



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **199 26 396.5**
 (22) Anmeldetag: **10.06.1999**
 (43) Offenlegungstag: **23.12.1999**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **18.08.2011**

(51) Int Cl.: **B23K 26/03 (2006.01)**
B23K 26/38 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
099755 **18.06.1998** **US**

(73) Patentinhaber:
General Electric Co., N.Y., Schenectady, US

(74) Vertreter:
Rüger, Rudolf, Dr.-Ing., 73728, Esslingen, DE

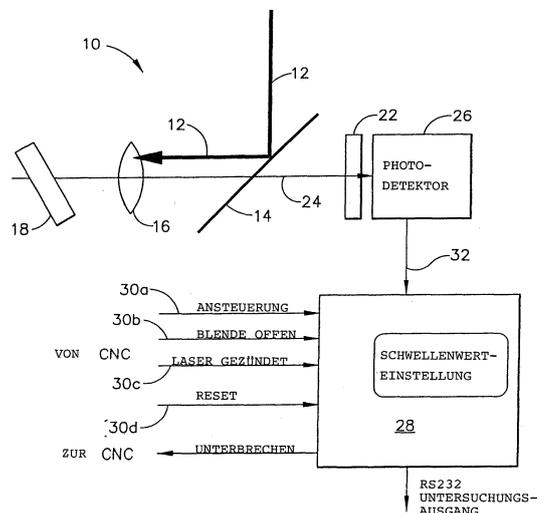
(72) Erfinder:
Somers, Ralph Morgan, Ohio, Cincinnati, US;
Crow, John Maynard, Ohio, Morrow, US

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

US	50 26 964	A
US	46 33 058	A
JP	03-1 24 387	A

(54) Bezeichnung: **Durchbruchdetektor für Laser-Bohrverfahren**

(57) Hauptanspruch: Einrichtung (10) zum Ermitteln, wann ein Loch durch ein Werkstück (18) mit einem Puls laser unter einer Maschinensteuerung gebohrt ist, wobei die Einrichtung aufweist:
 eine Detektierereinrichtung (26) zum Detektieren von Funken, die während des Laserbohrens von dem Werkstück (18) emittiert werden, und zum Erzeugen einer diese darstellenden Funkensignalamplitude (19), wobei die Funken Licht mit sichtbarer Wellenlänge erzeugen,
 eine Auswertereinrichtung (28) zum Festlegen eines Bezugswertes für einen betrieblichen Schwellenwert (20), der eine Funktion einer gemessenen Funkenintensität ist, und zum Vergleichen der Funkensignalamplitude (19) der Detektierereinrichtung (26) mit dem betrieblichen Schwellenwert (20) und
 eine auf die Auswertereinrichtung (28) ansprechende Ausgangssignaleinrichtung zum Anzeigen, wann das Durchgangsloch erreicht ist, und zur Anzeige an die Maschinensteuerung, alle weiteren Laserpulse auf das Werkstück (18) zu stoppen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich allgemein auf durch Laserbohren hergestellte Löcher und insbesondere auf eine Einrichtung und ein Verfahren zum Ermitteln, wann eine Pulslaserbohrung ein Werkstück durchbohrt hat.

[0002] Das Laserbohren von Flugzeugteilen verwendet ein hochenergetisches Laserbündel, um Material von dem Teil zu entfernen, wobei ein Loch mit einem kontrollierten Durchmesser zurückbleibt. Wenn das Teil eine geschlossene Kammer hat, wie es bei stromlinienförmigen Schaufeln üblich ist, muß das Energiebündel durch eine erste Oberfläche hindurchbohren, muß aber abgeschaltet werden, bevor es auf die zweite Oberfläche auftrifft. Die Durchdringung der ersten Oberfläche wird Durchbruch genannt, und obwohl ein Durchbruch notwendig ist, muß das Energiebündel abgeschaltet werden, bevor eine Beschädigung an der zweiten Oberfläche auftritt.

[0003] Üblicherweise wird eine Werkzeugmaschine programmiert, um die Anzahl von Laserpulsen oder Schüssen zu steuern. Aufgrund von Abweichungen, die bei der Fertigung von ungebohrten Teilen von Natur aus auftreten, wie beispielsweise eine Wanddickenänderung, die durch Gießänderungen oder andere Merkmale hervorgerufen wird, ist die Dicke von Metallwänden in den Teilen nicht immer konstant. Demzufolge kann die programmierte Anzahl von Schüssen, um die Oberfläche zu durchbrechen, zu gering sein (was zu unvollständigen Löchern führt) oder es können zu viele sein (was zu einem verschrammten Material in der zweiten Oberfläche führt). Ein zu wenig gebohrtes Loch erfordert ein Nachbohren des Teils, und ein zu viel gebohrtes Loch hat zusätzliche Kosten zur Materialbewertung, erneuten Inspektion und gelegentlich den Ausschuß von einem Teil zur Folge.

[0004] Es sind verschiedene bekannte Methoden entwickelt worden, um einen Durchbruchzustand zu detektieren, bevor eine Beschädigung an der zweiten Oberfläche auftritt. Beispielsweise kann das Werkstück von der Vorder- oder Bündelseite mit einem Strahlungsabtastsystem betrachtet werden. Im Betrieb einer Pulslaserbohrung hat jedoch das Laserpulsbündel, das auf das zu bohrende Material auftrifft, die Erzeugung von sehr hohen Temperaturen aufgrund einer intensiven lokalen Erhitzung zur Folge, da das Laserbohren ein thermischer Prozeß ist. Die intensive lokale Erhitzung bewirkt sehr heiße kleine Materialteilchen, die aus dem lokalisierten Bohrbereich herausgeschleudert werden. Die erhitzten, sehr kleinen Teilchen, die die Form von einem Funkenstreifen haben, strahlen Wärme und Licht ab, d. h. eine extrinsische bzw. materialfremde Strahlung. Wenn ein Strahlungsabtastsystem, das nach einer in-

trinsischen bzw. materialeigenen Laserpulsstrahlung sucht, verwendet wird, um zu ermitteln, ob ein Loch vollständig durch ist, bewirkt die extrinsische Strahlung von den heißen kleinen Teilchen falsche Anzeigen in dem Strahlungssystem.

[0005] US-Patent 5,026,964, die durch diese Bezugnahme vollständig in die vorliegende Offenbarung eingeschlossen wird, löst das oben genannte Strahlungsabtastproblem dadurch, daß ein Detektionsverfahren vorgeschlagen wird, das zwischen intrinsischer Strahlung und extrinsischer Strahlung unterscheiden kann. Die in der vorgenannten Schrift beschriebene Einrichtung verwendet jedoch einen manuell einstellbaren Schwellenwert, der für unterschiedliche Laserspannungen individuell eingestellt werden muß.

[0006] US-Patent 4,633,058 offenbart ein System zur Erkennung eines Durchbruchzustands, das auf von dem Bohrbereich ausgesandtes sichtbares Licht anspricht. Ein von einem Phototransistor erzeugtes Signal wird gefiltert und an einen Schmitt-Trigger angelegt, um beim Unterschreiten eines bestimmten Pegels den Bohrvorgang zu beenden. Der zugrundeliegende Schwellenwert muss ebenfalls individuell eingestellt werden.

[0007] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Einrichtung zu schaffen, um zu ermitteln, wann eine Durchgangsbohrung in ein Werkstück gebohrt ist, ohne daß eine manuelle Einstellung für unterschiedliche Laserspannungen erforderlich ist. Weiterhin sollen eine derartige Einrichtung und ein derartiges Verfahren geschaffen werden, die ein weiteres Bohren verhindern, sobald eine Durchgangsbohrung in das Werkstück gebohrt ist. Dabei soll auch dafür gesorgt werden, daß eine Unterbohrung bzw. eine zu geringe Bohrung in einem Pulslaser-Bohrbetrieb verhindert wird.

[0008] Gemäß der vorliegenden Erfindung werden eine Einrichtung und ein Verfahren geschaffen, um zu ermitteln, wann ein Durchgangsloch in ein Werkstück gebohrt ist. Die Erfindung erreicht eine Pulsunterscheidung durch Verwendung eines optischen Filters, das das Licht von dem bohrenden Laser sperrt oder absorbiert, während die sichtbaren Wellenlängen von den Funken, die während des Bohrens erzeugt werden, durchgelassen werden.

[0009] Gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird ein Fotosensor verwendet, um die Funken von dem Werkstück, das gerade gebohrt wird, zu beobachten. Der Fotosensor blickt durch die Bohrlinse, so daß das Werkstück, das gerade gebohrt wird, niemals die Sicht auf die Funken blockiert. Auf der Basis der Intensität der Funkensignale kann das Laserbohren gleichzeitig mit der Vollendung von einem Durchgangsloch gestoppt werden.

[0010] Die Erfindung wird nun mit weiteren Merkmalen und Vorteilen anhand der Beschreibung und Zeichnung von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0011] **Fig. 1A** stellt in einem schematischen Blockdiagramm den Laserbohr-Durchbruchsdetektor gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung dar.

[0012] **Fig. 1B** ist eine grafische Darstellung der Funkenintensität von dem gebohrten Werkstück.

[0013] **Fig. 2** ist ein Fließbild und stellt die Schritte zur Durchführung der Laserdurchbruchs-Ermittlung gemäß der Erfindung dar.

[0014] In **Fig. 1A** ist ein schematisches Blockdiagramm von einem Laserbohr-Durchbruchsdetektor in der Einrichtung und dem Verfahren gemäß der Erfindung dargestellt. Ein hochenergetisches, gepulstes Laserlicht **12** wird durch einen dichroitischen oder zweifarbigen Spiegel **14** detektiert und durch eine Bohrlinse **16** reflektiert, um die Oberfläche des Werkstücks **18** zu bohren. Die Laserdurchbruchs-Sensoreinrichtung **10** tastet Funken ab, die von dem gerade gebohrten Werkstück **18** emittiert werden, und tastet ab, wann die Funkensignalamplitude **19** oder die Intensität unter einen im voraus eingestellten Wert abfällt.

[0015] Die Funkensignalamplitude **19** von dem Werkstück **18** ist in **Fig. 1B** dargestellt, wo der Schwellenwert **20** als Linie gezeigt ist. Der Abfall in der Funkenintensität unter den Schwellenwert **20** signalisiert einen Durchbruchzustand auf dem Werkstück **18**. Wenn die Laserpulsreihe an diesem Punkt gestoppt wird (in **Fig. 1B** ist dies unmittelbar nach dem Bohrpuls D4 gezeigt), entsteht ein Durchgangsloch in dem Werkstück **18** ohne eine Beschädigung auf der zweiten Oberfläche.

[0016] Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung sperrt oder absorbiert ein optisches Filter **22** Licht **12** von dem Bohrlaser, während sichtbare Wellenlängen, die durch die Linie **24** angegeben sind, von den während des Bohrens erzeugten Funken durchgelassen werden. Der Fotosensor **26** detektiert durch die Bohrlinse **16** hindurch, so daß das Werkstück **18**, das gerade gebohrt wird, die Sicht auf die Funken nicht blockieren kann. Die Intensität des Signals am Fotosensor **26** ist am größten für den ersten Bohrpuls, der als D1 angegeben ist, und sie wird kleiner, bis das Laserbündel das Werkstück **18** oder die erste Oberfläche von einem Schaufelteil durchbohrt hat. An diesem Punkt wird die Funkenemission verringert, und das Loch ist „durch“ oder „durchbrochen“. Wenn das Bohren auf einer ersten Oberfläche fortgesetzt würde, beispielsweise bei einem Schaufelteil mit einer inneren Kammer, würde

eine Beschädigung an der zweiten Oberfläche auftreten, was ein unerwünschter Zustand ist.

[0017] Durch Einstellen der Schwellenwertspannung **20** in einer Auswerteeinrichtung **28** kann ein Benutzer steuern, an welchem Punkt der Bohrprozeß stoppen soll. Wenn die Signalamplitude (beispielsweise D4) kleiner ist als der eingestellte Schwellenwert **20**, sendet die Auswerteeinrichtung **28** ein „Durchbruch“-Signal an eine CNC Steuerung (Computer-Numerische-Steuerung) auf der Lasermaschine, die die Zündsequenz stoppt.

[0018] Gemäß der Erfindung wird die neuartige Verwendung von einem Spektralfilter **22** vorgeschlagen, um das starke Licht **12** aus dem Bohrlaser zu entfernen. Die Funktion des Spektralfilters besteht darin, das eine längere (Laser-)Wellenlänge aufweisende Licht zu entfernen, während das eine sichtbare Wellenlänge aufweisende Licht durchgelassen wird. Für den Fachmann ist klar, daß dies, optisch, durch Absorption oder durch Reflexion erreicht werden kann. Zu Darstellungszwecken allein weist das Spektralfilter **22** ein absorbierendes Filterglas auf, obwohl auch andere Implementierungen gemacht werden können. Beispielsweise kann die Filterung durch ein dielektrisches überzogenes Filter erreicht werden, das die Laserwellenlänge reflektiert, oder durch irgendein geeignetes, im Handel erhältliches Filter, das Absorption, Reflexion und Interferenz verwendet.

[0019] Gemäß der Erfindung verbessert die Verwendung des Spektralfilters **22** stark die Unterscheidung bzw. Diskriminierung zwischen den Bohr-(Funken) und Durchbruchs-(keine Funken) Zuständen, indem das unerwünschte Hintergrundlicht aus dem Laserbündel verringert wird. Weiterhin wird erfindungsgemäß eine Spitzendetektorschaltung verwendet, wobei die erste Spitzenamplitude D1 des Pulses benutzt wird, um einen Referenzpegel für einen betrieblichen Schwellenwert innerhalb des Mikrocontrollers einzustellen. Der betriebliche Schwellenwert innerhalb des Mikrocontrollers hat einen festen prozentualen Wert, der entweder durch einen manuell betätigten Schalter oder durch aus der Entfernung eingestellte Steuersignale von einer Laser CNC eingestellt werden kann. Der betriebliche Schwellenwert enthält auch die Spitzenamplitude von dem höchsten Funkensignal. Der Prozentsatzpegel wird vor dem Zünden des Lasers eingestellt. Somit ist der betriebliche Schwellenwert **20** ein Produkt von der D1 Funkenintensität und der Schwellenwert-Prozentsatzeinstellung.

[0020] Dies gestattet, daß die Sensoreinrichtung **10** den Änderungen in der Signalintensität folgt, die durch Ändern der Laserbetriebsspannung oder durch Änderungen an anderen Elementen der Detektionskette hervorgerufen werden. Das Laserbohrverfahren steuert die Lochgröße durch eine Kombination von Betriebsspannung an den Blitzlampen,

des Teil-zu-Linse-Abstandes (Fokusposition) und der durchschnittlichen Energie. Die Betriebsspannung, die durch die CNC gesteuert wird, kann nach Erfordernis eingestellt werden, und die anfängliche Funkenintensität folgt aus den Betriebsspannungsänderungen. Dieser einstellbare Schwellenwertpegel gestattet, daß die Spannung gemäß Änderungen in den Laserbetriebszuständen eingestellt werden kann, die durch das CNC Teileprogramm gesteuert werden, wie es durch Eingangsbefehle **30a**, **30b**, **30c** und **30d** in die Spitzendetektorschaltung angegeben ist, oder durch Änderungen in der CNC bzw. numerisch gesteuerten Laserbohrmaschine (die normale Änderungen in der Ausgangsenergie durchläuft aufgrund von Alterung der Blitzlampen oder aufgrund einer Verschlechterung der optischen oder elektrischen Komponenten in der Laserbohrmaschine) oder durch die Sensoreinrichtung **10**, wie es durch den Funkensignaleingang **32** angegeben ist.

[0021] Der Fotosensor **26**, der zum Beobachten der Funken aus dem Werkstück **18** verwendet wird, kann irgendein geeigneter Sensor oder Detektor sein, wie beispielsweise eine Fotodiode, ein Fototransistor oder eine andere Fotosensor-Technologie, wie beispielsweise Germanium- oder Bleisulfid, die bei den sichtbaren Wellenlängen weniger empfindlich sind. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung weist der Fotosensor **26** eine Fotodiode auf, wie beispielsweise eine Silicium-Fotodiode, die hinter einem Spiegel **14** angeordnet ist, der Teile von dem sichtbaren Licht durchläßt, aber einen sehr hohen Prozentsatz von dem eine Wellenlänge von 1,06 Mikrometer aufweisenden Licht von dem Bohrlaser reflektiert. Aufgrund der sehr hohen Energie des Laserbündels und der viel geringeren Intensität der Funkenemission wird der Fotosensor **26** durch das unerwünschte Licht von dem Laserbündel dominiert bzw. beherrscht. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird ein Infrarot-absorbierendes Filter **22** verwendet, das ein KG3 Schott-Filterglas mit einer Dicke 3 mm hat. Dieses Material ist im Handel erhältlich und wird normalerweise als wärmeabsorbierendes Glas zur Verwendung in Projektoren usw. verkauft. Das Filterglas läßt etwa 0,001 Prozent von dem Infrarotlicht durch, während 50 bis 80 Prozent von dem sichtbaren Licht von den Funken durchgelassen wird. Das Ergebnis ist eine sehr hohe Unterscheidung bzw. Diskriminierung zwischen dem Bohr- oder Funkenemissionszustand und dem Durchbruchzustand bzw. Zustand ohne Funkenemission.

[0022] Da der Fotosensor **26** das Licht durch die gleiche Linse **16** und die optischen Elemente „sehen“ kann, die zum Bohren des Werkstücks **18** verwendet werden, sind bisher bestehende Probleme, die dadurch hervorgerufen werden, daß das zu bohrende Werkstück die Sicht des Fotosensors versperrt, eliminiert worden. Wenn das Teil gebohrt werden

kann, können Funkenemissionen detektiert bzw. erfaßt werden.

[0023] In **Fig. 2** sind die Signaldetektions- und Steuerschritte zum Erzielen der Laserbohr-Durchbruchdetektion in einem Fließbild **34** dargestellt. Im Schritt **36** werden die Anfangsbedingungen eingestellt, das System wird befähigt und es wird ein Schwellenwertprozentsatz eingestellt. Die Laserzündsequenz zum Bohren umfaßt das Zünden des Lasers und dann das Öffnen der Steuerblende für eine programmierte Anzahl von Schüssen (während zwischen programmierten Schüssen die Blende geschlossen ist). Zwar bezieht sich das Fließbild gemäß **Fig. 2** auf das Bohren eines einzigen Loches, aber selbstverständlich ist die Erfindung darauf nicht beschränkt. Auch ohne einen „Blende geschlossen“ Schritt ist für den Fachmann klar, daß die Blende geschlossen ist, während die CNC das Werkstück zur nächsten Bohrstellung bewegt. Anderenfalls würden zufällige, ungeplante Löcher in das Werkstück gebohrt werden.

[0024] Die Laserblende hat mehrere Funktionen. Wenn sie geschlossen ist, ist der Laserenergie-Resonator weiterhin in Betrieb, um stetige Betriebsbedingungen an dem Laserstab aufrecht zu erhalten. Wenn das Teileprogramm fordert, daß Laserenergie an das Werkstück geliefert wird, um ein Loch zu machen, muß die Blende öffnen (in dem Intervall zwischen Pulsen) und für die programmierte Anzahl von Pulsen (Laserschüssen) offen bleiben. Um nur auf Laserpulse anzusprechen, die an das Werkstück geliefert werden, und infolgedessen solche, die eine Funkenemission erzeugen können, sucht der Sensor nur nach einer Antwort, nachdem die Blende offen ist. Somit gibt die „Blende offen“ Signallinie des Blockes **38** dem Sensor den Hinweis, mit dem Suchen nach einer Antwort von dem Sensor zu beginnen. Die Kombination des Laserzünd-Eingangssignals des Blockes **40** und des Blende-offen-Eingangssignals des Blockes **38** aktiviert den Durchbruchsensor immer dann, wenn er von einer Steuerung von der CNC angesteuert ist. Das heißt, wenn der erste Puls gezündet worden ist, wie es am Block **42** ermittelt wird, dann wird die Spitzenreferenz am Block **44** gesetzt; wenn der erste Puls nicht gezündet worden ist, bewegt sich die Sequenz zum Schritt **46**, um zu ermitteln, ob die laufende Spitze größer als der berechnete Schwellenwert ist. Wenn dies nicht der Fall ist, wird das „Durchbruch“-Signal am Block **48** zur CNC gesendet; wenn dies der Fall ist, wird das Bohren am Block **50** fortgesetzt. Das Bohren setzt sich fort bis zur Fertigstellung eines gewünschten Durchgangsloches.

[0025] Da die Hochspannungs-Leistungsversorgung, die die Blitzlampenenergie liefert, gepulst wird, sendet die Energieversorgungssteuerung eine Prüfung (Verifizierung) an die CNC oder eine andere Lasermaschinensteuerung, daß der Laser gezündet

worden ist. Am Ende von diesem Laser-gezündet-Signalpuls liest die Sensorschaltung die Spitzenspannung des Fotosensors **26** und fährt mit dem Algorithmus fort.

[0026] Die Pulsamplitude D1 des ersten Funkens ist üblicherweise größer als die nachfolgenden Funkensignale. Auch wenn die Amplitude anwächst, gilt, daß, so lange der letzte Puls kleiner ist als der erste, das Verfahren gemäß der Erfindung, wie es in dem Fließbild **34** gemäß **Fig. 2** dargestellt ist, Anwendung findet. Der erste Zündimpuls am Schritt **42**, der der Blendenöffnung am Schritt **38** folgt, setzt den Spitzenreferenzpegel am Schritt **44**, mit dem alle folgenden Pulse verglichen werden. Der Referenzpegel ist ein wählbarer Prozentsatz von der ersten Spitzenamplitude. Auf diese Weise kann die Auswerteeinrichtung **28** Änderungen in der Antwort oder Änderungen in der Laserpulsenergie folgen. Somit wird gemäß der Erfindung das Laserbohren gleichzeitig mit einer Fertigstellung von einem Durchgangsloch angehalten. Die erfindungsgemäße Einrichtung blickt auf die Funken, die von dem gerade gebohrten Loch emittiert werden, und tastet ab, wann die Funkensignalamplitude unter einen Schwellenwertpegel abfällt. Der Abfall in der Funkenintensität signalisiert einen Durchbruchzustand, der angibt, daß der Laser das Zünden stoppen sollte. Die erfindungsgemäße Einrichtung überwindet die bekannten Probleme des Überbohrens und Unterbohrens mit dem Laserbohren und schafft, wie es für den Fachmann deutlich wird, eine Einrichtung und ein Verfahren, um zu ermitteln, wann ein Durchgangsloch in ein Werkstück gebohrt ist.

Patentansprüche

1. Einrichtung **(10)** zum Ermitteln, wann ein Loch durch ein Werkstück **(18)** mit einem Puls laser unter einer Maschinensteuerung gebohrt ist, wobei die Einrichtung aufweist:

eine Detektierereinrichtung **(26)** zum Detektieren von Funken, die während des Laserbohrens von dem Werkstück **(18)** emittiert werden, und zum Erzeugen einer diese darstellenden Funkensignalamplitude **(19)**, wobei die Funken Licht mit sichtbarer Wellenlänge erzeugen,

eine Auswerteeinrichtung **(28)** zum Festlegen eines Bezugswertes für einen betrieblichen Schwellenwert **(20)**, der eine Funktion einer gemessenen Funkenintensität ist, und zum Vergleichen der Funkensignalamplitude **(19)** der Detektierereinrichtung **(26)** mit dem betrieblichen Schwellenwert **(20)** und

eine auf die Auswerteeinrichtung **(28)** ansprechende Ausgangssignaleinrichtung zum Anzeigen, wann das Durchgangsloch erreicht ist, und zur Anzeige an die Maschinensteuerung, alle weiteren Laserpulse auf das Werkstück **(18)** zu stoppen.

2. Einrichtung **(10)** nach Anspruch 1, die weiterhin eine Einrichtung **(22)** zum Verbessern der Un-

terscheidung zwischen dem Laserwellenlängenlicht, das beim Bohraufprall auf das Werkstück **(18)** emittiert wird, und dem Licht sichtbarer Wellenlänge, das von den Funken erzeugt ist, aufweist.

3. Einrichtung **(10)** nach Anspruch 2, bei der die Detektierereinrichtung einen Fotosensor **(26)** aufweist.

4. Einrichtung **(10)** nach Anspruch 2, bei der die Einrichtung zum Verbessern der Unterscheidung ein Spektralfilter **(22)** zum Sperren des Laserwellenlängenlichts aufweist.

5. Einrichtung **(10)** nach Anspruch 4, bei der die Einrichtung zum Verbessern der Unterscheidung weiterhin ein Spektralfilter **(22)** aufweist, das das Licht sichtbarer Wellenlänge durchlässt.

6. Einrichtung **(10)** nach Anspruch 1, bei der die Detektierereinrichtung **(26)** die Funken durch eine Bohrlinse **(16)** sieht.

7. Einrichtung **(10)** nach Anspruch 1, bei der die Auswerteeinrichtung **(28)** eine Spitzendetektorschaltung zum Festlegen des Bezugswertes aufweist.

8. Einrichtung **(10)** nach Anspruch 7, bei der die Spitzendetektorschaltung eine Messung der Funkenamplitude **(19)** einer ersten Pulsspitze des Lochbohraufpralls durchführt, um einen Bezugswert für den betrieblichen Schwellenwert **(20)** in einem Mikrocontroller festzulegen.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

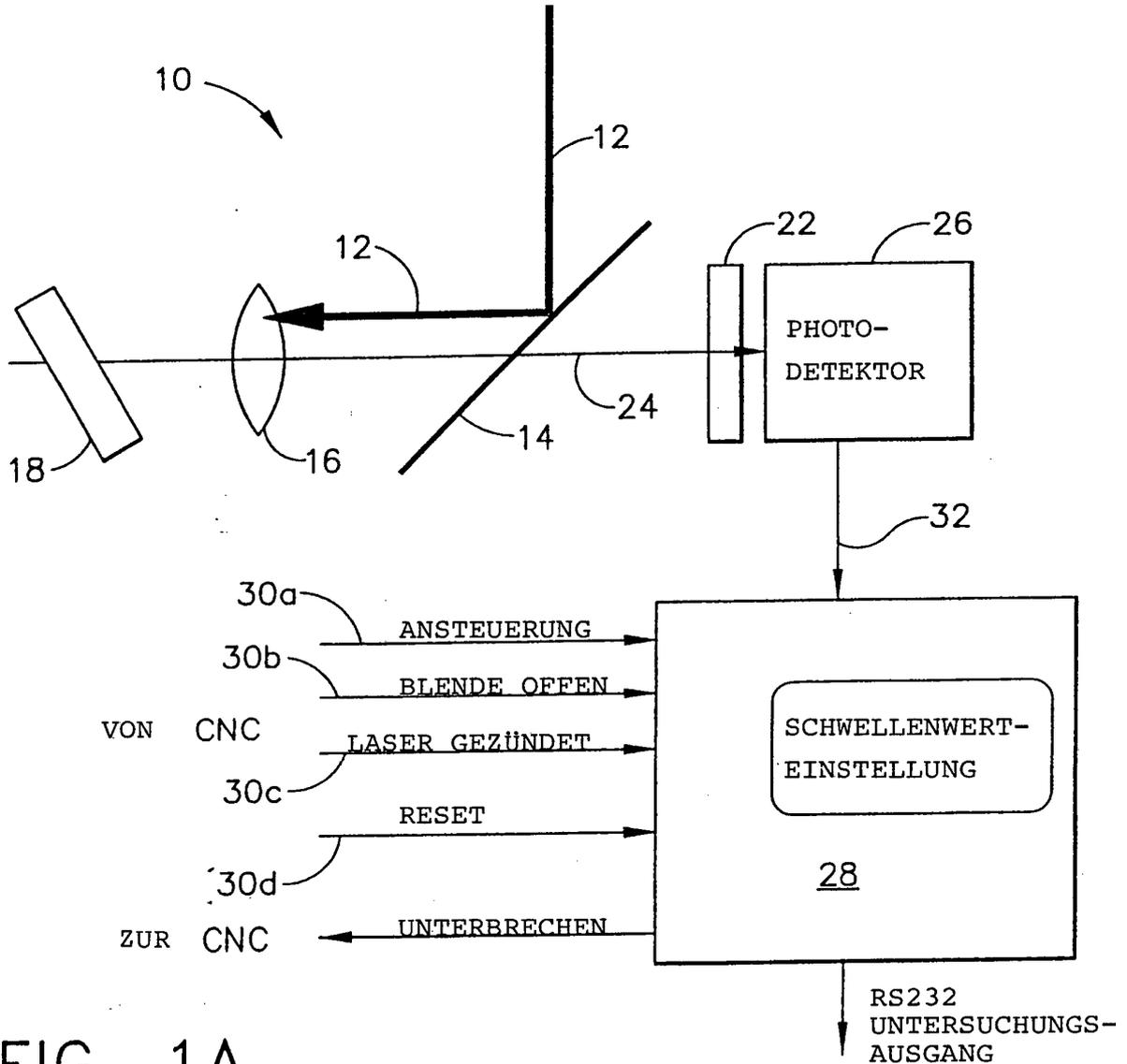


FIG. 1A

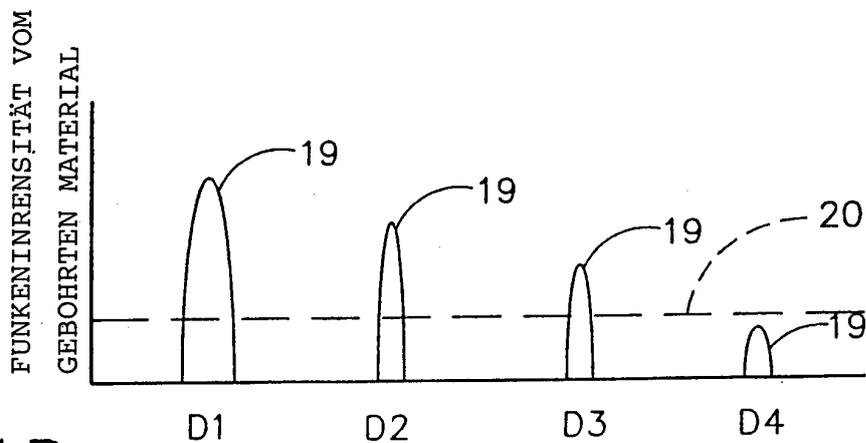


FIG. 1B

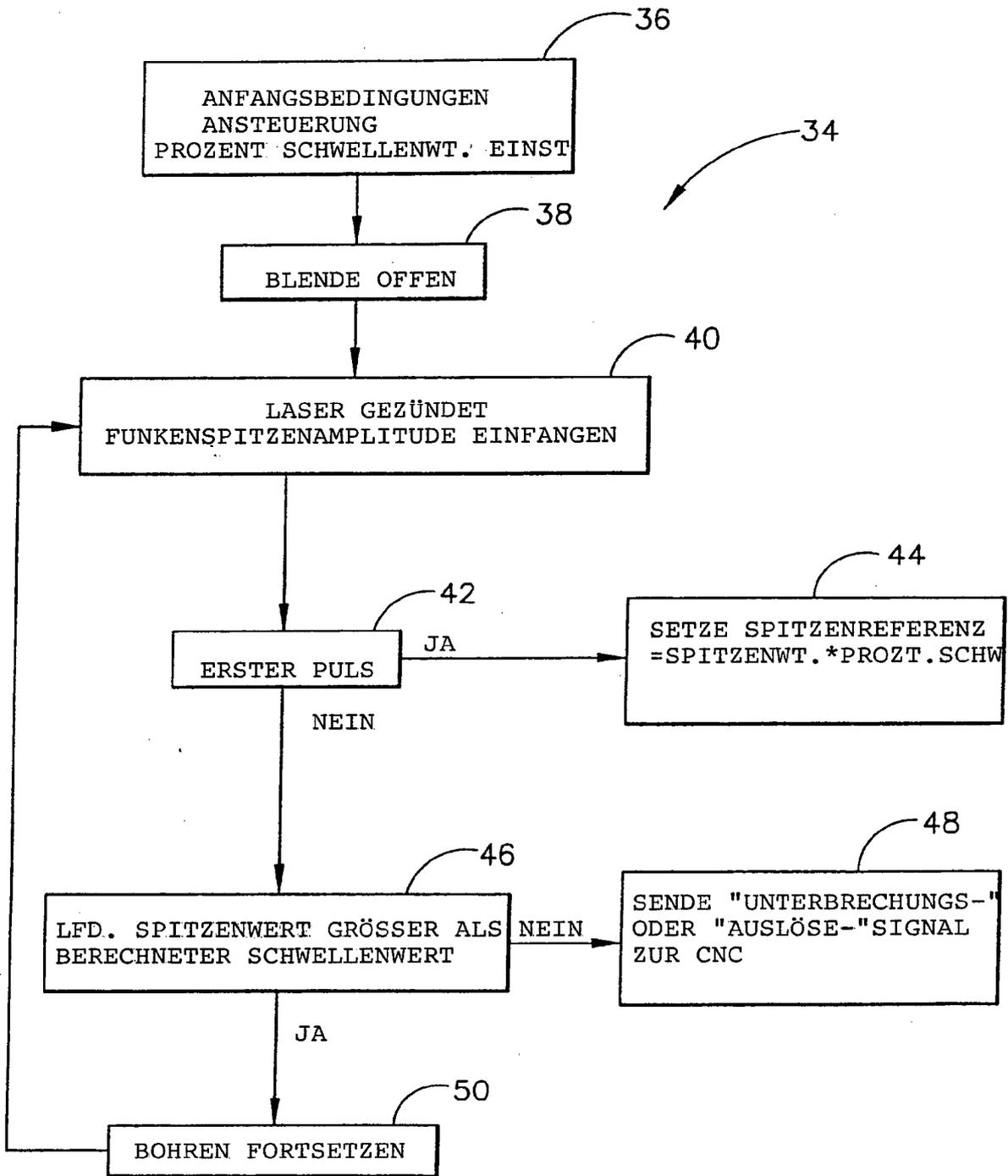


FIG. 2