



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM



⑪ CH 682 890 A5

⑤① Int. Cl.⁵: B 23 K 26/04

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑳① Gesuchsnummer: 2976/90

⑳② Anmeldungsdatum: 13.09.1990

⑳③ Priorität(en): 14.09.1989 US 407076

⑳④ Patent erteilt: 15.12.1993

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 15.12.1993

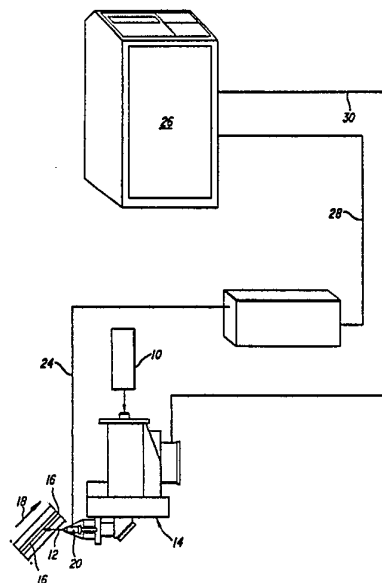
⑦③ Inhaber:
General Electric Company, Schenectady/NY (US)

⑦② Erfinder:
Aiello, Louis Leonard, Castle Hayne/NC (US)
Mees, James Alton, Wilmington/NC (US)

⑦④ Vertreter:
Ritscher & Seifert, Zürich

⑤④ **Verbindungsfolger-Laserschweissvorrichtung.**

⑤⑦ Ein Laserprofilgeber wird an den Fokussierkopf (68) für einen Laserschweisstrahl (12) montiert, um Profildaten für aufeinanderfolgende transversale Bildebenen einer länglichen Verbindung zu erzeugen, vorgängig deren Aussetzung an den Schweissstrahl. Die Profildaten werden einem Verbindungs-Extraktionsalgorithmus gemäss, unter Verwendung von Parametern, welche in einem Folgerprogramm definiert sind, mit einem Computer (100) verarbeitet, welches Programm die Geometrie der Verbindung (16) charakterisiert, um den Ort der Verbindungsmittellinie errechnen zu können. Die Mittellinien-Lokalisierungsdaten werden gemäss einem Folgeralgorithmus mit einem Computer (102) errechnet, um Signale zu erzeugen, welche einen Positionierkopf (14) anregen, um die Position des Schweissstrahlfokus zu justieren und damit der sich bewegenden Verbindung (16) zu folgen, wenn die Nahtschweissung ausgeführt wird.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft Verbindungsfolger-Schweissvorrichtungen gemäss Anspruch 1 und insbesondere eine Laservorrichtung zum Ausführen einer kontinuierlichen Nahtschweissung entlang einer länglichen Verbindung zwischen gegenüberliegenden Elementen.

Es gibt zahlreiche Anwendungen, welche das Verbinden von länglichen, einander gegenüberliegenden Elementen längs einer gemeinsamen Verbindung oder Naht erfordern. Bei den meisten metallischen Elementen ist die naheliegende Methode, diese mit einer Nahtschweissung zu verbinden. Es gibt natürlich zahlreiche Arten von Schweissgeräten, welche zum Ausführen von Nahtschweissungen auf dem Niveau einer Produktionslinie verwendet werden, wie WIG, MIG, Elektronenstrahl, Laserschweissung etc. Von diesen zeigt das Laserschweissen den Vorteil, imstande zu sein, die Schweissenergie auf extrem hohe Intensitäten und mit grosser Präzision auf sehr kleine Flächen zu konzentrieren. Als Folge davon können Laserschweissungen, im Vergleich mit WIG- oder MIG-Schweissungen, mit wesentlich weniger Wärmezufuhr zu den Elementen ausgeführt werden. Restzugspannungen werden drastisch reduziert, ebenso wie ungünstige metallurgische Veränderungen in den Elementen und in den der Hitze ausgesetzten und den der Schweissung unmittelbar benachbart liegenden Zonen der Elemente.

Welche Schweissttechnik auch immer verwendet wird, das Nahtschweissen einer länglichen Verbindung in einer automatischen Produktionslinie macht einen Folgersensor notwendig, um die Verbindung zu lokalisieren und ihr zu folgen und danach die Position der aufzubringenden Schweissenergie während der relativen Bewegung der Verbindung und der Schweissgeräte zu kontrollieren. Im Falle der Laserschweissung muss der Folgersensor kontinuierlich die Verbindungsstelle mit hoher Präzision auflösen, in dem Mass wie der Laserstrahl, welcher auf die Verbindung trifft, fokussiert werden kann, also bis zu einem Durchmesser, der so klein ist wie 0,0254 mm (10 mils) oder weniger. Folgersensoren können von der kontaktierenden oder nichtkontaktierenden Art sein. Solche, welche einen kontaktierenden Stift verwenden, können einer Verbindung mit einem vernünftigen Auflösungsgrad folgen, um die Aufbringung des Laserschweisstrahls zu kontrollieren. Wie auch immer, der Stift neigt dazu, mit der Zeit stumpf zu werden, und als Folge davon leidet die Genauigkeit. Nichtkontaktierende Sensoren, welche elektrische, optische, pneumatische oder akustische Abtasttechniken verwenden, sind potentielle Kandidaten.

Eine besonders attraktive nichtkontaktierende Folgersensormethode ist diejenige, welche in der Penney et al, US-Patentschrift Nr. 4 645 917 mit dem Titel «Swept Aperture Flying Spot Scanner» offenbart wird. Wie darin offenbart, wird ein Laserstrahl, durch ein kohärentes optisches Faserbündel übertragen, und unter einem geeigneten Winkel, d.h. 30°, zur Normalen, auf einen im wesentlichen auf der zu profilierenden Fläche liegenden fokussier-

ten Fleck projiziert. Der Laserfleck wird in X- und Y-Rasterscanner Art über die Fläche gelenkt. Das diffuse, von dem gescannten Laserfleck reflektierte Licht, welches längs einer Sichtlinie, welche normal zur Fläche steht, beobachtet wird, wird durch ein zweites kohärentes faseroptisches Bündel zu einer Entscanner-Vorrichtung geführt, wie beispielsweise einen Spiegel, welcher synchron mit der Bewegung des Laserflecks in einer der Ablenkrichtungen, z.B. der Y-Richtung, oszilliert. Dies erzeugt eine schmale Scan-Öffnung, durch welche das diffus reflektierte Licht auf einen geeigneten optischen Sensor, wie z.B. eine Photomultiplier-Röhre, trifft. Durch Feststellung, in welchem Punkt im Intervall von jeder in X-Richtung verlaufenden Abtastschwingung der Laserfleck von dem optischen Sensor beobachtet wird, kann die Elevation der beobachteten Oberfläche, als Funktion des Ortes, in dem der Laserfleck sich in der Y-Abtastrichtung befindet, durch optische Triangulation bestimmt werden. Daraus kann ein genaues Profil der Oberfläche in dem von der scannenden Öffnung definierten Gesichtsfeld, welches in einer Beobachtungsebene normal zur Oberfläche liegt, errechnet werden. Das heisst, dass das Ausgangssignal des optischen Sensors weiter verarbeitet werden kann, um im wesentlichen ein Querschnittbild zu erzeugen, welches Querschnittbild das Oberflächenprofil wiedergibt. Eine Anwendung, bei welcher eine Vielzahl von präzisen länglichen Nahtschweissungen auszuführen sind, und für welche die vorliegende Erfindung besonders geeignet ist, betrifft die Herstellung von Kontrollstäben für Kernreaktoren. In der dazugehörigen Anmeldung vom Aiello et al., Nr. 250 631, hinterlegt am 29. September 1988, betitelt «Control Rod Absorber Section Fabrication by Square Tube Configuration and Dual Laser Welding Process», wird eine Vorrichtung zur Herstellung von Kontrollstäben mit kreuzförmigem Querschnitt offenbart. Jeder Kontrollstab umfasst eine Mehrzahl länglicher Röhren, wovon jede grundsätzlich eine rechtwinkelförmige äussere Form hat und eine zentrale Kernöffnung zur Aufnahme von Neutronen absorbierendem oder sogenanntem «Gift»-Material, sowie Borkarbid. Die individuellen Röhren, mit dem darin versiegelten Gift, werden in einer Halterung, mit bis zu 14 Röhren in jeder der vier Flügel der Kreuzform, zusammengeklammert. Die Ecken der Röhren werden abgeschrägt, so dass, wenn diese längs ihrer Länge von 4,27 m (14 feet) mehr oder weniger nebeneinanderliegen, eine Mehrzahl von parallelen V-förmigen Nuten oder Nähte zwischen benachbarten Röhren vorhanden sind. Die fixierten Röhren werden durch eine Schweissstation geführt, wo die kreuzförmigen Flügel zwischen einem Paar Laserschweisern passieren, welche gesteuert werden, um eine kontinuierliche Nahtschweissung in einer V-förmigen Nut auf jeder Seite des Flügels auszuführen. Nach mehreren Durchgängen durch die Schweissstation sind alle diese Röhren durch geschweisste Nahtverbindungen verbunden. Die kreuzförmigen Flügel werden an zentrale Ankerbolzenteile geschweisst, ein Griff wird an das eine Ende der Kreuzform geschweisst und ein Geschwindigkeitsbegrenzer wird an das andere Ende

geschweisst, um einen strukturell steifen Kontrollstab zu erzeugen, welcher allen voraussehbaren statischen und dynamischen Belastungen widerstehen kann.

So lang wie die individuellen Röhren sind, so schmal sind sie im Querschnitt, d.h. messen 6,64 mm (0,260 inches) auf jeder Seite. Die V-förmige Nut zwischen benachbarten Röhren ist somit extrem klein, mit einer Öffnungsweite von 0,762 mm (30 mils) oder weniger. Um eine Verbindung mit derart kleinen lateralen Dimensionen aufzulösen und um während der Bewegung mit Geschwindigkeiten bis zu 1,54 m/min. (60 inches/minute) dieser zuverlässig zu folgen, ist ein ehrgeiziges Ziel. Darüberhinaus muss der Foldersensor den Laserschweisstrahl kontrollieren, so dass er sowohl lateral mit der Nut, im wesentlichen auf dem Boden derselben, ausgerichtet und auch fokussiert ist, während dessen die fixierten Röhren mit hoher Relativgeschwindigkeit durch die Schweissstation geführt werden.

Es ist deshalb ein Ziel der vorliegenden Erfindung, eine Laserschweissvorrichtung zu schaffen, um metallische Elemente entlang einer länglichen Verbindung zu verbinden.

Ein weiteres Ziel ist es, eine Laserschweissvorrichtung der oben genannten Art zu schaffen, wobei der Laserschweisstrahl kontrolliert wird, um einer länglichen Verbindung, während der Bewegung mit einer relativ hohen Geschwindigkeit, automatisch zu folgen.

Eine zusätzliche Aufgabe ist es, eine Verbindungsfolger-Laserschweissvorrichtung der oben genannten Art zu schaffen, welche imstande ist, eine herkömmliche Verbindung mit relativ kleinen transversalen Dimensionen präzise zu schweißen.

Eine andere Aufgabe ist es, eine Präzisionsverbindungsfolger-Laserschweissvorrichtung der oben genannten Art zu schaffen, welche im Betrieb flexibel ist, nicht auf Einflüsse der Umgebung reagiert und einfach zu verwirklichen ist.

Weitere Aufgaben der Erfindung werden teils naheliegend sein und teils im folgenden erläutert.

Erfindungsgemäss wird ein Laserprofilgeber-Abtastkopf an einen Laserstrahlfokussierkopf in einer Position montiert, um wiederholt das Profil einer länglichen, bewegten Verbindung an einer Folge von transversalen Bildebenen, unmittelbar bevor diese einem Laserschweisstrahl ausgesetzt wird, zu laserscannen. Das Profilkopfantwortsignal wird verarbeitet, um Daten zu erzeugen, welche das Verbindungsprofil definieren, welches in jedem der transversalen Bildebenen liegt. Verbindungsprofildaten werden über einen Computer verarbeitet, nach einem Verbindungs-Extraktionsalgorithmus, welcher einem für die zu schweisende Verbindung speziell entworfenen Folderschema folgt. Der Computer bestimmt dann den Ort in dem Bildfeld des Profilgebers für die longitudinale Verbindungsmittellinie aus jeder transversalen Bildebene. Lokalisierungsdaten, welche die Verbindungsmittellinienposition in Grössen eines Profilgeberkoordinatensystems definieren, werden in ein korrespondierendes, aber versetztes Schweissfolgerkoordinatensystem transformiert, welches eine Z-Fokussierachse und eine Y-Quernaht-

achse, welche in einer Folgerebene transversal zu der Verbindung liegen, umfasst. Die transformierten Lokalisierungsdaten werden dann verwendet, um die laterale Laserschweisstrahlposition und dessen Fokus in Synchronisation mit der Ankunft der aufeinanderfolgenden Bildebenen in der Folgerebene zu regeln, von welchen Bildebenen die Lokalisierungsdaten erhalten wurden. Der Laserschweisstrahl folgt der Verbindung zuverlässig und ist kontinuierlich auf eine Maximumintensität und auf ein Ziel in der Verbindung fokussiert, in welcher die Verschmelzung erreicht werden soll.

Die Erfindung umfasst demgemäss die Merkmale der Konstruktion, die Kombination der Elemente und die Anordnung von Teilen, welche nachfolgend im Detail offenbart werden; der Schutzbereich der Erfindung wird in den Ansprüchen angegeben.

Für ein vollständiges Verständnis der Eigenart und des Gegenstands der vorliegenden Erfindung, kann Bezug genommen werden auf die im Zusammenhang mit den begleitenden Zeichnungen folgende detaillierte Beschreibung, in welcher:

Fig. 1 ein schematisches Blockdiagramm eines gemäss der vorliegenden Erfindung konstruiertes Verbindungsfolger-Laserschweiss-system ist;

Fig. 2 ein vertikaler Querschnitt durch den Schweissstrahlpositionierkopf, wie er in dem System aus Fig. 1 verwendet wird, ist;

Fig. 3 eine Seitenansicht des Laserprofilgeberkopfes, wie er in dem System von Fig. 1 verwendet wird, ist;

Fig. 4 ein Blockdiagramm der datenverarbeitenden Hardware, wie sie in dem Systemregler der Fig. 1 verwendet wird, ist;

Fig. 5 ein fragmentarischer Querschnitt eines Paares metallischer Elemente, welche die zu folgende und schweisende Naht bilden, ist und

Fig. 6A, 6B und 6C repräsentative CRT-Anzeigen der Profildaten, wie sie von dem Laserprofilgeber aus Fig. 1 erzeugt werden, illustrieren.

Entsprechende Referenzzeichen beziehen sich auf korrespondierende Teile in den verschiedenen Ansichten der Figuren.

Die Präzisionsverbindungsfolger-Laserschweissvorrichtung der vorliegenden Erfindung, wie in Fig. 1 ganz allgemein gezeigt, umfasst einen Industrielaser 10, wie beispielsweise einen kohärenten General S51 CO₂-Laser, um einen Laserschweisstrahl 12 zu erzeugen, welcher generell mit 14 bezeichnet ist, und von einem Strahlpositionierungskopf auf einen fokussierten Fleck gerichtet wird, zur Erzeugung einer kontinuierlichen Nahtschweissung einer länglichen Verbindung 16, welche in der Richtung wie sie durch den Pfeil 18 angegeben ist daran vorbeigeführt wird. Befestigt an dem Positionierungskopf ist der Abtastkopf 20 eines Laserprofilgebers, bevorzugterweise von der Art, wie in dem oben genannten US-Patent Nr. 4 645 917 offenbart, dessen Offenbarung hiermit durch Verweis spezifisch eingeschlossen wird. Der Profilgeberkopf ist mit einer Optikpackung 22 über separate eingangs- und ausgangskohärente faseroptische Bündel, gemeinsam mit 24 bezeichnet, verbunden. Die Optik-

packung umfasst, wie im US-Patent 4 645 917 offenbart, einen Laser und einen X- und Y-Laserstrahlscanner, welche zusammenwirken, um den Laserstrahl in einer Rasterweise abzulenken. Der abgelenkte Laserstrahl wird für die Projektion auf die Fläche der Verbindung 16 unter einem Winkel zur Vertikalen im Bereich von 30°–40° durch das eingangsfaseroptische Bündel zum Profilgeberabstastkopf 20 geleitet. Von einem Blickpunkt normal auf der Verbindungsfläche wird von dem Abstastkopf diffus reflektiertes Licht aufgenommen und über das Ausgangsbündel der optischen Fasern zu der Optikpackung geleitet, wo es in der Y-Abtastrichtung entscannt wird und durch eine Öffnung einer Photomultiplier-Röhre zugeleitet wird. Als Folge davon sieht die Photomultiplier-Röhre nur den Laserfleck, während er bei jeder X-Ablenkung einen sehr engen Blickstreifen überquert, welcher in der transversalen oder querliegenden Richtung liegt. Die Arbeit der Komponenten der Optikpackung wird über ein Kabel 28 von einem Regler 26 geregelt. Die Photomultiplier-Ausgangssignale werden von einem Mikroprozessor verarbeitet, welcher das Intervall zwischen der Startzeit jeder X-Abtastung und der Zeit, zu welcher die Photomultiplier-Röhre den Laserfleck sieht, festhält, und davon Daten ableiten kann, welche sowohl den Ort als auch die relativen Elevationen einer Vielzahl von nahe beieinanderliegenden Punkten auf der Verbindungsfläche definieren, welche in einer transversalen Bildebene liegen. Aus diesen Oberflächenpunktdaten erzeugt der Mikroprozessor Profildaten für jede der Folgen nahe beieinanderliegender Bildebenen oder transversalen Querschnitten der Verbindung 16, welche entlang dieser verteilt sind. Diese Profildaten werden über ein Kabel 28 einem Systemregler 26 zugeführt. Durch die Stationierung des Profilgeberkopfes 20 an der Zuführseite des Laserschweisstrahls 12, werden die Profilgeberlokalisierungsdaten für den Regelpositionierkopf 14 über ein Kabel 30 zugänglich, um den Laserschweisstrahl in eine transversale Folgerebene zu richten und zu fokussieren in Vorwegnahme der Kreuzung der aufeinanderfolgenden transversen Bildebenen mit der Strahlfolgerebene. Der Laserschweisstrahl wird somit geregelt, um der Verbindung 16, wie sie sich in der Richtung des Pfeiles 18 vorbeibewegt, zu folgen.

Der Strahlpositionierungskopf 14, wie er in größerem Detail in Fig. 2 gezeigt wird, umfasst eine Stirnplatte 34, welche von einem geeigneten Positionierungsmechanismus (nicht gezeigt) getragen wird, wie er z.B. in dem oben genannten US-Patent mit der Nr. 4 925 620 offenbart ist. Dieser Positionierungsmechanismus wird während der Aufstellungsvorbereitung für das Schweißen verwendet, um den Laserschweisstrahl mit der besonderen Verbindung, welche geschweisst werden soll, nominal auszurichten und um sicherzustellen, dass die Verbindung im Bildfeld des Laserprofilgeberkopfes 20, sowohl innerhalb der Quernaht-Lateralgrenzen und der Tiefenschärfegrenzen liegt.

Angehängt an die Frontplatte 34 ist eine Trägersäule, welche trägt eine zentral angeordnete Laserstrahlzustellröhre 38 führt. Die Säule 36 trägt eben-

falls ein Paar lateral voneinander beabstandeter Gruppen vertikal beabstandeter Führungen 40 zum umschliessenden Aufnehmen eines korrespondierenden Paares sich vertikal erstreckender Schieber 42. Eine obere horizontale Montageplatte 44 ist an den unteren Enden dieser Schieber befestigt. Im weiteren ist an der Trägersäule ein Motor 46 befestigt mit einer Ausgangswelle, welche eine Gewindespindel mit Kugelmutter 48 antreibt, welche Spindel von einer Verschiebermutter 50, welche an der Montageplatte 44 befestigt ist, gefasst wird.

Eine untere horizontale Montageplatte 52 trägt ein Paar Gleiter, wovon einer mit 54 dargestellt ist, welche in Führungen 56 umschliessend eingerastet sind, und welche Führungen an der oberen Montageplatte 44 hängen. Die untere Montageplatte trägt auch eine Verschiebermutter 58, welche eine Führungsschraube fasst, welche Schraube von der oberen Montageplatte 44 mittels Lager 62 getragen wird. Ein zweiter Motor 64, welcher von der oberen Montageplatte getragen wird, dreht eine Führungsschraube 60 über einen Riemen und Riemenantrieb, allgemein mit 66 bezeichnet, um eine horizontale Bewegung der unteren Montageplatte relativ zu der oberen Montageplatte zu erzeugen.

Befestigt an der unteren Montageplatte 52 ist ein Fokussierkopf 68, in welchem eine Fokussierlinse 70 für einen Laserstrahl 12 getragen wird, welcher vertikal abwärts durch die Zustellröhre 38 projiziert wird und mittels eines Spiegels 72 durch den Fokussierkopf 68 horizontal reflektiert wird, welcher Spiegel an dem unteren Ende der Röhre befestigt ist. Es ist damit deutlich, dass eine selektive bidirektionale Rotation des Motors 46 die vertikale Position des Fokussierkopfes 68 aufrichtet und damit den Laserschweisstrahl längs einer Y-Achse bewegt, d.h. in der Transversalen der Quernahttrichtung, um derart der Verbindung zu folgen. Der Motor 64 wird selektiv angeregt, um den Fokussierkopf längs einer Z- oder Fokussierachse horizontal zu positionieren, um derart den Schweisstrahl im wesentlichen auf dem Boden der zu schweisenden Verbindung 16 fokussiert zu halten.

Wie aus Fig. 3 ersichtlich, ist der Laserprofilgeberkopf 20 mittels einer Klammer 72 an einer Seite des Fokussierkopfes 68 montiert. Der Profilgeberkopf bewegt sich somit mit dem Fokussierkopf. Diese Klammer umfasst einen Schieberblock 74, welcher einen Schieber 76 umschliessend aufnimmt, welcher an seinem dargestellten unteren Ende einen zweiten Schieberblock 78 trägt. Eingelagert in diesen Schieberblock ist ein keilförmiger Schieber 80, an welchem ein Gabelgelenk 82 zur justierbaren, drehbaren Montage eines Paares von Klammern 84 und 86 hängt. Die Klammer 82 trägt eine Fokussierlinse 86, an welcher das Ausgangsende des eingangsoptischen Faserbündels 24A gekoppelt ist. Die Klammer 84 trägt eine Sammellinse 88, an welche das Eingangsende des eingangsoptischen Faserbündels 24B gekoppelt ist. Die Linse 86 führt einen Laserabtast- oder Profilsondierstrahl 90 zur Verbindung 16 und die Linse 88 sammelt das diffuse Licht, welches in einen Weg 92 normal zur Oberfläche der Verbindung von dieser reflektiert wird. Die Klammern 82 und 84 sind am Gabelge-

lenk 82 drehbar justiert, um einen gewünschten Winkel zwischen den Achsen der Linsen 86 und 88 festzusetzen, beispielsweise 30°, und auch um jeden schrägen Schweissstrahlauftreffwinkel 93 zu berücksichtigen, in welchem der Strahlpositionierkopf eingestellt ist. Die Position des Schiebers 80 im Block 78 und die Position des Schiebers 76 im Schieberblock 74 werden (über eine Klemmschraube 94) während dem Bereitstellen zum Einstellen einer erforderlichen Beziehung zwischen dem Profilkopf-Koordinatensystem und dem Schweissstrahlfolger-Koordinatensystem justiert. Das heisst, die Strahlpositioniermotoren 46 und 64 werden in eine Grundstellung geführt, um den Fokussierkopf 68 in den Mittelpunkt seines Bereichs der Y- und Z-Achsenbewegungen zu positionieren, derart, um den Ursprung des Folgerkoordinatensystem in einer Referenzraumposition einzustellen, welche mit dem fokussierten Fleck des Laserschweissstrahls koinzident ist. Die Position des Profilgeberkopfs wird dann justiert, um auf das Zentrum des Profilgeberbildfeldes, welches der Ursprung des Profilgeber-Koordinatensystems ist, mit der X-Achse der Folgerkoordinatenposition auszurichten. Wie aus Fig. 3 ersichtlich, ist diese X-Achse mit der longitudinalen Mittellinie der Verbindung nominal ausgerichtet.

Die Regelvorrichtung 26 umfasst, wie aus Fig. 4 ersichtlich, einen Verbindungs-Extraktionscomputer 100, welcher Profildaten errechnet, von der Profilgeberoptikpackung 22 empfängt, um Ort der Verbindungsmittellinie im Bildfeld des Profilgebers für jede transversale Bildebene gemäss einem Folgerprogramm zu berechnen, welches Programm auf die Geometrie der besonderen, zu schweisenden Verbindung zugeschnitten ist. Die berechnete Verbindungsmittellinienlage, welche durch die Koordinaten des Profilgeberkoordinatensystems definiert wird, wird einem Folgercomputer 102 zur Weiterverarbeitung mittels eines Folgeralgorithmus zugeführt. Die Positionierungsdaten in dem Folgerkoordinatensystem werden einer CNC-Regelvorrichtung 104 zugeführt, welche entsprechend, selektiv die Motoren 46, 64 (Fig. 2) anregt, um den Fokussierkopf 68 in der Quernahrichtung längs der Y-Achse und in der Fokussrichtung längs der Z-Achse solcherart, zu positionieren, um den Schweissstrahlfokusfleck in einem Zielpunkt innerhalb der sich bewegenden Verbindung für die optimale Schweissung kontinuierlich zu positionieren.

Ein Folgerprogramm umfasst eine Serie von Verbindungsparametern, welche die Geometrie der besonderen Verbindung und Arbeitsparameter charakterisieren, welche die Gesamtsystemarbeitsweise leiten. Die Verbindungsparameter umfassen Eckpunkt-Schwellenwerte, welche von dem Verbindungs-Extraktionsalgorithmus verwendet werden, um aus den Profildaten Verbindungsseckpunkte 106 und 108 der zwei länglichen Elemente 16A und 16B zu lokalisieren, welche die Verbindung formen, wie in Fig. 5 angegeben. Ein Eckpunkt-Funktionslängenwert definiert den Abstand, über welchen eine quasi-Abfallfunktion einbezogen werden muss, um die Verbindungsflächen 110 zu finden. Ein Mitteleckpunkt-Schwellenwert wird im Zusammenhang mit den obigen Parameterwerten verwendet, um die

Verbindungsmittellinie zu finden, wenn die Elemente 16A, 16B einander gegenüberliegen, d.h. ohne Spalt. Ein Minimumreflektionsparameter wird als Reflektionsschwelle verwendet, um die Grösse irgendeines Spaltes zwischen den Elementen zu bestimmen. Ein Minimumsuchfeldgrössenwert wird verwendet, um sicherzustellen, dass die Profildaten adäquate Verbindungsmerkmalenpunkte enthalten, um die Verbindung zu lokalisieren. Fig. 6A zeigt eine CRT-Anzeige der Profildaten für eine besondere transversale Bildebene, welche eine Verbindung ohne Spalt und ohne Versetzung zwischen den Elementen 16A und 16B zeigt.

Das Folgerprogramm umfasst ebenso einen Maximumverbindungsseckpunkt und einen Spaltbereichswert. Wenn gefunden wird, dass der Spalt den Maximumwert überschreitet, folgt der Verbindungs-Extraktionsalgorithmus dem Längsabstand längs der Verbindung, solange diese Spaltbedingung vorhanden ist. Wenn der Verbindungsseckpunkt den Maximalwert über einen Längsabstand, welcher den Bereichswert übersteigt, überschreitet, wird das Laserschweissen typischerweise angehalten werden. Fig. 6C zeigt eine CRT-Anzeige mit Profildaten, welche einen Verbindungsseckpunkt anzeigen.

Zusätzlich zu dem Verbindungsseckpunktproblem können die Elemente 16A und 16B auch gegeneinander versetzt sein, wie in Fig. 5 angegeben. Diese Bedingung wird in dem Verbindungs-Extraktionsalgorithmus aus den verschiedenen Elevationen der Eckpunkte 106 und 108 erkannt. Somit umfasst das Folgerprogramm weiterhin Maximumverbindungsversetzungs- und Versetzungsbereichswerte. Wenn die Versetzung den maximalen Wert über einen longitudinalen Abstand, welcher den Bereichswert übersteigt, überschreitet, wird die Schweissung angehalten. Fig. 6B illustriert eine CRT-Anzeige mit Profildaten, welche eine Verbindungsversetzung angeben.

Das Folgerprogramm kann ebenfalls Randparameter einschliessen, welche verwendet werden, um ein schmaleres Suchfenster innerhalb des weiten Profilgeberbildfeldes zu definieren, in welchem der Verbindungs-Extraktionsalgorithmus nach Verbindungsmerkmalenpunkten sucht, welche den oben beschriebenen Folgerprogrammverbindungsparametern genügen. Diese Randparameter werden, wenn es erwünscht ist, verwendet, um Scheinprofildaten aus den Hauptteilen des Bildfeldes zu unterdrücken, welche den Verbindungs-Extraktionsalgorithmus verwirren könnten. Solche Scheinprofildaten können von Elementmerkmalen ausserhalb der Verbindung abstammen, wie Hindernissen so wie Klemmbauteile oder dass die Bildfeldbegrenzungen leicht ausserhalb des Fokus liegen.

Ein anderer Parameter des Folgerprogramms, welcher von dem Verbindungs-Extraktionsalgorithmus verwendet wird, ist ein Verbindungsverlust-Bereichswert. Dieser Parameter spezifiziert den Längsabstand längs der Verbindung, über welchen ein Fehlen der Profildaten, welche zur Lokalisation der Verbindung benötigt werden, toleriert wird. Dies erlaubt dem Verbindungs-Extraktionsprogramm normale Leerstellen in korrekte Profildaten einzuarbeiten, welche Leerstellen durch Spritzer, Rauch oder andere zu erwartende Laserschweissumstände ver-

ursacht werden. Wenn der Verbindungsverlust-Bereichsparameter überschritten wird, wird typischerweise ein Schweisssunterbruch angezeigt werden.

Die Verbindungsmittellinien-Lokalisierung, wie sie durch den Verbindungsextraktionsalgorithmus im Computer 100 errechnet wird, wird dem Folgercomputer 102 in Koordinaten des Profilgeberkoordinatensystems zugeführt. Wie auch immer, CNC-Regler 104 arbeitet auf Basis des Folgerkoordinatensystems, wie es während dem Aufbau erstellt wurde, als der Fokussierkopf 68 von den Folgermotoren 68, 86 in deren Grundstellung oder Mittelpunktposition für die Y- und Z-Achsenbereiche der Bewegungen lokalisiert wurde. Es ist damit erkennbar, dass während eines Nahtschweisсарbeitsgangs der Fokussierkopf der Verbindung folgt und nur vorübergehend in seiner ursprünglichen Stellung ist. Somit haben die Grundstellungen des Profilgebers und des Folgerkoordinatensystems in longitudinaler Ausrichtung ebenfalls nur eine vorübergehende Basis. Demzufolge muss der Folgercomputer 102, in Ausübung des Folgeralgorithmus, die Verbindungsmittellinie, welche vom Computer 100 errechnet ist, lokalisieren und von dem Profilgeberkoordinatensystem in das Folgerkoordinatensystem transformieren. Diese Transformation macht die Berechnung sowohl des Offset der laufenden Fokussierkopfschweisssposition von seiner Grundstellung als auch des Offset der errechneten Verbindungsmittellinie von der laufenden Fokussierkopfschweisssposition nötig. Zusätzlich, wenn der Fokussierkopf unter einem schrägen Auftreffwinkel 93 (Fig. 3.) festgesetzt ist, erfordert diese Systemtransformation, dass das Profilgeberkoordinatensystem im Raum gedreht wird, um seine Y- und Z-Achsen mit den korrespondierenden Achsen des Folgerkoordinatensystems in Einklang zu bringen.

Wie in Fig. 4 gezeigt, werden von dem Folgeralgorithmus, wie er vom Computer 102 ausgeführt wird, gewisse Parameter des Folgerprogramms benötigt. Diese umfassen lateral oder Y- und Fokus- oder Z-Achsen-Offsetwerte. Abhängig von der besonderen Verbindungsgeometrie, für welche das Folgerprogramm aufgestellt ist, muss die Verbindungsmittellinie am Boden der V-förmigen Nut der Verbindung, welche Mittellinie vom Computer 100 berechnet wird, nicht die optimale Zielpunktstelle für den Schweisssstrahlfokus sein. Falls dies der Fall ist, spezifiziert das Folgerprogramm die Offsetwerte für das Einstellen des Strahlfokus an der Optimumschweisssstelle relativ zur errechneten Verbindungsmittellinie. Zusätzliche Folgerprogrammparameter, welche von dem Folgeralgorithmus verwendet werden, sind Folgergenauigkeitswerte, ein Folgertoleranzwert und ein Toleranzbereichüberschreitwert. Die Folgergenauigkeitswerte regeln die Ansprechfähigkeit des Folgeralgorithmus, um Positionsunterschiede oder Fehler zwischen der aktuellen Stellung des Schweisssstrahlfokus und der Zielpunktposition zu berechnen. Ein tiefer Empfindlichkeitswert macht die Folgerbewegung weich, aber dann kann die Systemantwort zu träge sein. Ein hoher Empfindlichkeitswert veranlasst den Strahlpositionierungskopf 14, den Änderungen der errechneten Verbindungsmittellinien Daten schnell zu antworten,

kann aber für fehlerbehaftete Daten zu empfindlich sein. Die Folgertoleranzwerte definieren die Grenzen der akzeptablen Positionsfehler zwischen dem aktuellen Strahlfokus und dem Zielpunkt. Der Toleranzüberschreitwert spezifiziert den maximalen longitudinalen Abstand längs der Verbindung, für welchen eine Toleranzüberschreitbedingung toleriert wird, bevor einem Operator signalisiert wird, dass das System der Verbindung nicht sauber folgt.

Wie in Fig. 4 weiter angegeben, verwendet der Folgeralgorithmus ebenso maschinenkonstante Werte für die Berechnung der Folgersignale, welche dem CNC-Regler 104 zugeführt werden. Diese Parameter, welche typischerweise fest bleiben und unabhängig vom verwendeten Folgerprogramm sind, umfassen die Distanz D, welche dem Profilgeberstrahl 92 vom Schweisssstrahl 12 trennt, und die Geschwindigkeit, mit welcher die Verbindung 16 in der Richtung des Pfeils 18 (Fig. 3) transportiert wird. Von diesen Werten, kann der Folgeralgorithmus die Zeit des Durchlaufens von jeder Profilgeberbildebene durch die Folgerebene berechnen. Das heisst, der Folgeralgorithmus berechnet aus der Distanz D und der Verbindungsgeschwindigkeit den Zeitpunkt, zu welchem jede berechnete Verbindungsmittelliniendatengruppe für die Positionierung des Schweisssstrahls verwendet werden muss, um der Verbindung sauber zu folgen. Eine andere Gerätekostante ist der Wert jedes Auftreffwinkels 93, welchen der Folgeralgorithmus benötigt, um die Y- und Z-Achsen des Profilgebers und des Folgerkoordinatensystems, wie oben beschrieben, genau auszurichten.

Andere Gerätekostanten sind Grenzwerte für die Schwenkgeschwindigkeiten der Folgermotoren 68 und 86, Grenzwerte, welche die maximalen Überschreitwerte festlegen, welche in dem Folgerprogramm spezifiziert werden können, die Auflösung der Computerverbindungsmittellinien-Lokalisationsdaten in dem Profilgeberkoordinatensystem und die Auflösung der Folgermotoren.

Aus der vorausgehenden Beschreibung kann gesehen werden, dass die oben gestellten Ziele, einschliesslich den hier oben erläuterten, in effizienter Weise erreicht werden und dass, da in der beschriebenen Konstruktion gewisse Änderungen vorgenommen werden können, die Spezialbeschreibung absichtlich nur illustrativ und nicht in einem einschränkenden Sinn abgefasst ist.

Patentansprüche

1. Eine Verbindungsfolger-Schweisssvorrichtung, welche in Kombination umfasst:

- A) einen Laser für die Erzeugung eines Laserschweisssstrahls;
- B) einen Fokussierkopf, um diesen Strahl in einem Fokus zu fokussieren, welcher in einer länglichen Verbindung liegt, während sich diese relativ dazu in linearer Bewegung befindet;
- C) einen Positionierungskopf, welcher diesen Fokussierkopf für die kontrollierte Bewegung relativ zur Verbindung, längs einer Fokussierungs-Z-Achse und einer lateralen Positionierungs-Y-Achse trägt;

D) ein Laserprofilgeber, welcher bezüglich der relativen Bewegung der Verbindung an der Einlaufseite des Fokussierkopfes montiert ist, welcher Profilgeber Profildaten erzeugt, welche das Verbindungsprofil in aufeinanderfolgenden transversalen Bildebenen definieren, bevor diese dem Schweißstrahl ausgesetzt wird;

E) Mittel zur Verarbeitung dieser Profildaten nach einem ausgesuchten Folgerprogramm, um die Verbindungsmittellinie innerhalb eines Bildfeldes des Profilgebers zu lokalisieren, welches innerhalb jeder der Bildebenen liegt, und um Positioniersignale für die kontinuierliche Anpassung der Position des Positionierkopfes längs der Y- und Z-Achse zu erzeugen, um damit zu erreichen, den Fokus des Schweißstrahls in der Verbindung an einem vorbestimmten Zielpunkt relativ zu der Verbindungsmittellinie zu halten.

2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel zur Verarbeitung einen Verbindungs-Extraktionscomputer und einen Verbindungs-Folgercomputer umfasst.

3. Vorrichtung gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbindungs-Extraktionscomputer Mittel umfasst, welche in einem Koordinatensystem des Profilgebers aus den Profildaten Mittellinien-Lokalisierungsdaten errechnen, und der Verbindungs-Folgercomputer Mittel umfasst, welche diese Mittellinien-Lokalisierungsdaten in ein Folger-Koordinatensystem, welches die Y- und X-Achsen des Positionierkopfes einschliesst, transformiert.

4. Vorrichtung gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Laser-Profilgeber an den Fokussierkopf in einem vorgegebenen Abstand einlaufseitig vor dem Schweißstrahl befestigt ist und der Verbindungs-Folgercomputer Mittel umfasst, welche aus dem vorgegebenen Abstand und der linearen Geschwindigkeit der Bewegung der Verbindung die Schnittstellen der aufeinanderfolgenden Bildebenen mit einer Folgerebene, welche die Y- und Z-Achse des Positionierkopfes einschliesst, berechnet.

5. Vorrichtung gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbindungs-Extraktionscomputer im weiteren Mittel umfasst, welche die Profildaten verarbeiten, um festzustellen, wann irgendein Spalt zwischen den länglichen Elementen, welche die Verbindung bilden, über einen ersten vorgegebenen Longitudinal-Längenparameter der Verbindung einen Grössengrenzen-Parameter übersteigt, welche Grössen- und erste Längenparameter in dem Folgerprogramm definiert sind.

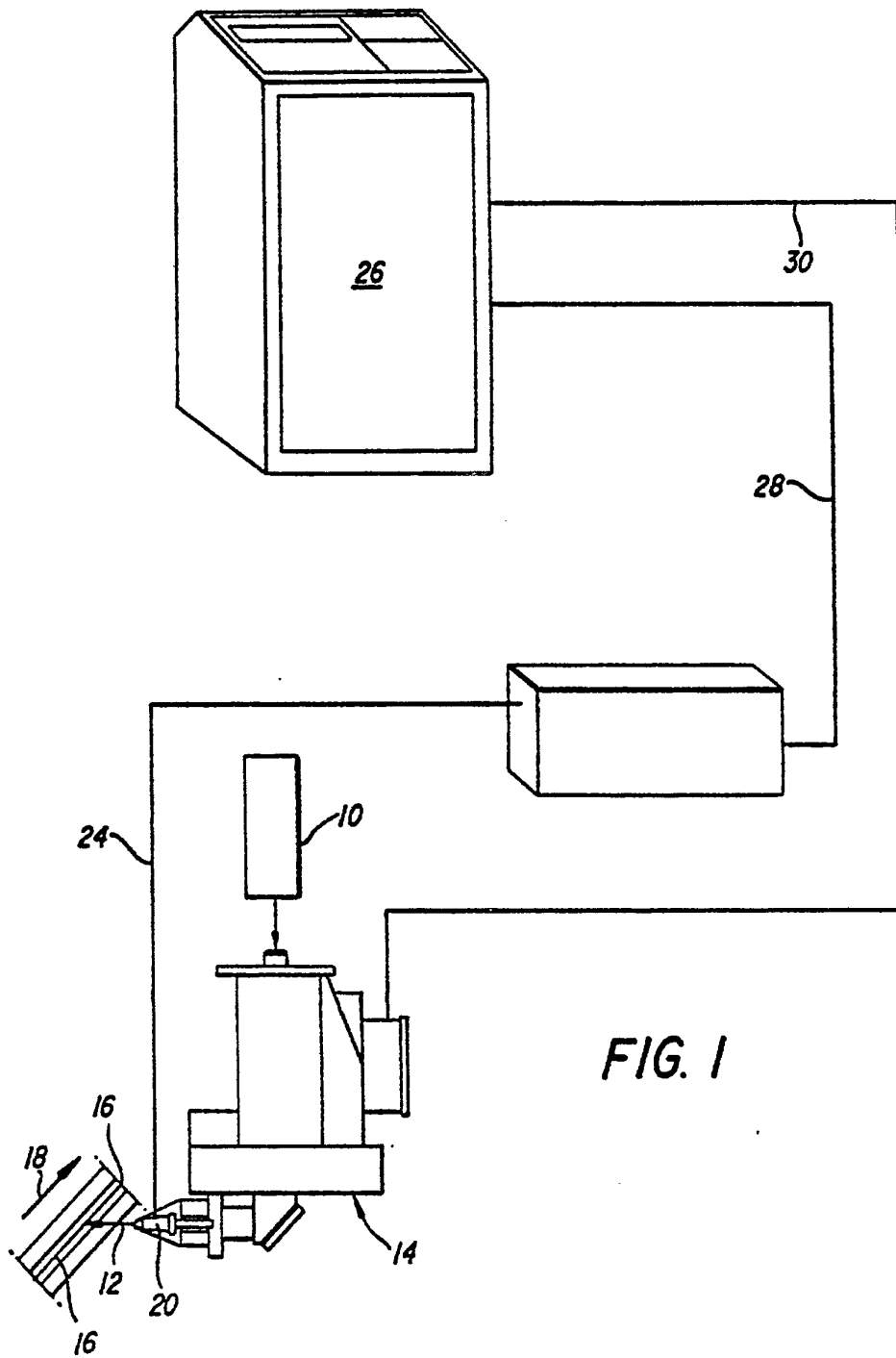
6. Vorrichtung gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbindungs-Extraktionscomputer im weiteren Mittel umfasst, welche die Profildaten verarbeiten, um zu bestimmen, wann irgendeine Versetzung zwischen den Elementen über einen zweiten vorbestimmten Longitudinal-Längenparameter der Verbindung, einen Dimensionsparameter überschreitet, welche Dimensions- und zweite Längenparameter in dem Folgerprogramm definiert sind.

7. Vorrichtung gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Positionierungskopf eine

Trägersäule umfasst, welche während eines Verbindungsschweiß-Arbeitsgangs stationär gehalten wird, eine erste Trägerplatte umfasst, welche für die Bewegung längs der Y-Achse auf dieser Säule gleitbar montiert ist, eine zweite Trägerplatte umfasst, welche für die Bewegung längs der Z-Achse an der ersten Trägerplatte gleitbar montiert ist, einen ersten Motor umfasst, welcher zum Antreiben der ersten Trägerplatte entlang der Y-Positionierbewegungs-Achse an der Trägersäule befestigt ist und einen zweiten Motor umfasst, welcher zum Antreiben der zweiten Trägerplatte entlang der Z-Positionierbewegungs-Achse an der ersten Trägerplatte befestigt ist, und welcher Fokussierkopf an der zweiten Trägerplatte befestigt ist.

8. Vorrichtung gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Positionierkopf im weiteren eine Schweißstrahl-Zustellröhre umfasst, welche sich zentral durch die Trägersäule erstreckt, und einen Spiegel umfasst, welcher an einem Ende dieser Zustellröhre befestigt ist, um den Laser-schweißstrahl, welcher entlang der Y-Achse durch die Zustellröhre projiziert wird, entlang einem mit der Z-Achse des Fokussierkopfes ausgerichteten Weg zu reflektieren.

9. Vorrichtung gemäß Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass im weiteren eine CNC-Steuer-vorrichtung vorgesehen ist, welche als Antwort auf die Positioniersignale des Verbindungs-Folgercomputers den ersten und zweiten Motor selektiv anregt, und welche Steuervorrichtung die Motoren anregt, um den Fokussierkopf in den Mittelpunkt der Bereiche der Bewegungen längs der Y- und Z-Achsen zu positionieren, um damit vorgängig des Schweiß-Arbeitsganges eine räumliche Referenzposition für den Ursprung des Folger-Koordinatensystems einzustellen.



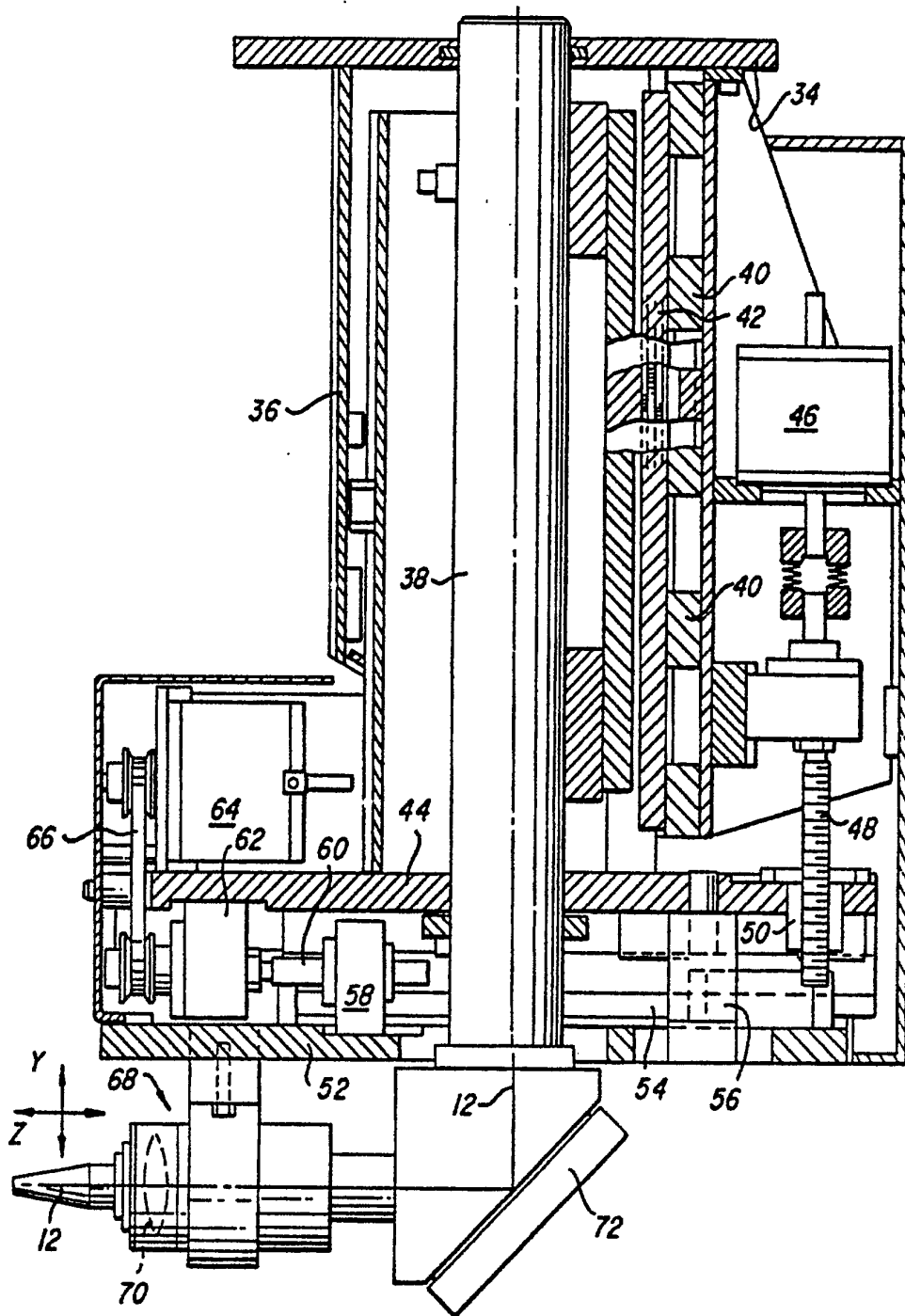


FIG. 2

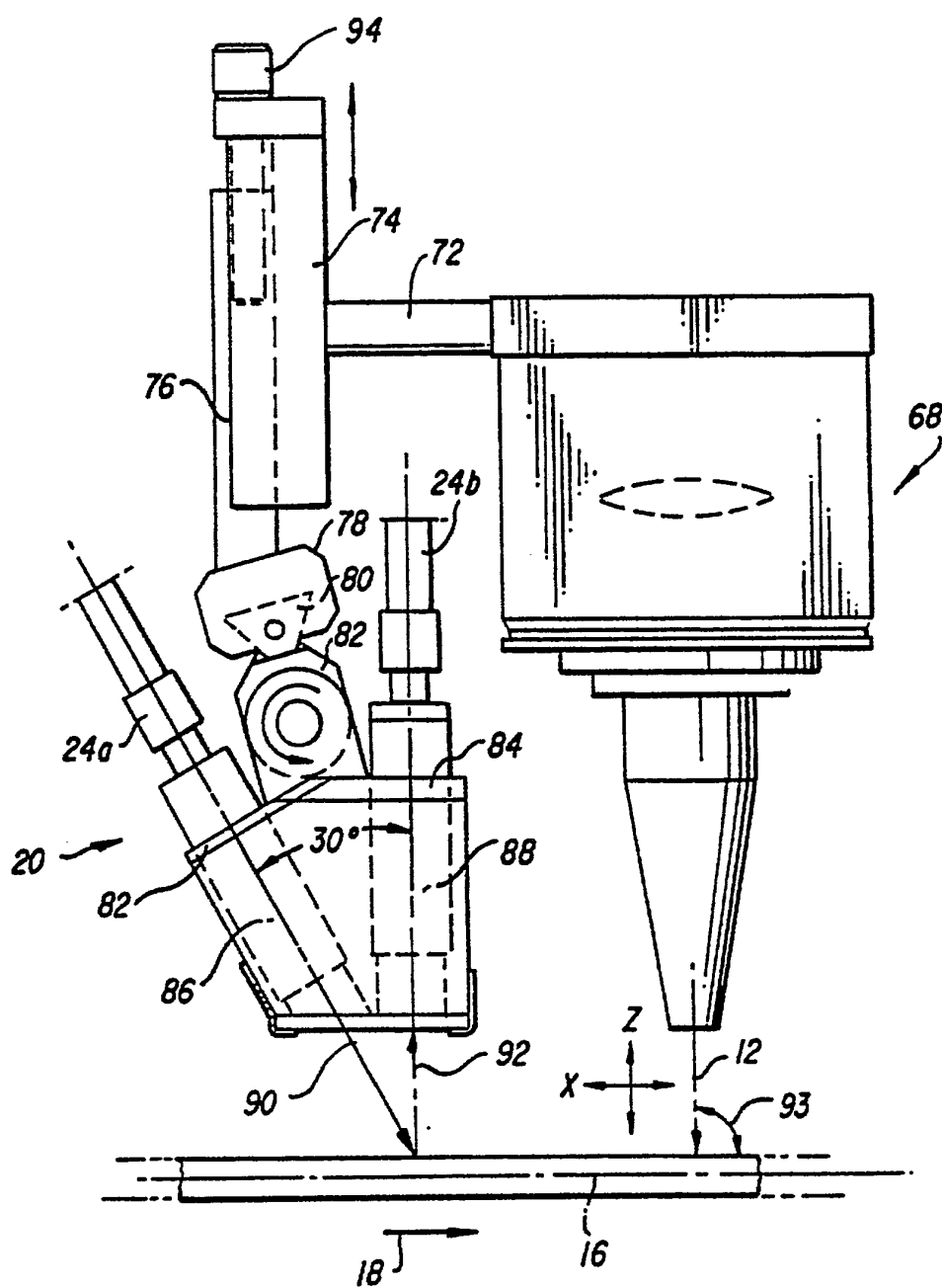


FIG. 3

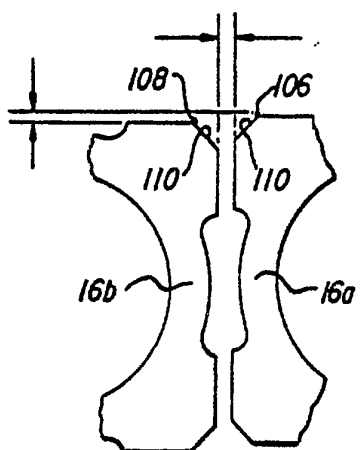
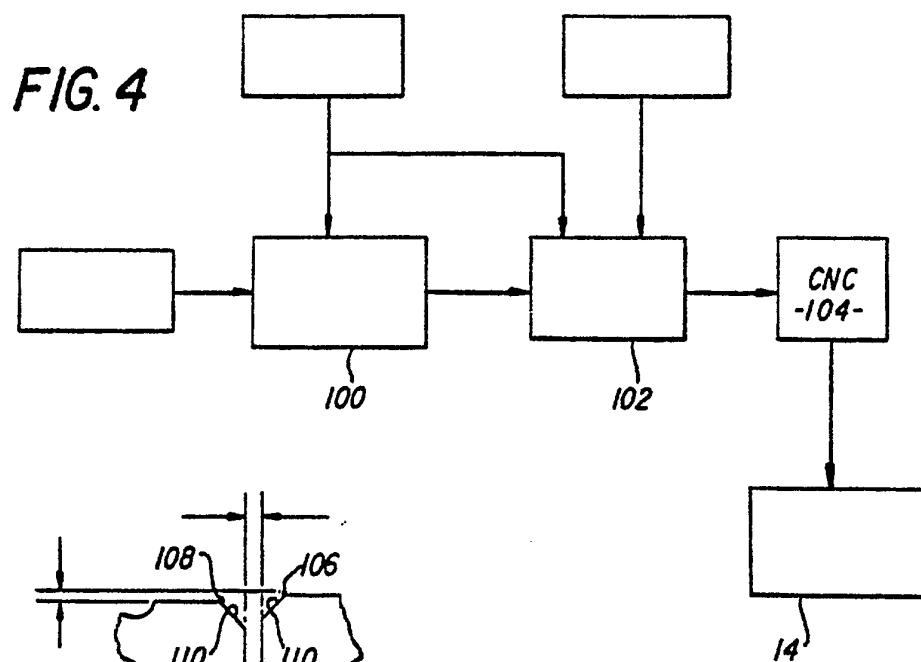


FIG. 5

FIG. 6A

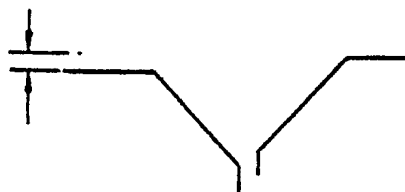


FIG. 6B

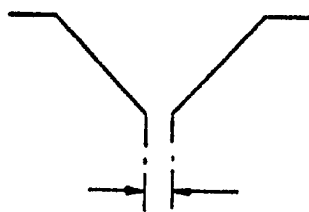


FIG. 6C