenzlebensdauer-Mikroskop und/oder das Fluoreszenzlebensdauer-Messgerät als Endoskop ausgebildet. Auf diese Weise können beispielsweise im Inneren von Turbinen, beispielsweise Flugzeugturbinen, liegende Prüflinge, beispielsweise Lauf- oder Leitschaufeln, geprüft werden.

Vorzugsweise umfasst die Prüfvorrichtung eine Ladestation zur automatischen Vorreinigung des Prüflings.

Die Entfernstation kann auch als Waschstation bezeichnet werden. Sie dient insbesondere der automatischen Zwischenreinigung. Vorzugsweise besitzt die Prüfvorrichtung, die gemäß einer bevorzugten Ausführungsform eine automatische Prüfvorrichtung ist, zwei oder mehrere Module wie eine Vorspülstation zum Abwaschen der Prüflinge und eine Nachspülstation zum Nachwaschen der Prüflinge.

Die Aufbringvorrichtung kann als Eindringstation, auch Penetrierstation genannt, zum Aufsprühen des Fluoreszenzfarbstoffs und/oder zum Eintauchen des Prüflings in Fluoreszenzfarbstoff ausgebildet sein.

Vorzugsweise umfasst die Prüfvorrichtung eine Trockenentwicklerstation zur, insbesondere automatischen Inspektion und/oder Überprüfung der Prüflinge auf vollständige Abdeckung durch den Fluoreszenzfarbstoff.

Vorzugsweise umfasst die Prüfvorrichtung eine Emulgatorstation zum Aufbringen eines Emulgators aufzubringen. In Materialflussrichtung hinter der Emulgatorstation ist vorzugsweise ein Stoppbad zur Stabilisierung der Emulsion angeordnet.

Vorzugsweise umfasst die Prüfvorrichtung eine Trocknerstation zum Trocknen des mit Fluoreszenzfarbstoff versehenen Prüflings. Beispielsweise umfasst die Trocknerstation einen Trockenofen, vorzugsweise zum Trocknen bei minimal 40°C, insbesondere 50°C, bevorzugt mindestens 60°C, und vorzugsweise höchstens 90°C, insbesondere höchstens 80°C.

Vorzugsweise umfasst die Prüfvorrichtung ein Beladesystem und/oder ein Entladesystem zum automatisierten Beschicken der Prüfvorrichtung mit Prüflingen und/oder zur Weitergabe der Prüflinge nach der Prüfung in den weiteren Produktionsprozess.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

Figur 1 eine schematische Ansicht einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 2a ein Histogramm einer ersten Messung, dass die Zahl der empfangenen Fluoreszenz-Photonen gegen die jeweilige Verzögerungszeit aufträgt,

Figur 2b ein Histogramm einer zweiten Messung, dass die Zahl der empfangenen Fluoreszenz-Photonen gegen die jeweilige Verzögerungszeit aufträgt,

Figur 2c ein erstes Bild von einem Prüfling, wobei in diesem Bild alle empfangenen Fluoreszenz-Photonen aufgetragen sind,

Figur 2d ein zweites Bild, dass sich vom ersten Bild dahingehend unterscheidet, dass Photonen, die eine Minimal-Verzögerungszeit von beispielsweise $t_{\min}=11$ ns unterschreiten, diskriminierte wurden,

Figur 2e eine schematische Darstellung von Figur 2c

Figur 2f eine schematische Darstellung von Figur 2d und

Figur 3 eine erfindungsgemäße Herstellvorrichtung

Figur 1 zeigt eine Prüfvorrichtung 10 zur zerstörungsfreien Prüfung eines Bauteils in Form eines Prüflings 12 auf Oberflächen-oder Randzonenfehler. Die Prüfvorrichtung 10 besitzt eine Aufnahme 16 zum Aufnehmen des Prüflings 12 und eine Lichtquelle 18 zum Bestrahlen des Prüflings 12 mit Anregungs-Photonen $20.i$ ($i = 1, 2, \dots$), die Anregungslicht 22 bilden.

Die Prüfvorrichtung 10 besitzt zudem einen Detektor 24, insbesondere in Form eines Einzelphotonendetektors 26, zum Erfassen von Fluoreszenz-Photonen $28.j$ ($j = 1, 2, \dots$), die von einem Fluoreszenzfarbstoff 30 emittiert werden, der in einem Oberflächenfehler 32 enthalten ist. Bei dem Oberflächenfehler 32 handelt es sich beispielsweise wie in Figur 1 schematisch eingezeichnet um einen Riss 33. Der Detektor 24 ist mit einer Auswerteeinheit 34 verbunden, die einen Bildschirm 36 aufweisen kann, das ist aber nicht notwendig.

Die Aufnahme 16 kann ausgebildet sein zum automatischen Drehen des Prüflings 12, beispielsweise um eine Vertikalachse V und/oder eine Horizontalachse H.

Bei dem Detektor 24 kann es sich, wie in Figur 1 gezeigt, um einen Detektor handeln, der die Fluoreszenz-Photonen $28.j$ nur von einem Auftreffpunkt A auf dem Prüfling 12 erfasst. Es ist aber auch denkbar, dass der Detektor 24 durch eine Kamera oder eine Detektorzeile aufweist oder gebildet ist.

Zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Farbeindringverfahrens wird zunächst der Prüfling 12 mit dem Fluoreszenzfarbstoff 30 benetzt. Dazu wird der Fluoreszenzfarbstoff 30 beispielsweise aufgesprüht oder der Prüfling 12 in den Fluoreszenzfarbstoff 30 eingetaucht. Bei dem Fluoreszenzfarbstoff 30 handelt es sich beispielsweise um einen Fluoreszenzfarbstoff nach ISO 3452-1 und 3452-2 und/oder EN 571 Level drei oder vier, beispielsweise um Magnaflux ZL-37 der Magnaflux GmbH, Essingen, Deutschland. Der Fluoreszenzfarbstoff 30 dringt dabei in Oberflächenfehler, beispielsweise den Riss 33, ein. Danach wird ein Teil des Fluoreszenzfarbstoffs 30 entfernt, beispielsweise durch Abblasen, insbesondere mit Druckluft, oder Abreiben mit einem Textil. Das kann automatisiert oder manuell erfolgen.

Danach wird, ebenfalls automatisiert oder manuell, der Prüfling 12 mit der Aufnahme 16 verbunden, beispielsweise aufgesetzt. Mittels der Lichtquelle 18 wird das Anregungslicht 22, beispielsweise gepulst auf den Auftreffpunkt A gesendet. Vorzugsweise hat der Lichtpuls, den die Lichtquelle 18 abgibt, eine Dauer von höchstens 10 ps. Fluoreszenz-Photonen $28.j$, die von der Oberfläche O des Prüflings

im Auftreffpunkt A ausgehen, werden von einer Linse 38 in den gleichen Lichtpfad geleitet, in dem das Anregungslicht 22 auf die Oberfläche O geleitet wurde.

In einem Strahlteiler 40 werden die Fluoreszenz-Photonen 28.j, die das Anregungslicht 42 bilden, zum Einzelphotonendetektor 26 geleitet. Dieser erfasst für jedes registrierte Fluoreszenz-Photonen 28.j eine Verzögerungszeit t_j , zu dem das Fluoreszenz-Photonen 28.j registriert wurde. Es ergibt sich so ein Histogramm $H: t \rightarrow n(t)$, das die Fluoreszenzphotonenanzahl n der in einem Zeitintervall $t+\Delta t$ gemessenen Fluoreszenz-Photonen 28.j registrierten gegen die Verzögerungszeit t aufträgt.

Figur 2a zeigt ein erstes Histogramm $H1$, Figur 2b zeigt ein zweites Histogramm $H2$. Figur 2c zeigt ein erstes Bild $B1$, in dem ein orts aufgelöstes Histogramm $B: x,y,t \rightarrow n(t)$ dargestellt ist, dass die Fluoreszenzphotonenanzahl n der Fluoreszenz-Photonen 28.j über dem Ort (x,y) darstellt. Je größer die Fluoreszenzphotonenanzahl n , desto heller ist der entsprechende Pixel.

Von der Auswerteeinheit 34 (siehe Figur 1) können diejenigen Fluoreszenz-Photonen 28.j diskriminiert werden, deren Verzögerungszeit t_j außerhalb eines Akzeptanzintervalls I liegt.

Der Prüfling 12 wird mittels eines Antriebs der Aufnahme 16 kontinuierlich bewegt, so dass die Oberfläche O des Prüflings 12 abgerastert wird. Alternativ zum Begriff des Abrasterns könnte auch von einem Scannen gesprochen werden. Aus der Geschwindigkeit der Drehgeschwindigkeiten um die Vertikalachse V einerseits und die senkrecht dazu stehende Horizontalachse H wird der Ort (x, y) bestimmt, an dem sich der Auftreffpunkt A befindet. Dieser Ort (x, y) wird dem entsprechenden Histogramm zugeordnet.

Figur 2d zeigt ein Bild $B2$, bei dem eine Minimal-Verzögerungszeit $t_{\min}$ des Akzeptanzintervalls $I = [t_{\min}, \dots t_{\max}]$ so gewählt wurde, dass durch Reflexionen oder Streuprozesse hervorgerufene Photonen diskriminiert werden. Es ist zu erkennen, dass der Oberflächenfehler F deutlich besser sichtbar ist. Das Akzeptanzintervall war $I = [6 \text{ ns}, 20 \text{ ns}]$.

Die Figuren 2e und 2f zeigen schematische Darstellung der Bilder B1 bzw. B2.

Die Bilder B1, B2 werden auf dem Bildschirm 36 dargestellt. Dort können sie von einer Person begutachtet werden.

Alternativ kann die Auswerteeinheit 34 den maximalen Helligkeitswert aus den orts-aufgelösten Verzögerungszeiten $B: x,y,t \rightarrow n(t)$ bestimmen, der einen Fehlerparameter F darstellt. Überschreitet der Fehlerparameter F einen vorgegebenen Schwellenwert F_s , so kann die Auswerteeinheit 34 eine Fehlermeldung ausgeben. Diese kodiert, dass der Prüfling 12 fehlerhaft ist. Beispielsweise wird der Prüfling 12 dann automatisch ausgesondert.

Figur 3 zeigt schematisch eine automatische Herstellvorrichtung 44 mit einer Anlage 46 zum Herstellen einer Komponente in Form des Prüflings 12. Diese wird, beispielsweise im Flug, mit dem Fluoreszenzfarbstoff 30 benetzt. Alternativ liegen die Prüflinge 12 beispielsweise auf einem Förderer auf, beispielsweise einer Kette. Beispielsweise werden die Prüflinge 12 in ein Fluoreszenzfarbstoffbad getaucht.

Nachfolgend wird der Teil des Fluoreszenzfarbstoffs 30, der nicht in Oberflächenfehlern gefangen ist, optional mit einem Emulgator, der auch Emulsifier genannt werden kann, emulgiert. Danach wird der überschüssige Fluoreszenzfarbstoff 30 durch eine Entfernvorrichtung 49 mit Wasser 48 abgespült und danach mittels eines Roboters 50 auf die Aufnahme 16 aufgelegt. Ergibt die oben beschriebene Messung, dass der Prüfling 12 fehlerhaft ist, wird dieser beispielsweise in einen Ausschussbehälter 52 befördert, andernfalls wird der Prüfling 12 einer Montageanlage 54 zur weiteren Montage zugeführt, sodass ein Produkt 56 entsteht.

Figur 4 zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung 10 in Form eines Prüfroboters 58, der in Figur 4 vergrößert dargestellt ist. Der Prüfroboter 10 besitzt eine Aufnahme 16, die als Befestigungsvorrichtung 60 ausgebildet ist und beispielsweise drei Befestiger 62.i aufweist. Die Befestiger 62.i können beispielsweise Saugnäpfe aufweisen. Mittels der drei Befestiger 62.i kann die Prüfvorrichtung 10 fest am Prüfling 12, der beispielsweise, wie im vorliegenden Fall, durch ein Flugzeug 64 gebildet ist, befestigt werden.

Mittels eines Antriebs 66, der beispielsweise als x-y-Tisch ausgebildet sein kann, kann ein Messkopf 68 so positioniert werden, dass der Auftreffpunkt A auf der Oberfläche O des Prüflings 12 positioniert, also festgelegt, werden kann. Die Auswerteeinheit 34 oder eine gesonderte Steuerung ist ausgebildet zum Ansteuern der Befestigungsvorrichtung 60 so, dass sich der Prüfroboter 58 entlang der Oberfläche O des Prüflings 12 bewegt.

Mittels eines optionalen Helligkeitssensors 70 wird eine Umgebungshelligkeit des Prüflings 12 erfasst. Wird der Prüfling 12 mit einer künstlichen Lichtquelle bestrahlt, so schwankt die Helligkeit in der Regel mit der Netzfrequenz der Lichtquelle. Die Auswerteeinheit 34 erfasst diese Helligkeitsschwankungen und steuert die Lichtquelle 18 und den Detektor 24 so an, dass lediglich im Minimum der Umgebungshelligkeit eine Messung durchgeführt wird. Die Prüfvorrichtung 10 ist ein Fluoreszenzlebensdauer-Messgerät.

Bezugszeichenliste

10	Prüfvorrichtung	68	Messkopf
12	Prüfling	70	Helligkeitssensor
16	Aufnahme		
18	Lichtquelle, Laser	Δt	Zeiteinheit, Zeitintervall
20	Anregungs-Photon	τ_1	erste Abklingkonstante
22	Anregungslicht (doppelt)	τ_2	zweite Abklingkonstante
24	Detektor	A	Auftreffpunkt
26	Einzelphotonendetektor	B	Bild
28	Fluoreszenz-Photon	f_1	erste Abklingfunktion
30	Fluoreszenzfarbstoff	f_2	zweite Abklingfunktion
32	Oberflächenfehler, Randzonen- fehler	F	Oberflächenfehler
33	Riss	H	Horizontalachse
34	Auswerteeinheit	i	Zählindex
36	Bildschirm	j	Zählindex
38	Linse	I	Akzeptanzintervall
40	Strahlteiler	M	Messbereich
42	Anregungslicht (doppelt)	n	Anzahl der Fluoreszenz- Photonen
44	Herstellvorrichtung	$n_{0,1}$	erster Vorfaktor
46	Anlage	$n_{0,2}$	zweiter Vorfaktor
48	Wasser	O	Oberfläche
49	Entfernvorrichtung	P	Fehlerparameter
50	Roboter	P_s	Schwellenwert
52	Ausschussbehälter	t	Verzögerungszeit
54	Montageanlage	t_{min}	Minimal-Verzögerungszeit
56	Produkt	V	Vertikalachse
58	Prüfroboter	x	Ortskoordinaten entlang der Oberfläche
60	Befestigungsvorrichtung	y	Ortskoordinaten entlang der Oberfläche
62	Befestiger		
64	Flugzeug		
66	Antrieb		

Becker & Hickl GmbH
Nunsdorfer Ring 7-9
12277 Berlin

Anwaltsakte:
6458-0005 DE-1

Datum:
11. September 2023

Patentansprüche

1. Farbeindringverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines Prüflings (12), mit
5 den Schritten
 - (a) Bestrahlen des mit einem Fluoreszenzfarbstoff (30) versehenen Prüflings
(12) mit Anregungs-Photonen (20), sodass Fluoreszenz-Photonen (28)
entstehen, und
 - (b) Erfassen von Fluoreszenz-Photonen (28),
10 gekennzeichnet durch die Schritte
 - (c) Erfassen einer Verzögerungszeit (t) der Fluoreszenz-Photonen (28)
zwischen dem Auftreffen der Anregungs-Photonen (20) auf dem Prüfling
(12) und der Emission des Fluoreszenz-Photons (28.1) und
 - (d) Ermitteln von Oberflächenfehlern (32) des Prüflings (12) anhand der
15 Verzögerungszeiten (t).
2. Farbeindringverfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Schritte
 - (a) Aufbringen eines Fluoreszenzfarbstoffs (30) auf den Prüfling (12) und
 - (b) danach und vor dem Bestrahlen des Prüflings (12) mit Anregungs-
20 Photonen (20) Entfernen eines Teils des Fluoreszenzfarbstoffs (30).

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

das Ermitteln von Oberflächenfehlern (32) des Prüflings (12) anhand der Verzögerungszeiten (t) die folgenden Schritte umfasst:

- 5 (a) sukzessives Erfassen der Verzögerungszeiten (t) der Fluoreszenz-Photonen (28) für alle Punkte eines Messbereichs auf der Oberfläche (O) des Prüflings (12) und
- (b) Ausgeben einer Warnmeldung, wenn ein Oberflächenfehler (32) ermittelt wurde
- 10 und/oder die folgenden Schritte umfasst:
- (a) orts aufgelöstes Erfassen einer Verzögerungszeit (t) der Fluoreszenz-Photonen (28), sodass eine verzögerungszeitabhängige Fluoreszenz-photonenanzahl (n) erhalten wird und
- (b) Darstellen nur solcher Fluoreszenz-Photonen (28), deren
- 15 Verzögerungszeiten (t) in einem vorgegebenen Akzeptanzintervall (I) liegt, in einem Bild (B) und/oder
- Darstellen eines Bildes (B), das ein Verhältnis der Fluoreszenzphotonenanzahlen
- zweier unterschiedlicher Verzögerungszeiten (t) und/oder
- 20 unterschiedlicher Spektralbereiche zeigt.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

das Ermitteln von Oberflächenfehlern (32) des Prüflings (12) anhand der Verzögerungszeiten (t) die folgenden Schritte umfasst:

- 25 (a) Anpassen der verzögerungszeitabhängigen Fluoreszenzphotonenanzahl (n(t)) mit
- (i) einer ersten Abklingfunktion (f_1), die die Abhängigkeit (n(t)) der pro Zeiteinheit emittierten Fluoreszenz-Photonen (28) in Abhängigkeit
- 30 von einer ersten Abklingkonstanten (τ_1) und einem ersten, insbesondere orts aufgelöst, Vorfaktor ($n_{0,1}$) angibt, und
- (ii) zumindest einer zweiten Abklingfunktion, die die Abhängigkeit der pro Zeiteinheit emittierten Fluoreszenz-Photonen (28) in Abhängig-
- 35 keit von einer zweiten Abklingkonstante (τ_2), die sich von der ersten

Abklingkonstante (τ_1) unterscheidet, und einem zweiten,

insbesondere orts aufgelösten, Vorfaktor ($n_{0,2}$) angibt, und

- (b) Ermitteln des Oberflächenfehlers (32) aus einem der orts aufgelösten Vorfaktoren ($n_{0,1}$, $n_{0,2}$) und/oder

5 Darstellen der orts aufgelösten Vorfaktoren ($n_{0,1}$, $n_{0,2}$) in einem Bild (30).

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- 10 (a) das Akzeptanzintervall (I) eine untere Grenze in Form einer Minimal-Verzögerungszeit ($t_{\min}$) hat, die größer ist als die Flugzeit am Prüfling (12) reflektierter oder gestreuter Photonen und/oder Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche und/oder
- (b) die Minimal-Verzögerungszeit größer als die Abklingzeit von Fluoreszenzstrahlung des Materials, aus dem der Prüfling (12) besteht, und/oder von
- 15 am Prüfling (12) haftendem Schmutz.

6. Prüfvorrichtung (10) zur zerstörungsfreien Prüfung von Prüflingen (12), insbesondere auf Oberflächen- oder Randzonenfehler (32), mit

- 20 (a) einer Aufnahme (16) zum Aufnehmen des Prüflings (12),
- (b) einer Lichtquelle (18), insbesondere einem Laser, zum Bestrahlen des Prüflings (12) mit Anregungs-Photonen (20),
- (c) einem Detektor (24), insbesondere einer Kamera, zum Erfassen von Fluoreszenz-Photonen (28), die vom Prüfling (12) aufgrund der Bestrahlung abgegeben werden,
- 25 (d) einer Auswerteeinheit (34), die eingerichtet ist zum automatischen
- (i) Erfassen einer Verzögerungszeit (t) der Fluoreszenz-Photonen (28) zwischen dem Auftreffen der Anregungs-Photonen (20) auf dem Prüfling (12) und der Emission des Fluoreszenz-Photons (28.1) und
- (ii) Darstellen eines Bilds (B) des Prüflings (12) anhand der von
- 30 Fluoreszenz-Photonen (28), deren Verzögerungszeiten (t) in einem vorgegebenen Akzeptanzintervall (I) liegt und/oder
- (iii) Berechnen zumindest eines Fehlerparameters (P), der ein Ausmaß von Oberflächenfehlern (32) des Prüflings (12) kodiert, aus den selektierten Fluoreszenz-Photonen (28).

35

7. Prüfvorrichtung (10) nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch
- (a) eine Aufbringvorrichtung zum Aufbringen eines Fluoreszenzfarbstoffs (30) auf den Prüfling (12) und
 - (b) eine Entfernvorrichtung zum Entfernen eines Teils des Fluoreszenzfarbstoffs (30).
- 5
8. Prüfvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass
- (a) die Aufnahme zum Befestigen am Prüfling ausgebildet ist,
 - 10 (b) die Prüfvorrichtung einen Antrieb (66) zum Bewegen der Lichtquelle (18) und/oder des Detektors (24) und/oder eines Messkopfs (68) relativ zum Prüfling (12) aufweist, und
 - (c) zum selbstständigen Bewegen, insbesondere entlang des Prüflings (12), ausgebildet ist.
- 15
9. Prüfvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, gekennzeichnet durch
- (a) einen Helligkeitssensor (70) zum Erfassen einer Umgebungshelligkeit,
 - (b) wobei die Auswerteeinheit (34) eingerichtet ist zum automatischen
 - (i) zeitabhängiges Erfassen der Umgebungshelligkeit,
 - 20 (ii) Ermitteln einer periodischen Helligkeitsänderung und
 - (iii) Ansteuern der Lichtquelle (18) und/oder des Detektors (24), sodass nur Fluoreszenz-Photonen (28) erfasst werden, deren die Anregungs-Photonen (20) in einem Minderhelligkeits-Zeitintervall, in dem die Umgebungshelligkeit kleiner ist als eine mittlere
- 25
- Umgebungshelligkeit, auf den Prüfling aufgetroffen sind.
10. Herstellvorrichtung (44) zum Herstellen eines Produkts (56) aus zumindest zwei Komponenten, mit
- (a) einer Anlage (46) zum Herstellen der ersten Komponente (),
 - 30 (b) einer Prüfvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 7, die angeordnet und ausgebildet ist zum, insbesondere automatischen, Prüfen dieser Komponente () und
 - (c) ggf. einer Montageanlage (54) zum Montieren des Produkts (56) unter Verwendung der geprüften Komponente ().
- 35

11. Herstellvorrichtung (44) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Lager-Herstellvorrichtung zum Herstellen eines Lagers, insbesondere eines Wälzlagers (56) aus zumindest zwei Wälzlager-Bestandteilen, insbesondere zumindest einem Wälzkörper.

5

12. Verwendung eines Fluoreszenzlebensdauer-Mikroskops oder Fluoreszenzlebensdauer-Messgeräts zur zerstörungsfreien Prüfung auf Oberflächenfehler (32), insbesondere Risse, in Oberflächen (O) von Bauteilen .

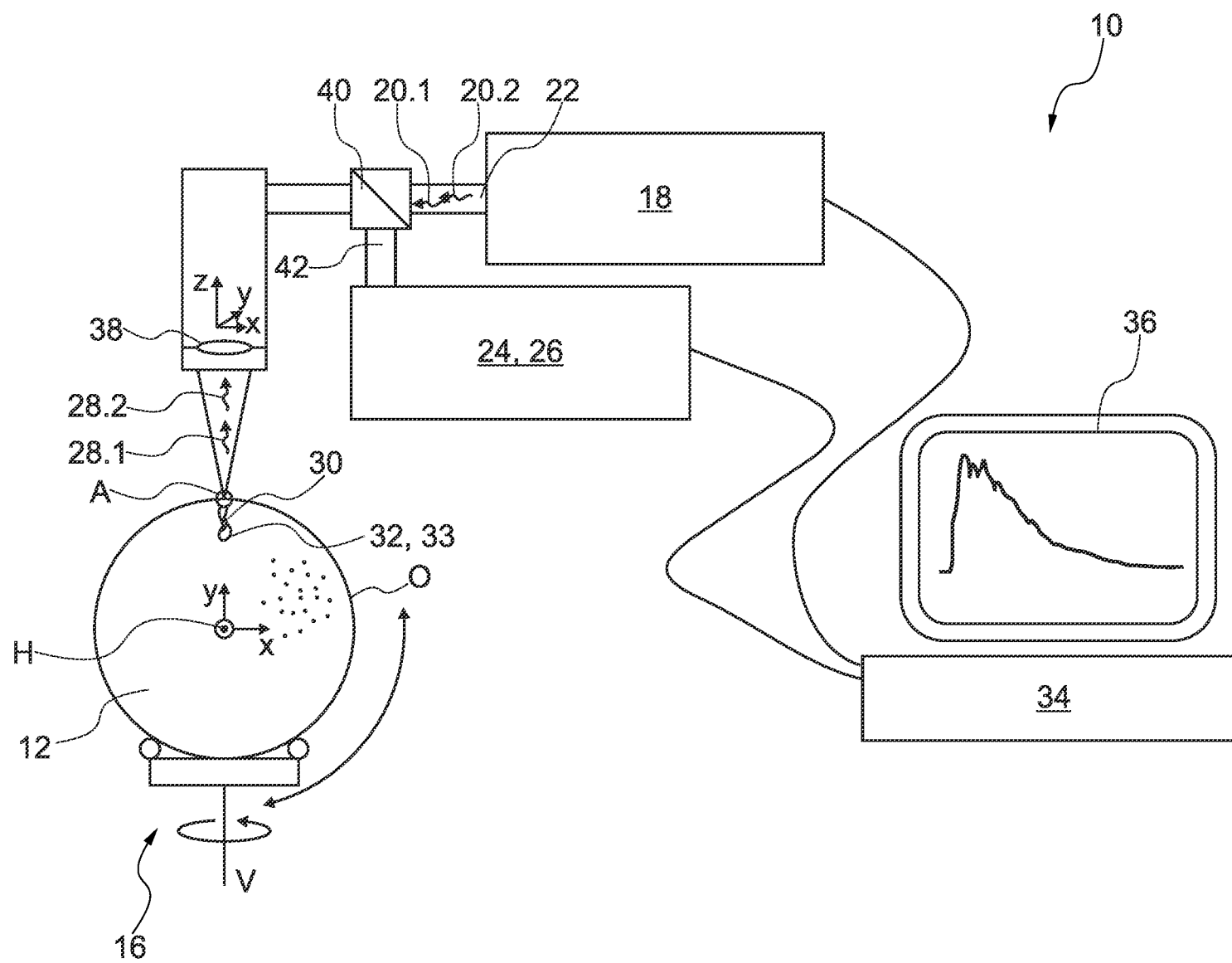


Fig. 1

H1

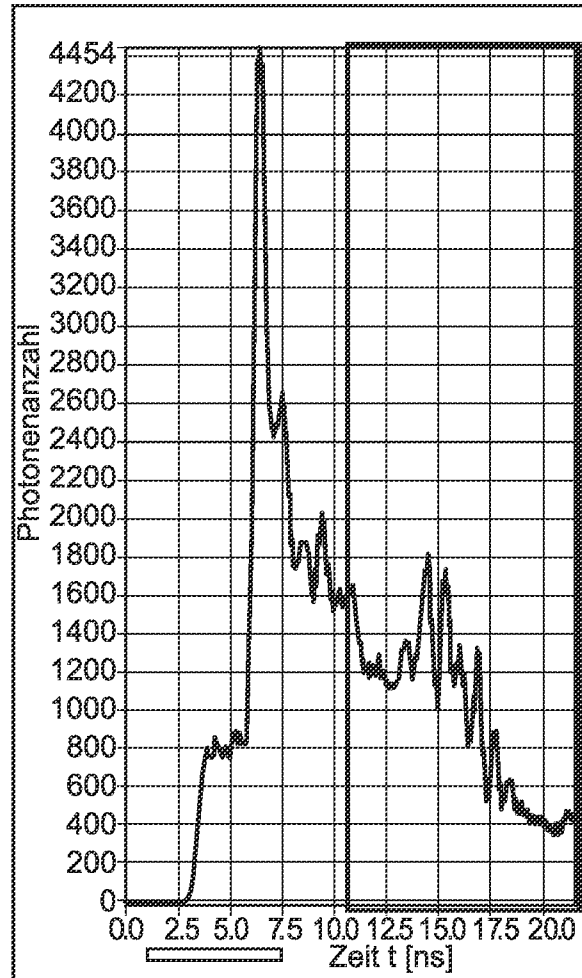


Fig. 2a

H2

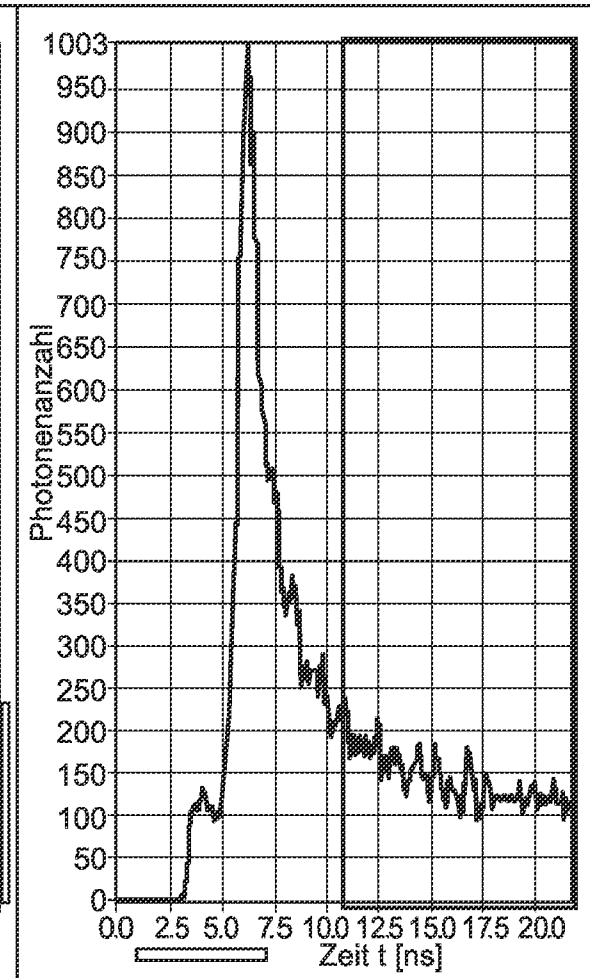
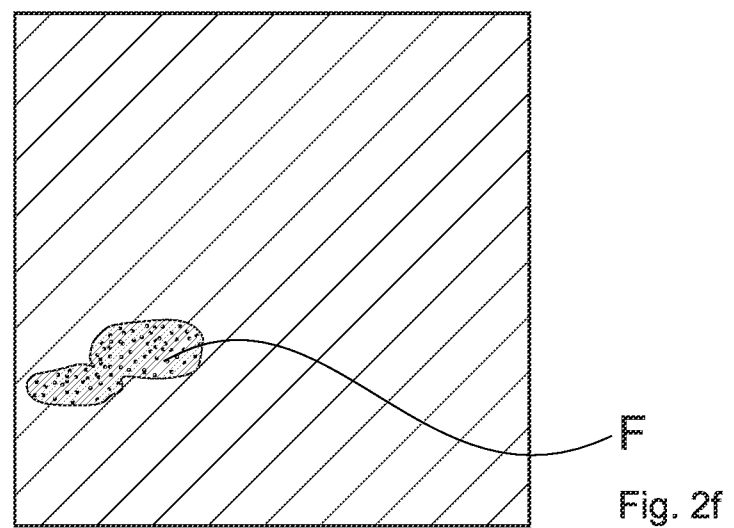
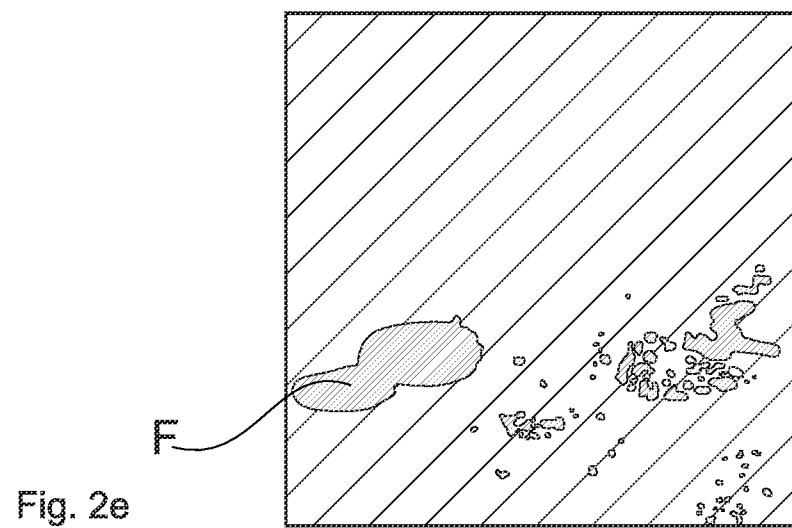
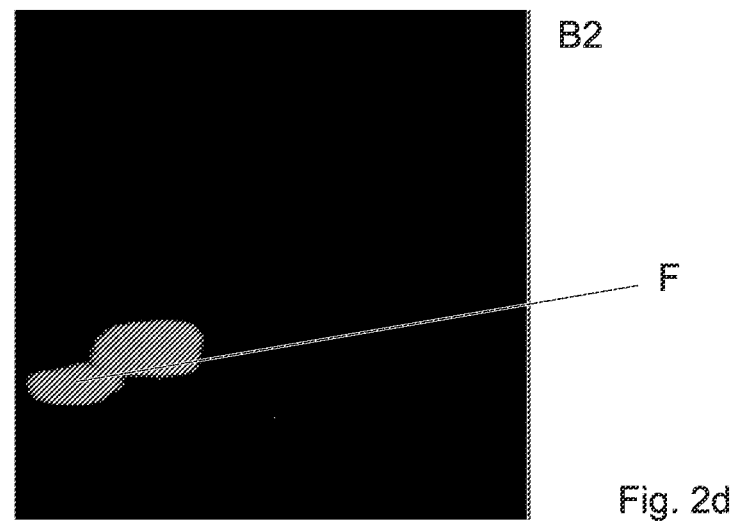
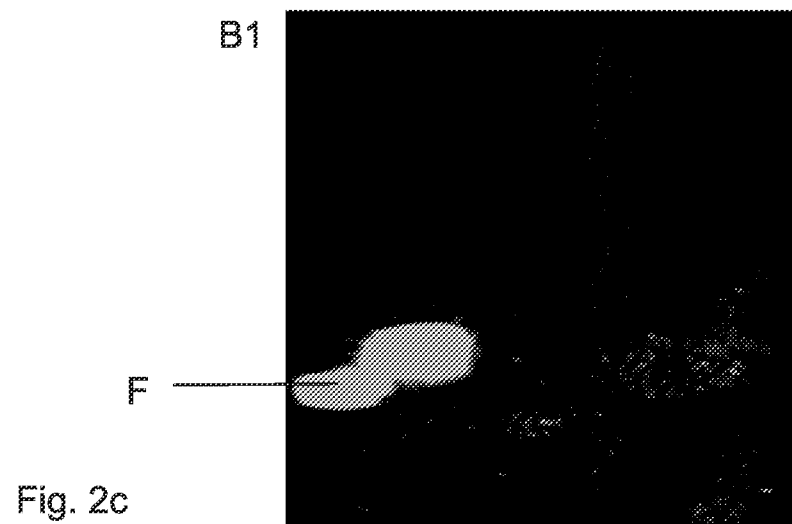


Fig. 2b

Fig. 2



44

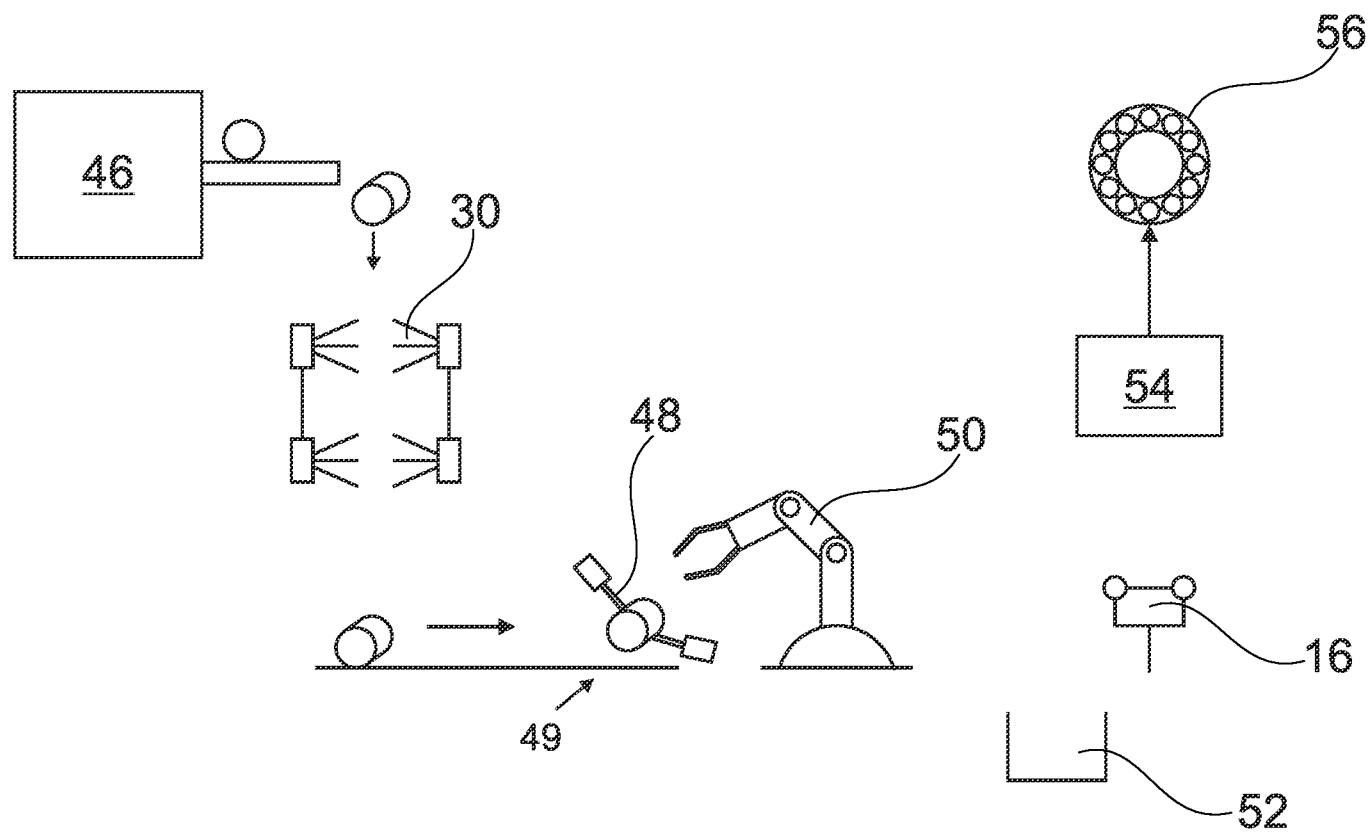


Fig. 3

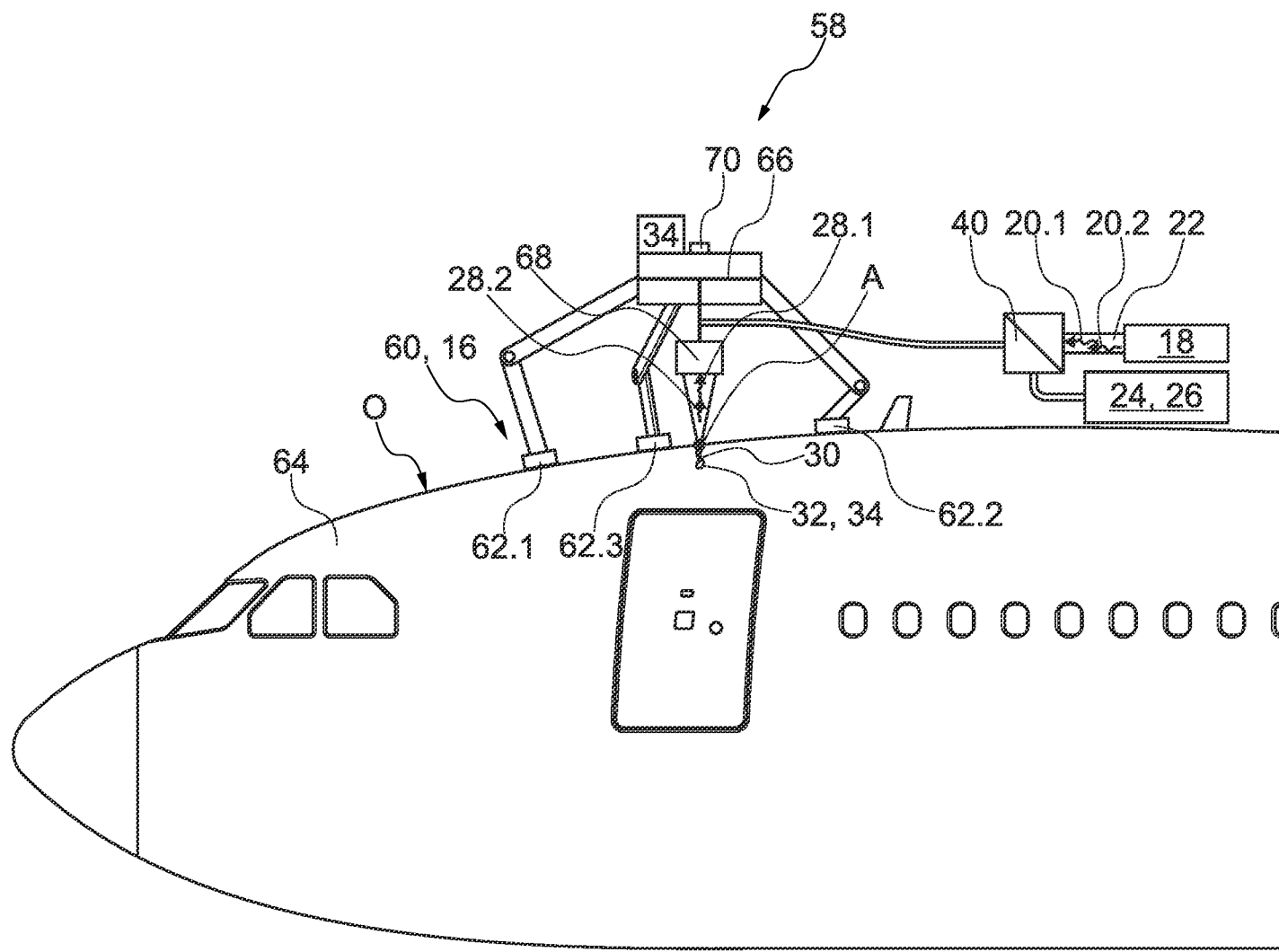


Fig. 4