

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 442/2017
(22) Anmeldetag: 13.11.2017
(45) Veröffentlicht am: 15.11.2019

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

(56) Entgegenhaltungen:
DE 10247705 A1
DE 102014017780 A1
DE 102005027363 A1
US 3700850 A
US 5045669 A

(73) Patentinhaber:
Reuter Guido
5201 Seekirchen am Wallersee (AT)
Seherschön Harald
4924 Waldzell (AT)

(72) Erfinder:
Reuter Guido
5201 Seekirchen am Wallersee (AT)
Seherschön Harald
4924 Waldzell (AT)

(54) **Verfahren und eine Vorrichtung zum Bearbeiten eines Werkstücks mit einem Strahl**

(57) Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstückes mit einem Strahl, wobei mittels des Strahls Körperschallwellen (12) im Werkstück (3) erzeugt und mit einem Sensor (16) die Körperschallwellen (12) detektiert werden und dass der Strahl während der Bearbeitung dynamisch auf einen beliebigen Punkt auf der Oberfläche des Werkstücks (3) abgelenkt wird und der abgelenkte Strahl (4a) den Wärmepunkt (11) am Werkstück (3) und so die Körperschallwellen (12) erzeugt.

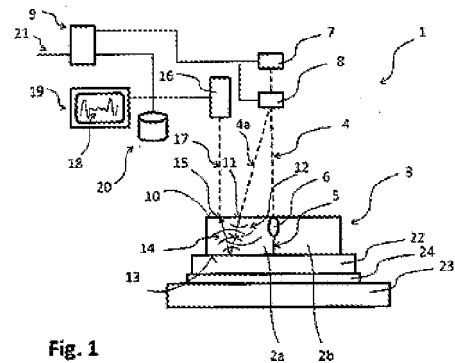


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bearbeiten eines Werkstücks mit einem Strahl hoher Energiedichte, wie eine Strahlbearbeitungsmaschine insbesondere zum Strahlschweißen.

[0002] Eine Vielzahl an industriellen Strahlbearbeitungsmaschinen, insbesondere bei Schweißverfahren speziell die der Strahlschweißverfahren bedienen sich unterschiedlichster Sensoren zur Erfassung des Schweißspaltes sowie der Regelung der Strahlführung zur Erreichung der notwendigen Qualität und Ausprägung der Schweißverbindung oder der Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Strahl.

[0003] Unter Bearbeiten eines Werkstücks mit einem Strahl wird das Strahlschweißen wie beispielsweise Laserstrahlschweißen, Elektronenstrahlschweißen oder Plasmastrahlschweißen verstanden. Weiters versteht man neben dem Fügen von Werkstückteilen, auch Strahlschneiden zum Trennen als Bearbeitung, insbesondere Elektronenstrahlschneiden, Laserstrahlschneiden und Plasmastrahlschneiden oder Strahlbohren, insbesondere Elektronenstrahlbohren und Laserstrahlbohren unter Bearbeiten eines Werkstücks mit einem Strahl. Auch das Auftragsschweißen, beispielsweise Plasmastrahlspritzen oder die Oberflächenmodifikation eines Werkstücks mit einem Strahl werden hier eingeordnet. Das Bearbeiten kann unter Zuführung eines Zusatzwerkstoffes, insbesondere Schweißzusatzwerkstoff erfolgen. Beispielsweise können die Zusatzwerkstoffe auch Keramikteilchen oder Hartstoffe sein, die in der Oberfläche und in oberflächennahen Schichten dispergiert werden. Auch Lote sind als Zusatzwerkstoffe zu verstehen.

[0004] Die DE10247705A1, DE102014017780A1, DE102005027363A1, US3700850A und US5045669A offenbaren jeweils Verfahren und entsprechende Vorrichtungen zur Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Strahl, wobei der Strahl einen Wärmepunkt am Werkstück und so Körperschallwellen im Werkstück erzeugt die mit einem Sensor detektiert werden. Nachteilig daran ist das der Körperschall nur von der Bearbeitungsstelle durch die Bearbeitung erzeugt wird. Dadurch sind die Verfahren eingeschränkt in den detektierbaren Körperschallmustern.

[0005] Aus dem Stand der Technik ist eine Vielzahl an Verfahren zur Führung des Strahles beim Strahlschweißen bekannt. Ein solches ist in der EP0770445B1 beschrieben. Nachteilig bei diesem Verfahren ist die Notwendigkeit zweier Sensoren zur Durchführung. Dadurch ist das Verfahren aufwendiger. Das Verfahren offenbart auch keine Signalinformation, die auf die Qualität der Schweißverbindung schließen lässt.

[0006] Weiterer Stand der Technik ist beispielsweise aus JPH04143084 (A) bekannt. Die Vorrichtung und das Verfahren lehren den Einsatz eines Ultraschallprüfkopfes zur Ermittlung der Schweißnahtqualität. Nachteilig an dieser Vorrichtung und Verfahren ist die Kopplung des Ultraschallprüfkopfes zur Erzeugung des Ultraschalls im Werkstück und gleichzeitiger Detektion des zurückgeworfenen Signals.

[0007] Weiterer Stand der Technik ist beispielsweise aus DE102010005896A1 bekannt. Die Vorrichtung und das Verfahren lehren den Einsatz eines Laserschweißroboters und ein Verfahren zur Detektion des Fokuspunktes durch bildgebende Verfahren und den Einsatz von Detektoren zur Ermittlung der Position des Fügspaltes sowie die Ansteuerung des Laserstrahls. Das bekannte Verfahren gibt jedoch nur Aufschluss über die oberflächliche Ausgestaltung und Lage der Strahlschweißverbindung.

[0008] Die Aufgabe des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäße Vorrichtung ist es die Nachteile des Standes der Technik zu überwinden, und ein wirtschaftliches Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Strahl zu schaffen.

[0009] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß den Ansprüchen gelöst.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren ist ein Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstückes mit einem Strahl wobei mit dem Strahl während der Bearbeitung dynamisch auf einem beliebi-

gen Punkt auf der Oberfläche des Werkstücks ein Wärmepunkt und so Körperschallwellen im Werkstück erzeugt werden und mit einem Sensor die Körperschallwellen detektiert werden.

[0011] Vorteilhaft ist es wenn das erfindungsgemäße Verfahren die Schritte umfasst,

[0012] (i) positionieren eines Werkstücks zur Bearbeitung durch einen oder mehrere Strahlen, oder positionieren wenigstens zweier Werkstückteile zur Bearbeitung durch einen oder mehrere Strahlen zur Ausprägung einer Strahlbearbeitung, insbesondere Strahlschweiß- oder Lötverbindung

[0013] (ii) führen des Strahles und/oder des Werkstücks oder der Werkstückteile und dynamisches Umlenken des Strahles während der Bearbeitung zur Erzeugung einer lokalen Aufheizung an einem beliebigen Punkt der Werkstückoberfläche zur Erzeugung von Körperschall im Werkstück

[0014] (iii) Messung der erzeugten Oberflächenbewegung des Körperschalls des Werkstücks mit einem Sensor

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren bringt den wesentlichen Vorteil, dass für die Anregung des Körperschalls ein hochenergetischer Strahl der annähernd masselos ist, hochdynamisch auf beliebige Punkte des Werkstückes geführt werden kann, damit erzeugt man nicht nur Frequenzen, die wie bei einem Impulshammer oder Piezokristall orthogonal auf die Oberfläche mit der definierten Frequenz eingetragen werden. Sondern man erreicht eine bzw. mehrere sich von dem Punkt ausbreitende Körperschallwellen und auch Oberflächenwellen, wie longitudinal schwingende und transversal schwingende Wellen über ein sehr breites Frequenzspektrum in Abhängigkeit der Dauer des Wärmeimpulses. Ebenso ist das Verfahren so ausführbar, dass ein und derselbe Punkt zyklisch angeregt wird. So können bestimmte Körperschallwellenmuster erzielt werden. Ebenso kann die Anregung des Körperschalls durch das erfindungsgemäße Verfahren in linienform erfolgen.

[0016] In allen Fällen ist der enorme Vorteil des berührungslosen Anregens des Körperschalls wesentlich, somit geschieht eine Anregung ohne Koppelmedium, was auch im Vakuum wie zum Beispiel bei Elektronenstrahlschweißgeräten zur Anwendung kommen kann.

[0017] Ein weiterer Vorteil ist die weite Freiheit der Oberflächenstruktur zur Anregung. Bei Piezokristallen werden hier ohne Koppelmedium hohe Ansprüche an die Qualität der Oberfläche gestellt. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren hingegen können sowohl glatte aber auch rauhe, beispielsweise unbearbeitete Oberflächen wie Gussflächen oder sägerauhe Flächen zum Einsatz kommen. Auch Strukturen wie Rippen, Gravuren oder ähnliche erhabene wie auch versenkte Formelemente stören das Verfahren nicht.

[0018] Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst, eine Strahlbearbeitungsmaschine zum Bearbeiten eines Werkstückes durch einen Strahl und/oder Schweißen wenigstens zweier Werkstückteile, einen Strahlführungsmechanismus zum Führen des Strahles und/oder wenigstens einer Bewegungsachse zum Bewegen des Werkstücks und/oder der wenigstens zwei Werkstückteile und einen Sensor zur Erfassung der Oberflächenbewegung durch Körperschall.

[0019] Die erfindungsgemäße Ausprägung kann auch eine Strahlschweißvorrichtung zum Bearbeiten eines Werkstückes durch zwei oder mehrere Strahlen oder wenigstens zweier Werkstückteile sein. Eine solche Strahlbearbeitungsmaschinen kann zwei oder mehrere Strahlführungsmechanismen zum Führen der Strahlen und/oder einer oder mehrere Bewegungsachse zum Bewegen des Werkstücks und/oder der wenigstens zwei Werkstückteile und einen oder mehrere Sensoren zur Erfassung der Oberflächenbewegung durch Körperschall aufweisen.

[0020] Mit der obig genannten Vorrichtung sowie dem eingangs genannten Verfahren ist es in einer Ausprägung möglich den Strahl hoch dynamisch zu führen und so ein Werkstück zu bearbeiten, während der Durchführung der Bearbeitung durch den Strahl wird durch den Strahl eine lokale Aufheizung der Oberfläche erzeugt. Durch die lokale zeitliche Wärmedehnung wird in dem Werkstückteil Körperschall erzeugt. Der Körperschall breitet sich durch das Werkstück und auf der Oberfläche aus und wird an Grenzflächen zurückgeworfen und erzeugt dadurch Ober-

flächenbewegungen, beispielsweise das Rückwandecho. Die Oberflächenbewegungen werden mit einem Sensor detektiert. Die Auswertung des detektierten Oberflächenbewegungssignals gibt Aufschluss über die Geometrie des Werkstücks und/ oder Qualität des bearbeiteten Werkstücks. Ebenso gibt das nicht vorhanden sein, oder die Abschwächung einer zu erwartenden Oberflächenbewegung Aufschluss über die Ausprägung der Werkstückbearbeitung durch den Strahl oder des Werkstückes. Im einfachsten Fall wird das Sensorsignal auf einer Anzeige, wie zum Beispiel analog auf einem Oszilloskop, oder digitalisiert auf einem Display von Bedienern überwacht.

[0021] Mit der obig genannten Vorrichtung sowie dem eingangs genannten Verfahren ist es ebenso möglich, nicht nur ein Werkstück zu bearbeiten sondern durch den Strahl an wenigstens zwei Werkstückteilen eine Schweiß- und oder Lötverbindung auszubilden. Dabei kann die Schweißverbindung über eine bestimmte geometrische Ausprägung wie zum Beispiel über die gesamte Dicke der zu verschweißenden Teile ausgeführt werden, ebenso ist es denkbar die Schweißverbindung nur über eine definierte Einschweißtiefe, also nicht über den gesamten Querschnitt zu erzeugen. Durch die Strahlführung wird auf einem der Werkstückteile während der Durchführung des Strahlschweißprozesses eine lokale Aufheizung der Oberfläche erzeugt. Durch die lokale Wärmedehnung wird in dem Werkstückteil Körperschall erzeugt. Der Körperschall breitet sich durch das Werkstückteil und auf der Oberfläche aus und wird an Grenzflächen zurückgeworfen und erzeugt dadurch Oberflächenbewegungen, zum Beispiel ein Rückwandecho. Die Oberflächenbewegungen werden mit einem Sensor detektiert. Die Auswertung des detektierten Oberflächenbewegungssignal gibt Aufschluss über die Geometrie der Werkstückteile und/ oder Qualität der gefügten Werkstückteile. Ebenso gibt das nicht vorhanden sein, oder die Abschwächung einer zu erwartenden Oberflächenbewegung Aufschluss über die Ausprägung der Schweißverbindung oder Bearbeitung des Werkstücks durch den Strahl. Im einfachsten Fall wird das Sensorsignal auf einer Anzeige, wie zum Beispiel analog auf einem Oszilloskop, oder digitalisiert auf einem Display vom Bediener überwacht.

[0022] Zur Erreichung einer qualitativ hochwertigen Schweißung beim Strahlschweißverfahren insbesondere Elektronenschweißverfahren ist eine hoch genaue Strahlführung auf den Schweißstoß der zu fügenden Werkstücke notwendig. Geometrieabweichungen wie die Lage des Schweißstoßes müssen in der Strahlführung oder in der Werkstückpositionierung korrigiert werden. Bei Dickentoleranzen der Werkstücke müssen die Parameter des Strahles zur Ausprägung der Schweißnaht an die Abweichungen angepaßt werden. Zum Beispiel führt eine Erhöhung der Dicke der zu fügenden Werkstücke zu einer Abweichung bzw. Ungängen wie unvollständiger Durchschweißung oder zu geringer Nahtüberhöhung, auch kann eine starke Änderung der Dicke zu einer nicht ausreichenden Nahttiefe führen. Ebenso führt eine verringerte Dicke gegebenenfalls zu Durchhang der Schweißnaht.

[0023] Eine weitere vorteilhafte Ausprägung des Verfahrens ist die Speicherung des Sensorsignals auf einem Datenspeicher. Dadurch können die Signale dem gefügten Werkstück bzw. der erzeugten Schweißnaht zugeordnet werden. Speziell für die Qualitätsbeurteilung sowie Chargenverfolgung sind diese Daten vorteilhaft und können für die Verbesserung der Qualität sowie des Prozesses verwendet werden. Ebenso denkbar ist Auswertung von mehreren Daten mehrerer Schweißverbindungen zur Erkennung von Prozessfähigkeitsschwankungen. Somit ist es möglich, die Toleranzen der Werkstückteile sowie zulässige stoffliche Abweichungen wie Legierungsunterschiede auf ihre Prozessfähigkeit zu ermitteln. Dadurch können Toleranzen erweitert werden und voranstehenden Prozesse wie der Erzeugung und Bearbeitung der Werkstückteile wirtschaftlicher erfolgen.

[0024] Ebenso vorteilhaft ist es, das Sensorsignal einer speicherprogrammierbaren Recheneinheit zuzuführen und von einer speicherprogrammierbaren Recheneinheit auswerten zu lassen. Dadurch wird das Signal weiter verrechnet und für Bediener vereinfacht dargestellt. Eine beispielhafte Vereinfachung ist die Verrechnung des Signals zu einer Information wie zum Beispiel „in Ordnung“ oder „Nicht in Ordnung“. Andere Verrechnungen können beispielsweise die Ausgabe der errechneten Dickeninformation eines Werkstückteils sein. Diese ergibt sich beispielsweise aus der Verrechnung der Laufzeit des Körperschalls nach der Reflexion an der dem

Sensor gegenüberliegenden Begrenzungsfläche.

[0025] Eine weiterführende vorteilhafte Ausprägung ist es, wenn die speicherprogrammierbare Rechereinheit so programmiert wird, dass das verrechnete Signal und/oder auch weitere Daten wie Prozessdaten der Strahlquelle und der Strahlbearbeitungsmaschine als Eingangsdaten für die Verrechnung zu einer der Qualität der Bearbeitung korrelierenden Bewertung, insbesondere durch ein mathematisches Modell verrechnet werden, um damit eine Beurteilung der Qualität zu ermöglichen. Ein solches mathematisches Modell kann auch ein Datenmuster sein, welches mit validierten Datenmustern verglichen wird.

[0026] Eine weiterführende vorteilhafte Ausprägung ist es, wenn die speicherprogrammierbare Rechereinheit so programmiert wird, dass das verrechnete Signal und/oder auch weitere Daten wie Prozessdaten der Strahlquelle und der Strahlbearbeitungsmaschine als Eingangsdaten zum Trainieren eines künstlichen neuronalen Netzes verwendet werden. Dabei werden die verrechneten Eingangsdaten mit der Qualität der Bearbeitung durch eine Qualitätskontrolle bewertet. Mit dem trainierten künstlichen neuronalen Netz kann dann mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit die Qualität der Bearbeitung beurteilt werden.

[0027] Ebenso ist es vorteilhaft, das neuronale Netz mit einer Simulation der Bearbeitung zu trainieren. Dabei wird ein virtuelles Modell der Bearbeitung, beispielsweise ein CAD Modell generiert. Das CAD Modell wird in ein Netz von finiten Elementen umgewandelt, beispielsweise Hexaeder. Den finiten Elementen wird ein Materialmodell des Werkstoffes zugeordnet. Mit Simulationssoftware kann nun das vorliegende, teilweise vereinfachte Modell und die Ausbreitung von Körperschall simuliert werden. In einem weiteren Schritt kann das CAD Modell in seinen Parametern variiert werden. Beispielsweise kann die Dicke des Werkstückes in einer definierten Abstufung wie in hundertstel Millimeter geändert und das Simulationsmodell neu generiert und ausgewertet werden. Damit kann ein freiskalierbares Abbild der Realität erzeugt werden und der Einfluss von Toleranzen auf die Auswertung der erfassten Sensordaten mit Simulation ermittelt werden. Da ein freiskalierbares Abbild einer bereits sehr einfachen Bearbeitung mit jedem weiteren skalierbaren Parameter in der Anzahl der Lösungen mit deren Produkt wächst und die Simulationsdauer einer Finite-Elemente-Analyse (FEA) je nach Rechenleistung zeitintensiv sein kann, ist es vorteilhaft ein neuronales Netz zu programmieren, welches mit den Simulationsergebnissen trainiert wird. Ein neuronales Netz ist in der Auswertung in einem Softwarealgorithmus um ein vielfaches einfacher und weniger zeitintensiv. So hat man zwar während des Trainings des neuronalen Netzes einen enormen Zeitaufwand für die Durchführung der hohen Anzahl an Simulationen (FEA) dieser kann aber über die programmierte automatische Generierung von Daten wie beispielsweise das Erstellen des CAD Modells und der Generierung des Netzes aus finiten Elementen vollständig automatisiert werden. Idealerweise kann zum Trainieren eines solchen Netzes ein entsprechend leistungsfähiges Rechnernetzwerk verwendet werden. Wohingegen das trainierte neuronale Netz in der weiteren Anwendung in Softwarealgorithmen, beispielsweise der Bewertung der Qualität der Strahlbearbeitung wenig Rechenleistung benötigt.

[0028] Weiters vorteilhaft ist es, wenn das trainierte neuronale Netz im Produktionsprozess und weiteren Qualitätskriterien weiter trainiert wird. Somit ist es möglich, über die laufende Produktion eine Anpassung, insbesondere maschinelles Lernen des neuronalen Netzes zu ermöglichen.

[0029] Eine weitere Ausprägung sieht vor die Strahlführung durch die speicherprogrammierbare Rechereinheit zu steuern.

[0030] Eine weitere vorteilhafte Ausprägung des Verfahrens ist die Regelung der Strahlführung durch eine speicherprogrammierbare Rechereinheit durch Rückführung des Sensorsignals im Regelkreis der Strahlführung und/oder Strahlerzeugung. Dadurch wird eine online Verfahrensregelung ermöglicht.

[0031] Eine weitere vorteilhafte Ausprägung des Verfahrens ist der Abgleich der Regelung der Strahlführung durch eine speicherprogrammierbare Rechereinheit durch Rückführung des Sensorsignals im Regelkreis der Strahlführung und/oder Strahlerzeugung. Beispielsweise kann

durch Messung der Dicke bzw. der mittleren Dicke des Werkstücks ein Abgleich der erwarteten Laufzeiten der Rückwände erfolgen und so der Prozess auf Toleranzschwankungen in der Dicke robuster ausgebildet werden. Dadurch wird eine online Strahlverfahrensregelung ermöglicht.

[0032] Besonders vorteilhaft beim Erzeugen des Körperschalls durch den Strahl als lokale Aufheizung ist die breitbandige Anregung des Werkstückteils. Herkömmliche Sensoren zur Erzeugung von Körperschall wie Piezokristalle erzeugen keine so breitbandige Anregung. Durch die breitbandige Anregung in einem breiten Frequenzspektrum kann beim Sensor die Dämpfung bestimmter Frequenzen im Signal erfasst werden und dadurch auf Materialeigenschaften wie das Gefüge des Werkstoffes geschlossen werden. Beispielhaft konnte mit dem erfindungsgemäßen Verfahren die Gefügeveränderung wie eine Aufhärtung des Werkstoffes und die Einhärtetiefe bei der Bearbeitung mit einem Strahl detektiert werden. Solche Eigenschaften sind sonst nur zerstörend mit Gefügeschliffen, Mikroskopie und Mikrohärtprüfung feststellbar. Weiters ist die Erzeugung des Körperschalls durch einen Strahl eine Anregung im Werkstückteil selbst und es ist möglich auch mit einem abgelenkten Strahl, der schräg auf die Werkstückoberfläche geführt wird, möglich eine Anregung zu erzeugen. Herkömmliche Schallerzeuger koppeln das Signal über die Oberfläche bevorzugt in orthogonaler Richtung zur Oberfläche ein. So werden zum Beispiel durch Piezokristalle keine oder nur geringe Longitudinalwellen in der Oberfläche erzeugt. Ein erzeugter Wärmepunkt erzeugt hingegen durch die Ausdehnung auch Longitudinalwellen in der Oberfläche. Diese Longitudinalwellen können bevorzugt zur Laufzeitmessung an der Oberfläche verwendet werden und so die Lage von Grenzflächen zum Anregungspunkt ermittelt werden. So kann insbesondere der Abstand des Wärmepunktes von einer Werkstückkante oder Fügeverbindung ermittelt werden. Somit kann das erfindungsgemäße Verfahren auch die Lage des Fügespalt detektieren und die Strahlführung darauf abgestimmt werden.

[0033] Bei der Ausprägung einer Strahlschweißverbindung verläuft die Gefügeänderung der WEZ (Wärmeeinflusszone) quer zum Schweißstoß vom unveränderten Grundwerkstoff des einen Werkstückteils über eine Gefügeänderung wie der Grobkornbildung durch die Wärme des Schweißprozesses zum Gefüge durch Aufschmelzung durch den Strahl im Schweißstoß zur Gefügeänderung durch die Wärme des Schweißprozesses im zweitem Werkstückteil zum unveränderten Grundwerkstoff des zweiten Werkstückteils. Über den Schweißstoß und der Ausprägung der WEZ in der Breite quer dazu kann durch die Laufzeitänderung und der Dämpfung durch die Gefügeänderung durch das erfindungsgemäße Verfahren diese in der Qualität zerstörungsfrei beurteilt werden.

[0034] Ebenso können Gefügeänderungen durch Aufschweißen einer Schweißraupe mit oder ohne Schweißzusatz auf ein Werkstück durch das Verfahren zerstörungsfrei beurteilt werden.

[0035] Ebenso können durch Reflexionen und Streuung des Körperschalls an Fehlstellen, diese detektiert werden. Beispielhafte Fehlstellen sind Poren und Lunken die Hohlräume ausbilden. Auch sind Bindefehler detektierbar, die keinen Hohlraum aufweisen, aber eine Phasengrenze besitzen, wo sich kein vollständiger Stoffschluss durch Aufschmelzen des Grundwerkstoffes bildet. Diese Fehlstelle kann zum Beispiel auftreten, wenn die Planflächen der Werkstückteile aneinander anliegen, jedoch keine Schweißung durch Aufschmelzung erfolgt. Bei Klebungen wird ein solcher Fehler als Kissing Bond bezeichnet.

[0036] Das erfindungsgemäße Verfahren kann auch eingesetzt werden, wenn durch den Strahl nur eine Veränderung der Oberfläche oder oberflächennahen Schicht wie eine Aufschmelzung nur eines Werkstückteils, insbesondere Gefügeveränderung der Randschicht, durchgeführt wird. Solche Bearbeitungen werden zum Beispiel zur Oberflächenhärtung bzw. Randschichthärtung eingesetzt. Auch kann durch die Abkühlgeschwindigkeit in der Schweißtechnik als $t_8/5$ Zeit bekannt je nach Legierung das Gefüge verändert werden. Hier kann sich die Gitterstruktur wie beispielsweise bei Martensit bei gleicher chemischer Zusammensetzung verändern. Auch kann die Korngröße verändert werden. Ebenso kann die Verteilung von unterschiedlichen Phasen sich verändern. Auch können Ausscheidungen zur Veränderung der Eigenschaften des Werk-

stoffes führen.

[0037] In unterschiedlichen Gefügen ändert sich auch die Schallgeschwindigkeit des Körperschalls, da diese mit dem Elastizitätsmodul zusammenhängt. Chemisch ist der Werkstoff annähernd gleich geblieben, was die Zusammensetzung betrifft. Jedoch ist die obig beschriebene Ausbildung des Gefüges eine andere. Diese Übergänge im Werkstück bewirken Dämpfungen in der Ausbreitung des Körperschalls. Somit kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beispielsweise eine Aufhärtungsschichtdicke ermittelt werden.

[0038] Ebenso kann das erfindungsgemäße Verfahren eingesetzt werden zur Aufschweißung eines Schweißzusatzes auf wenigstens nur einem Werkstückteil. Unter Schweißzusätzen werden Massivdrähte, Fülldrähte, Bänder und Pulver verstanden, die der Strahlbearbeitung, insbesondere dem Schweißprozess zugeführt werden oder auf dem Werkstückteil vor oder bei der Strahlbearbeitung aufgebracht werden. Ebenso kann der Werkstoff, wenn er schmelzflüssig wird, Elemente aufnehmen oder abgeben, wenn unterschiedliche Werkstoffe verwendet werden. Dadurch wird die Dämpfung ebenfalls geändert und können zerstörungsfrei beurteilt werden.

[0039] Unter Beurteilung wird der Vergleich von Sensorsignalen mit Sensorsignalen von Referenzproben verstanden. Bei den Referenzproben wird unter Einbeziehen aller Prozessparameter das Sensorsignal ermittelt und durch beispielsweise Gefügeschliff, Mikroskopie, Härteprüfung anschließend in der Qualität bewertet. Für die Prozessfähigkeit werden genügend Referenzproben gebildet und eine untere und obere Toleranzgrenze festgelegt werden. Damit kann ein ermitteltes Sensorsignal einer Bearbeitung mit den Referenzproben verglichen werden und, wenn es zwischen der unteren und oberen Toleranz liegt, als „in Ordnung“ beurteilt werden. Liegt das Sensorsignal außerhalb des Toleranzfeldes, wird es als „nicht in Ordnung“ beurteilt. Ebenso ist es vorteilhaft die Referenzproben durch zerstörungsfreie Prüfung wie Computertomographie oder Röntgen zu ermitteln.

[0040] Die Aufgabe zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird durch folgend beschriebene Vorrichtung ermöglicht.

[0041] Eine Strahlschweißanlage umfassend eine Strahlquelle, einer Strahlführung zur Bewegung des Strahls relativ zu wenigstens einem Werkstücktisch. Einem Werkstücktisch zur Aufnahme wenigstens eines Werkstückteils. Einem Sensor zur Detektion der Oberflächenbewegung des wenigstens einen Werkstückteils. Einer Anzeige zur Darstellung des Sensorsignals.

[0042] Weiters ist es vorteilhaft, wenn der Sensor ein Vibrometer ist. Besonders vorteilhaft ist der Einsatz eines Laservibrometers. Bei einem Laservibrometer wird die Oberflächenbewegung in einer Phasenverschiebung des Laserlichtes durch ein Interferometer ermittelt. Dadurch ist eine besonders hochauflösende Detektion der Oberflächenbewegung möglich. Vorteilhaft ist auch die berührungslose Detektion der Oberflächenbewegung durch ein Laservibrometer.

[0043] In einer weiteren Ausprägung der Erfindung ist der Sensor an eine speicherprogrammierbare Rechereinheit angeschlossen. An dieser Rechereinheit kann auch ein Datenspeicher zur Speicherung der Signaldaten vorgesehen sein. Ebenso ist es von Vorteil, den Datenspeicher als Cloud auszuführen und die Rechereinheit durch eine Kommunikationsverbindung an ein übergeordnetes Rechnersystem anzubinden. Bevorzugte Kommunikationsverbindungen sind zum Beispiel das weitverbreitete Profinet mit einem TCP/IP als Protokoll. Dadurch sind hohe Datenübertragungsraten mit bis zu 100 Mbit/s möglich.

[0044] Es ist jedoch vorteilhaft, die Regelung der Strahlführung und die Verrechnung des Regelsignals aus den Sensordaten auf getrennten speicherprogrammierbaren Rechereinheiten durchzuführen, wobei das bereitgestellte Regelsignal zyklisch im Regelzyklus der speicherprogrammierbaren Rechereinheit zur Verfügung gestellt wird. Besonders vorteilhaft ist, die Ausführung der Regel und der Strahlführung durch eine CNC taugliche speicherprogrammierbare Rechereinheit. Unter CNC tauglich wird die Synchronisierung zur Ansteuerung mehrere Bewegungsachsen in einem bestimmten, gleichbleibenden zeitlichen Zyklus verstanden, wodurch die erzeugten Bewegungen hoch präzise sind.

[0045] Eine weitere vorteilhafte Ausprägung der Vorrichtung besteht in der Verwendung einer Bewegungsachse zur Bewegung des Werkstücktisches und des aufgenommenen Werkstückes wenigstens relativ in einer Richtung quer zum Strahl. Dadurch ist es möglich, größere Werkstückteile auf der Vorrichtung zu bearbeiten.

[0046] Besonders vorteilhaft ist die Regelung der Strahlführung in einem definierten Bereich relativ zum Werkstücktisch und die Regelung der wenigstens einen Bewegungsachse des Werkstücktisches durch die obig beschriebene speicherprogrammierbare Rechneinheit, wobei die Bewegungen überlagert werden können, um das Verfahren auszuführen.

[0047] Ebenso ist es denkbar, dass die wenigstens eine Bewegungsachse das wenigstens eine Werkstückteil am Werkstücktisch positioniert, das Verfahren durch die Strahlführung durchgeführt wird und anschließend die wenigstens eine Bewegungsachse das Werkstückteil weiterbewegt zu einer weiteren Position und das Verfahren ausgeführt wird. Hierbei ist die Ausführung der Regelung einfacher.

[0048] In einer vorteilhaften Ausführung verfügt die Vorrichtung über wenigstens einer Bewegungsachse zur Bewegung des Sensors relativ zum Werkstücktisch.

[0049] Bei Verwendung eines Laservibrometers ist es vorteilhaft, wenn die Bewegungsachse des Sensors den Laserstrahl bewegt zum Beispiel durch bewegte Spiegel. Dadurch ist eine besonders dynamische Bewegung des Punktes zur Detektion der Oberflächenbewegung des Werkstückteils möglich.

[0050] Bei Verwendung eines Laservibrometers ist es vorteilhaft, wenn der Laserstrahl über einen optischen Pfad auf einen weiteren Punkt zur Detektion der Oberflächenbewegung des Werkstückteils umgeschaltet werden kann. Beispielfhaft kann durch einen aktivierbaren Spiegel der Strahl auf einen weiteren optischen Pfad umgeschaltet werden. Dadurch kann zum Beispiel rund um den Strahl die Bewegungen der Oberfläche der Werkstückteile detektiert werden. Beispielsweise kann dem Strahl in Bewegungsrichtung voreilend bzw. nacheilend die Oberflächenbewegung detektiert werden. Ebenso kann die Oberflächenbewegung links und rechts des Strahls in Bewegungsrichtung detektiert werden.

[0051] Ebenso ist es zweckmäßig, wenn der Laserstrahl des Laservibrometer orthogonal auf die Werkstückoberfläche geführt wird. So werden hauptsächlich Bewegungen der Oberfläche in orthogonaler Richtung zur Oberfläche im Lasersignal erfasst. Wohingegen Körperschallwellen, die sich in der Oberfläche ausbreiten, wie zum Beispiel Longitudinalwellen kaum im Lasersignal erfasst werden.

[0052] Zweckmäßig ist es, wenn der Laserstrahl in einem schrägen Winkel, d.h. nicht orthogonal auf den Detektionspunkt geführt wird. Dadurch können Longitudinalwellen und Transversalwellen der Oberfläche detektiert werden.

[0053] Besonders vorteilhaft hat sich gezeigt, wenn der Winkel des Laserstrahls des Laservibrometers mit der Oberfläche veränderbar ist. Je stärker der Winkel aus der orthogonalen Richtung zur Oberfläche heraus angeordnet ist, desto größer ist die Phasenverschiebung des Laserlichts des Laservibrometers in der Richtung der Longitudinalwelle in der Oberfläche.

[0054] Vorteilhaft ist es, wenn die Vorrichtung über eine geschlossene Kammer verfügt, in der das Werkstück bearbeitet wird. Dadurch kann die Kammer mit einem Schutzgas oder einem Prozessgas gefüllt werden, was vorteilhaft ist bei der Verwendung eines Laserstrahls. Dabei kann sich auch die chemische Zusammensetzung des Werkstückes an der Oberfläche ändern. Beispielsweise durch Einsatz von Gasen zur Aufhärtung der Randschicht.

[0055] Ebenso ist es möglich, die Kammer als Vakuumkammer auszuführen. Speziell bei Verwendung eines Elektronenstrahls.

[0056] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie aus der Beschreibung in Zusammenschau mit den Figuren.

[0057] An dieser Stelle wird angemerkt, dass sich die verschiedenen Varianten des Verfahrens

sowie die daraus resultierenden Vorteile sinngemäß auch auf die vorgestellte Vorrichtung angewendet werden können und umgekehrt.

[0058] Einführend sei festgehalten, dass gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen. Weiterhin können auch Einzelmerkmale oder Merkmalskombinationen aus dem gezeigten und beschriebenen Ausführungsbeispiel für sich eigenständige, erfinderische oder erfindungsgemäße Lösungen darstellen.

[0059] Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert. Es zeigen:

[0060] Fig. 1 eine schematisch dargestellte Vorrichtung zur Bearbeitung zweier Werkstücke zur Ausprägung einer Schweißverbindung und Detektion der Oberflächenbewegung infolge der Ausbreitung eines durch einen Wärmepunkt erzeugten Körperschalls zur Regelung der Strahlführung;

[0061] Fig. 2 eine schematisch dargestellte Vorrichtung zur Bearbeitung zweier Werkstücke zur Ausprägung einer Schweißverbindung und Detektion der Oberflächenbewegung infolge der Ausbreitung eines durch einen Wärmepunkt erzeugten Körperschalls zur Darstellung einer detektierten Fehlstelle;

[0062] Fig. 3 eine schematisch dargestellte Vorrichtung zur Bearbeitung eines Werkstückteils zur Ausprägung einer Aufschweißung und Detektion der Oberflächenbewegung infolge der Ausbreitung und Dämpfung eines durch einen Wärmepunkt erzeugten Körperschalls zur Darstellung der Ermittlung der Ausprägung der Aufschweißung;

[0063] Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Werkstückteils und der Ausbreitung von Körperschall durch Wärmepunkte in der Draufsicht normal zum Strahl;

[0064] Fig. 1 zeigt eine schematisch dargestellte Vorrichtung (1) zur Bearbeitung zweier Werkstücke (2a, 2b) zu einem Werkstück (3) mittels eines Strahls (4). Die Verbindungsfläche (5) bildet durch Aufschmelzen der Werkstücke (2a, 2b) die Schweißverbindung (6) aus. Die Strahlquelle (7) erzeugt den Strahl und wird von einer Strahlführung (8) geführt. Die Strahlquelle (7) und die Strahlführung (8) sind an eine speicherprogrammierbare Recheneinheit (9) zur Regelung und Steuerung des Strahls (4) verbunden. So kann ein abgelenkter Strahl (4a) auf einen beliebigen Punkt auf der Oberfläche (10) des Werkstücks (3) bzw. wie hier dargestellt auf Werkstückteil (2a) einen Wärmepunkt (11) erzeugen. Der erzeugte Körperschall (12) läuft durch das Werkstückteil (2a) und wird an der gegenüberliegenden Oberfläche (13) reflektiert. Die reflektierte Körperschallwelle (14) erzeugt eine Oberflächenbewegung am Detektionspunkt (15). Der Sensor (16) beispielsweise ein Laservibrometer, erfasst die Oberflächenbewegung am Detektionspunkt (15) über einen Laserstrahl (17). Das Sensorsignal (18) kann über eine Anzeige (19) dargestellt werden und oder mit der speicherprogrammierbaren Recheneinheit (9) und oder mit einem Datenspeicher (20) verbunden sein. Die speicherprogrammierbare Recheneinheit (9) kann mit einer nicht dargestellten übergeordneten Recheneinheit oder einem Rechnernetzwerk über die Kommunikationsverbindung (21) verbunden sein. Die Werkstücke (2a, 2b) sind bzw. das Werkstück (3) ist auf einem Werkstücktisch (22) fixiert. Der Werkstücktisch (22) kann über Bewegungsachsen (24) relativ zum Grundgestell (23) bewegt werden.

[0065] Fig. 2 zeigt eine schematisch dargestellte Vorrichtung (1) zur Bearbeitung zweier Werkstücke (2a, 2b) zu einem Werkstück (3) mittels eines Strahls (4). Die Verbindungsfläche (5) bildet durch Aufschmelzen der Werkstücke (2a, 2b) die Schweißverbindung (6) aus. Ein Fehler in der Schweißverbindung (6) zum Beispiel ein Bindefehler, unterbricht die Schweißverbindung und ein Teil der Verbindungsfläche (5) bleibt unverbunden. Die Strahlquelle (7) erzeugt

den Strahl und wird von einer Strahlführung (8) zu einem abgelenkten Strahl (4a) auf einen beliebigen Punkt auf der Oberfläche (10) des Werkstücks (3) bzw. wie hier dargestellt auf Werkstückteil (2b) geführt und ein Wärmepunkt (11) erzeugt. Der erzeugte Körperschall (12) läuft durch das Werkstückteil (2b) und durch die Schweißverbindung (6) und wird an der gegenüberliegenden Oberfläche (13) reflektiert. Die reflektierte Körperschallwelle (14) erzeugt eine Oberflächenbewegung am Detektionspunkt (15). Der Sensor (16) beispielsweise ein Laservibrometer, erfasst die Oberflächenbewegung am Detektionspunkt (15) über einen Laserstrahl (17). Die Körperschallwelle (14a) in einem anderen Reflexionspunkt der Oberfläche (13) wird an der Verbindungsfläche (5) abermals reflektiert und erreicht den Detektionspunkt (15a) nicht, hier strichpunktiert dargestellt. Dadurch kann die Fehlstelle erkannt werden.

[0066] Fig. 3 zeigt schematisch eine Vorrichtung (1) zur Bearbeitung eines Werkstücks (3) zur Ausprägung einer Aufschweißung (25). Der Strahl (4) schmilzt die Oberfläche (10) des Werkstücks (3) auf und durch Erstarrung des Schmelzbades (6a) entsteht die Aufschweißung (25), die auch durch Zuführung eines Zusatzwerkstoffes bzw. Schweißzusatzes (26) andere Eigenschaften als der Grundwerkstoffes des Werkstücks (3) haben kann. Ebenso kann durch die Abkühlgeschwindigkeit eine neue Werkstoffeigenschaft des Werkstücks in der Aufschweißung (25) erzeugt werden. Über den abgelenkten Strahl (4a) wird auf der Oberfläche (10a) der Aufschweißung (25) ein Wärmepunkt (4) erzeugt beispielsweise Schallwellen (14) und (14a). Eine Detektion der Oberflächenbewegung im Detektionspunkt (15) durch einen Laserstrahl (17) ermöglicht zum Beispiel die Auswertung der Eigenschaften der Schallwelle (14) und ermöglicht die Ermittlung der Ausprägung der Verbindung der Aufschweißung (25). Bei Gleichheit der Werkstoffeigenschaften wird die Schallwelle (14) weniger gedämpft und weniger gestreut oder reflektiert. Gefügeänderungen der Aufschweißung (25) dissipieren bestimmte Frequenzen der breitbandigen Anregung. Ebenso wird eine Schallwelle (14a) an Grenzflächen reflektiert und können im Detektionspunkt (15a) durch einen Laserstrahl (17a) detektiert werden. Grenzflächen stellen auch Übergänge in den Werkstoffeigenschaften wie Gefügeänderungen dar.

[0067] Fig. 4 zeigt schematische die Darstellung eines Werkstücks (3) bestehend aus den Werkstückteilen (2a) und (2b) auf dem Werkstücktisch (22) normal auf den Strahl (4). Die Schweißverbindung (6) verbindet die Werkstückteile (2) und (2b). Im Zeitpunkt der Schweißung ist der Bereich der Schweißverbindung (6) ein Schweißbad (6a) und schmelzflüssig. Die Schweißverbindung (6) kann über die gesamte Werkstückdicke ausgeprägt sein (durchgeschweißt) oder aber auch nur eine bestimmte Dicke (Schweißtiefe) haben. Der abgelenkte Strahl kann Wärmepunkte (11) und (11a) an beliebigen Stellen der Werkstückoberfläche (10) erzeugen. Die Körperschallwellen (12) und (12a) breiten sich im angeregten Werkstückteil (2a) aus und können in Abhängigkeit des Vorliegens einer Schweißverbindung (6) an der Oberfläche des Werkstückteils (2b) detektiert werden. Die Verbindungsfläche (5) stellt für die Körperschallwelle (12a) eine Grenzfläche dar und reflektiert die Körperschallwelle bzw. dämpft die Körperschallwelle (12a) so dass die Detektion im Detektionspunkt (15a) nur sehr abgeschwächt möglich ist (strichpunktiertes Pfeil). Eine reflektierte Körperschallwelle (12a) an der Verbindungsfläche (5) erzeugt im Detektionspunkt (15b) auf der Oberfläche des Werkstückteils (2a) eine Oberflächenbewegung der Werkstückoberfläche (10). Durch Ermittlung des Laufzeitsignals der Körperschallwelle (12a) im Detektionspunkt (15b) kann so die Lage der Verbindungsfläche (5) genau ermittelt werden. Damit ist es möglich die Strahlführung des Strahls (4) an die Lage der Verbindungsfläche (5) anzupassen und die Qualität und Ausprägung der Schweißverbindung (6) wesentlich verbessert werden. Die Eigenschaften der Schweißverbindung (6) kann beispielsweise über die Detektion der Körperschallwelle (12) ermittelt werden. Beispielsweise können eine Vielzahl an Wärmepunkten und Detektionspunkten und Sensorsignale in beliebiger Lage kombiniert werden. Zudem ist durch Zeitabhängigkeit der Erzeugung von Wärmepunkten und Detektionspunkten und ermittelten Sensorsignalen eine rechnerische Ermittlung der Eigenschaften über das Werkstück (3) möglich, insbesondere über das Volumen rund um die Schweißverbindung (6).

[0068] Die Ausführungsbeispiele zeigen mögliche Ausführungsvarianten, wobei an dieser Stelle bemerkt sei, dass die Erfindung nicht auf die speziell dargestellten Ausführungsvarianten der-

selben eingeschränkt ist, sondern vielmehr auch diverse Kombinationen der einzelnen Ausführungsvarianten untereinander möglich sind und diese Variationsmöglichkeit aufgrund der Lehre zum technischen Handeln durch gegenständliche Erfindung im Können des auf diesem technischen Gebiet tätigen Fachmannes liegt.

[0069] Der Schutzbereich ist durch die Ansprüche bestimmt. Die Beschreibung und die Zeichnungen sind jedoch zur Auslegung der Ansprüche heranzuziehen. Einzelmerkmale oder Merkmalskombinationen aus den gezeigten und beschriebenen unterschiedlichen Ausführungsbeispielen können für sich eigenständige erfinderische Lösungen darstellen. Die den eigenständigen erfinderischen Lösungen zugrundeliegende Aufgabe kann der Beschreibung entnommen werden.

[0070] Sämtliche Angaben zu Wertebereichen in gegenständlicher Beschreibung sind so zu verstehen, dass diese beliebige und alle Teilbereiche daraus mitumfassen, z.B. ist die Angabe 1 bis 10 so zu verstehen, dass sämtliche Teilbereiche, ausgehend von der unteren Grenze 1 und der oberen Grenze 10 mit umfasst sind, d.h. sämtliche Teilbereiche beginnen mit einer unteren Grenze von 1 oder größer und enden bei einer oberen Grenze von 10 oder weniger, z.B. 1 bis 1,7 oder 3,2 bis 8,1 oder 5,5 bis 10.

[0071] Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus Elemente teilweise unmassstäblich und/oder vergrößert und/oder verkleinert dargestellt wurden.

BEZUGSZEICHENLISTE

| | |
|--------|---------------------------------|
| 1 | Vorrichtung |
| 2a, 2b | Werkstücketeile |
| 3 | Werkstück |
| 4 | Strahl |
| 4a | abgelenkter Strahl |
| 5 | Verbindungsfläche |
| 6 | Schweißverbindung |
| 7 | Strahlquelle |
| 8 | Strahlführung |
| 9 | Recheneinheit |
| 10 | Oberfläche |
| 11 | Wärmepunkt |
| 12 | Körperschall |
| 13 | gegenüberliegende Oberfläche |
| 14a-b | Körperschallwelle |
| 15a-b | Detektionspunkt |
| 16 | Sensor |
| 17,17a | Laserstrahl |
| 18 | Sensorsignal |
| 19 | Anzeige |
| 20 | Datenspeicher |
| 21 | Kommunikationsverbindung |
| 22 | Werkstücktisch |
| 23 | Grundgestell |
| 24 | Bewegungsachsen |
| 25 | Aufschweißung |
| 26 | Zusatzwerkstoff / Schweißzusatz |

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstückes mit einem Strahl , wobei mittels des Strahls Körperschallwellen (12) im Werkstück (3) erzeugt und mit einem Sensor (16) die Körperschallwellen (12) detektiert werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strahl während der Bearbeitung dynamisch auf einen beliebigen Punkt auf der Oberfläche des Werkstücks (3) abgelenkt wird und der abgelenkte Strahl (4a) den Wärmepunkt (11) am Werkstück (3) und so die Körperschallwellen (12) erzeugt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sensorsignal (18) des Sensors (16) auf einer Anzeige (19) dargestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sensorsignal (18) auf einem Datenspeicher (20) aufgezeichnet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sensorsignal (18) in einer Rechneinheit (9) zu einer Qualitätsbeurteilung des durch den Strahl (4) bearbeiteten Werkstücks (3) ausgewertet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sensorsignal (18) in einer Rechneinheit (9) über eine Kommunikationsverbindung (21) an ein übergeordnetes Rechnersystem oder Datenspeicher übergeben wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sensorsignal (18) in der Rechneinheit (9) für die Regelung der Strahlführung (8) und /oder der Bewegungsachsen (24) des Werkstücks (3) verwendet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf der Rechneinheit (9) ein Algorithmus unter Verwendung eines neuronalen Netzes zur Anwendung kommt.
8. Vorrichtung zum Bearbeiten eines Werkstücks durch einen Strahl, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Sensor (16) zur Messung der Oberflächenbewegung des Werkstücks (3) ein Laservibrometer ist und dass der Strahl (4) relativ zum Werkstück (3) verlagerbar ist und das Werkstück (3) durch den Strahl (4) bearbeitbar ist und ein Wärmepunkt (11) auf der Oberfläche (10) des Werkstücks (3) durch einen dynamisch abgelenkten Strahl (4a) auf einen beliebigen Punkt auf der Oberfläche des Werkstücks (3) erzeugbar ist.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

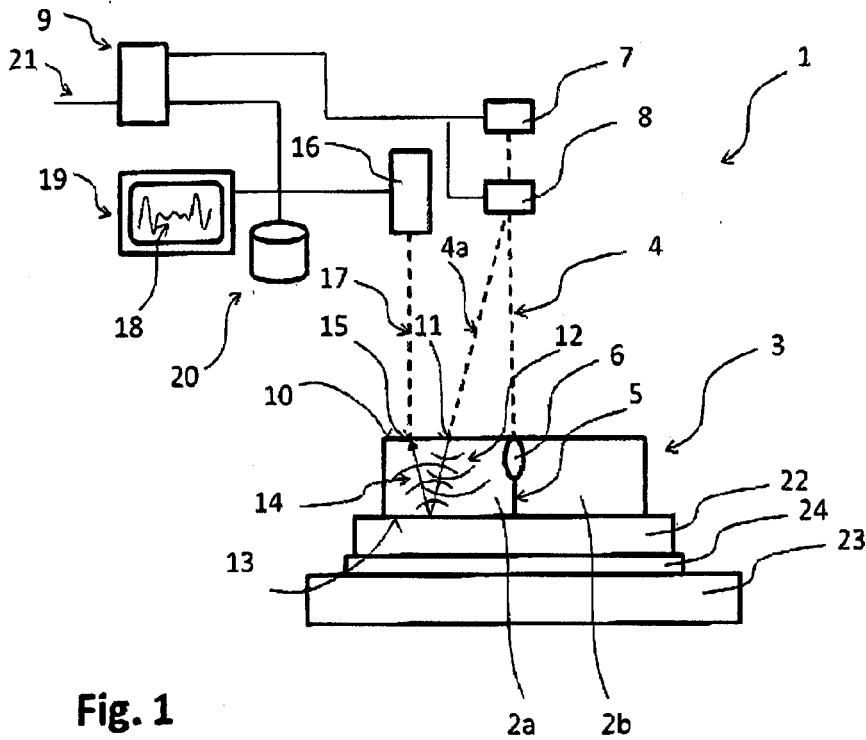


Fig. 1

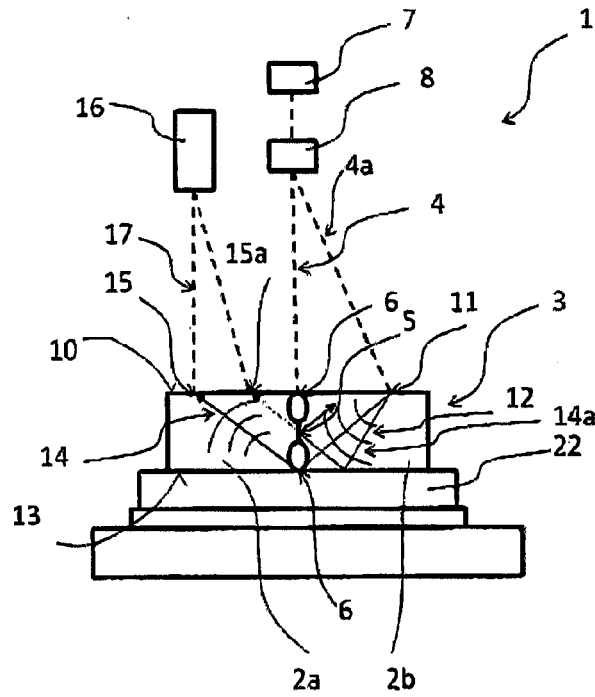


Fig. 2

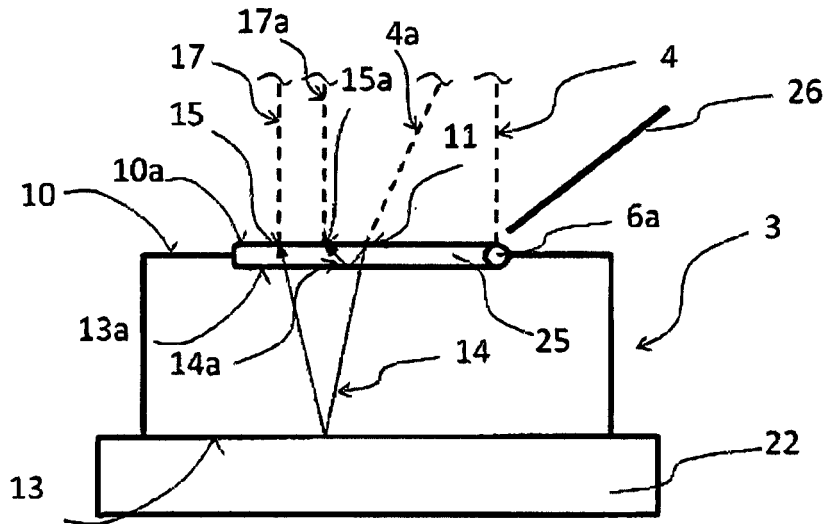


Fig. 3

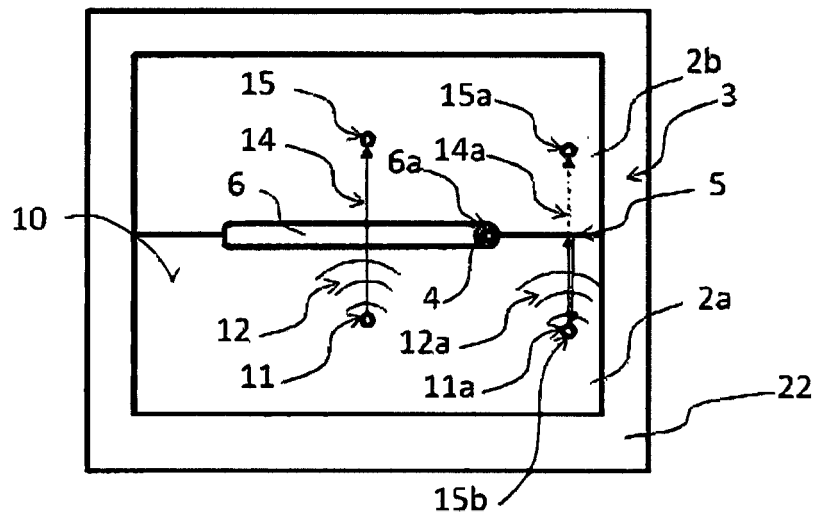


Fig. 4