



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 18 782 T2 2004.12.02**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 005 941 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 18 782.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 309 485.3**

(96) Europäischer Anmeldetag: **26.11.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **07.06.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **21.07.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **02.12.2004**

(51) Int Cl.⁷: **B23K 9/04**
B23K 26/00

(30) Unionspriorität:

9826728 04.12.1998 GB

(73) Patentinhaber:

Rolls-Royce plc, London, GB

(74) Vertreter:

**Patentanwälte Wallach, Koch & Partner, 80339
München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**Stone, Kevin Henry, Chellaston, Derby DE73 1RH,
GB; Pearce, Nigel Peter, Ashby de la Zouch,
Leicestersh. LE65 2LS, GB**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Werkstückes durch Auftragschweissen**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines Werkstücks durch Auftragsschweißung, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 (vergleiche beispielsweise DE-A-196 23 148). Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf das Verfahren zur gesteuerten Ablagerung von Metall, das verschiedentlich als Freiformschweißen, geformte Metallablagerung, schnelle Prototyp-Erzeugung durch Schweißen oder ähnliche Namen bezeichnet wird.

[0002] Ein Beispiel eines Verfahrens einer gesteuerten Schweißablagerung von Metall, wie oben erwähnt, ist in der US-PS 5,233,150 (entsprechend EP-A-0 496 181) beschrieben. Es gibt eine große Zahl von anderen Publikationen, von denen einige ein früheres Datum haben, die ähnliche Verfahren beschreiben. Der Leser soll daher im Interesse der Kürze mit den Grundtechniken dieses Verfahrens vertraut gemacht werden. Zusammenfassend wird gemäß einem derartigen bekannten Verfahren ein 3D CAD (Computer Aided Design) Modell des Werkstücks erzeugt, das Einzelheiten der Geometrie enthält. Dieses CAD-Modell des Werkstücks wird dann in einem Computer-System in eine Anzahl charakteristischer ebener Schichten geschnitten. Für jede Schicht bestimmt das Computer-System einen Kurs des Schweißverlaufes, der notwendig ist, um jene Schicht zu erzeugen. Im typischen Fall umfasst dies eine Darstellung jeder Schicht und eines Musters des Schweißverlaufs, um die Schicht auszufüllen. Ein Schweißbrenner, der von einem Mehrachsenroboter getragen wird, welcher seinerseits durch ein Computer-Steuersystem geleitet ist, wird dann so programmiert, dass er diesem Kurs des Schweißverlaufs folgt, wodurch eine Schicht auf dem Werkstück in Metall aufgetragen wird. Das Werkstück wird demgemäß aus einer Reihe von Schichten aufgebaut, von denen die eine über der anderen liegt, und zwar beginnend bei einer ersten Schicht, die auf einem Arbeitstisch des Schweißroboters abgelagert wird.

[0003] Die Computer-Programme zum Zerschneiden eines 3D CAD Modells in eine Anzahl von Schichten, zur aufeinanderfolgenden Benutzung in den oben beschriebenen Verfahren, werden komplex und schwierig in der praktischen Anwendung bei der Erzeugung komplexer praktischer Werkstücke und Bauteile. Die Verfahren zur Steuerung der Roboter-Schweißeinrichtung gemäß dem Stand der Technik bei der Auftragsschweißung, sind ebenfalls aufwendig und nicht ideal.

[0004] Die DE-A-196 23 148 beschreibt ein Verfahren zur Erzeugung und Wiederinstandsetzung hohler Metallform-Werkzeuge. Eine Installation, die geeignet ist zur Durchführung dieses Verfahrens besitzt ein CAD-System, ein Bearbeitungs-Simulationssystem,

ein Roboter-Simulations-System, eine CNC-Fräsmaschine und eine Schweiß-Roboter-Installation. Die Schweiß-Geometrie wird durch ein Schneid-Simulations-System berechnet, basierend auf einem CNC-Programm, das vergrößerte Werkzeuge benutzt. Das CAD-Modell der Schweiß-Geometrie wird dann auf ein Roboter-Simulations-System übertragen. Das CAD-Modell wird in Abschnitte konstanter Ausrichtung aufgeteilt, basierend auf spezifischen Werten des Benutzers. Das Roboter-Simulations-System bestimmt dann die zu verschweißenden Spuren und Werte, die vom Benutzer angegeben werden. Infolgedessen ergibt sich ein beträchtlicher Aufwand bei der Übertragung der Geometrie und es ist ein erheblicher manueller Eingang erforderlich.

[0005] Es ist daher erwünscht ein verbessertes Verfahren und eine verbesserte Vorrichtung zur Verfügung zu haben, um einen Roboter zu steuern und zu programmieren, der benutzt wird, um ein Werkstück durch Auftragsschweißung herzustellen, wobei die obigen Probleme Berücksichtigung finden und/oder allgemein Verbesserungen erzielt werden.

[0006] Gemäß der vorliegenden Erfindung betrifft diese ein Verfahren zur Herstellung eines Werkstücks, wie in Anspruch 1 angegeben.

[0007] Vorzugsweise ist der Schweißkopf im Betrieb derart angeordnet, dass er bei der Bearbeitung des Schweißkopfes im wesentlichen vertikal steht, um eine Schweißwulst abzulagern, und der Werkstisch wird geneigt, um die erforderliche relative Werkzeugorientierung herbeizuführen.

[0008] Die Dekonstruktion des dreidimensionalen Modells wird unter Benutzung eines computerunterstützten Bearbeitungssystems durchgeführt. Die Computer-Repräsentation des Werkzeugs kann eine Repräsentation eines Fräasers sein, der ein vergleichsweise inkrementelles Volumen entfernt, wie es vom Schweißkopf aufgesetzt wird.

[0009] Der Roboter kann mehr Freiheitsgrade der Bewegung aufweisen, als durch den Algorithmus definiert werden, der das dreidimensionale Volumenmodell des Werkstücks dekonstruiert, und das Verfahren kann die folgenden zusätzlichen Schritte aufweisen:

es wird ein Interface-Computerprogramm innerhalb eines Computers durchgeführt, das die zweite Datendatei liest und einen weiteren Algorithmus durchführt, der weitere benutzerspezifische Beschränkungen der Bewegung des Roboters benutzt, um die zweite Datendatei zu ändern, bevor sie von den Roboter-Steuermitteln benutzt wird.

[0010] Vorzugsweise spezifizieren die weiteren benutzerspezifischen Beschränkungen eine Drehstellung und Orientierung des Werkzeugs um einen

Werkzeugvektor. Weiter kann die Drehstellung und Orientierung des Werkzeugs um einen Werkzeugvektor auf die Bewegungsrichtung des Werkzeugs relativ zum Werkstück, wenigstens während eines Teils der Arbeitsweise des Roboters, ausgerichtet werden. Stattdessen kann die Drehstellung und die Orientierung des Werkzeugs um einen Werkzeugvektor, während wenigstens eines Teils der Arbeitsweise des Roboters, relativ zum Roboter fixiert sein.

[0011] Der Algorithmus, der das dreidimensionale Volumenmodell dekonstruiert, kann bis zu fünf Freiheits-Grade der Bewegung des Roboters definieren.

[0012] Vorzugsweise besitzt der Roboter eine größere Zahl von Bewegungsachsen als durch den Algorithmus definiert, der das dreidimensionale Volumenmodell des Werkstücks dekonstruiert, und das Verfahren weist die folgenden zusätzlichen Schritte auf:

es wird ein Interface-Computerprogramm innerhalb eines Computers durchgeführt, das die zweite Datendatei ausliest, und einen weiteren Algorithmus durchführt, der weitere benutzerspezifische Beschränkungen der Bewegung des Roboters um die Achsen benutzt, um die zweite Datendatei zu ändern, bevor sie durch die Roboter-Steuermittel benutzt wird. Der Roboter kann neun Bewegungsachsen aufweisen.

[0013] Vorzugsweise wird das dreidimensionale Volumenmodell des Werkstücks, das durch die erste Datendatei definiert ist, zunächst in eine Anzahl von Abschnitten unterteilt, und es wird dann jeder Abschnitt in getrennten ersten Datendateien aufgezeichnet, die dann aufeinanderfolgend durch weitere Schritte des Verfahrens abgearbeitet werden. Weiter können alle achssymmetrischen Formen, die in dem dreidimensionalen Volumenmodell des Werkstücks enthalten sind, innerhalb des Algorithmus identifiziert werden, der das dreidimensionale Volumenmodell dekonstruiert, und es können der zweiten Datendatei Instruktionen derart zugeführt werden, dass die Steuermittel den Werkstisch des Roboters drehen, um derartige Formen zu erzeugen.

[0014] Vorzugsweise steuert der Algorithmus, der das dreidimensionale Volumenmodell des Werkstücks dekonstruiert, das Werkzeug derart, dass es im wesentlichen normal zu dem Pfad steht, der durch das Werkstück definiert ist.

[0015] Vorzugsweise legt der Schweißkopf eine metallische Schweißwulst ab. Vorzugsweise wird ein elektrischer Lichtbogen-Schweißkopf benutzt. Ein Metall-Inert-Gas-(MIG)-Schweißkopf kann benutzt werden. Stattdessen kann ein Wolfram-Inert-Gas-(TIG)-Schweißkopf benutzt werden. Stattdessen kann auch ein Laser-Schweißkopf Verwendung finden.

[0016] Nachstehend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung beschrieben. In der Zeichnung zeigen:

[0017] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung der Vorrichtung, wie sie bei einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung benutzt wird;

[0018] Fig. 2 ist ein Flußdiagramm, welches die verschiedenen Schritte des Verfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0019] Fig. 3 veranschaulicht das bei einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens benutzte Koordinatensystem; die

[0020] Fig. 4A und 4B sind schematische Darstellungen der Orientierung eines Werkzeugvektors, die bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung benutzt werden;

[0021] Fig. 5 ist eine bildliche Darstellung der Orientierung und Positionierung einer Schweißebene, die bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung benutzt wird;

[0022] Fig. 6 ist eine schematische Darstellung eines beispielsweise Schweißablagepfades gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0023] Fig. 7 ist eine schematische Darstellung der Werkzeugpfade, die durch das CAM System von einem CAD Modell erzeugt werden.

[0024] Fig. 1 zeigt die Ausrüstung zum Herstellen eines metallischen Werkstücks durch Auftragschweißung. Ein Computer **6** schickt Befehle über eine Steuerleitung **32** nach dem Robotersteuergerät **4**, das einen Schweißroboter **2** über Steuerleitungen **34**, **36** steuert und antreibt. Der Roboter **2** weist einen Roboterarm **10** auf, der hängend von einem Gerüst **1** herabhängt, und der Roboter weist außerdem ein drehbares und neigbares Arbeitstischmodul **9** auf. Am Ende **19** des Roboterarms **10** befindet sich ein Schweißbrenner **16**, der an eine geeignete Schweißeinrichtung **8** angeschlossen ist, die ebenfalls durch das Robotersteuergerät **4** und den Computer **6** gesteuert wird. Der Schweißbrenner **16** steht unter der Steuerung des Robotersteuergeräts **4** und unter dem Computer **6**, um Schweißmaterial auf dem Arbeitstisch **12** des Arbeitstischmoduls **9** abzulagern, und um dadurch ein nicht dargestelltes Werkstück in Metall aufzubauen.

[0025] Der Roboterarm **10** weist mehrere miteinander verbundene Abschnitte auf, die relativ zueinander durch nicht dargestellte Antriebe beweglich sind, die unter der Steuerung des Robotersteuergeräts **4** betätigt werden. Der Roboterarm **10** ist in der Lage,

Bewegungen um sechs Achsen **21, 22, 23, 24, 25, 26** durchzuführen. Die Bewegung der verschiedenen Abschnitte des Arms **10** um die Achsen **21** bis **26** sind durch Pfeile A, B, C, D, E, F gekennzeichnet. Der Arm **10** als ganzes kann außerdem in Vertikalrichtung relativ zu dem Gestell **1**, längs der Achse **29**, bewegt werden, wie dies durch den Pfeil **1** dargestellt ist. Das Werkstückmodul **9** ist vor und innerhalb des Arbeitsbereichs des Arms **10** montiert. Weitere nicht dargestellte Antriebe innerhalb dieses Moduls **9** bewirken eine Drehung des Werkstücks **12** um eine weitere Achse **28**, wie durch den Pfeil H dargestellt, und eine Neigung des Werkstücks **12** um die Achse **27**, wie durch den Pfeil G dargestellt. Die Drehachse **28** ist auf der Neigungsachse **27** montiert. Der Roboter **2** hat daher insgesamt neun Bewegungsachsen **21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29** und kann den Schweißbrenner **16** relativ zum Werkstück **12** und relativ zu Komponenten darauf, mit einem beträchtlichen Ausmaß an Flexibilität positionieren und orientieren. Die Benutzung einer Neun-Achsen-Maschine ermöglicht insbesondere eine korrekte relative Lage von Werkstück und Schweißbrenner und eine richtige Orientierung, wobei der Schweißbrenner immer vertikal oder nahezu vertikal verbleibt. Es ist im Stand der Technik bekannt, dass es vorteilhaft ist, während der Auftragsschweißung den Schweißbrenner **16** vertikal zu halten, um die Ablagerung von Schweißmaterial zu verbessern und um zu bewirken, dass das geschmolzene Schweißmaterial auf dem Werkstück **12** oder dem Werkstück aufgetragen wird.

[0026] Ein Beispiel eines derartigen Neun-Achsen-Roboters **2** wird durch Reis Robotics GmbH (Obernburg, Deutschland) hergestellt, wobei der Reis SRV16 Roboterarm von einem Gestell hängend sich um 1 m vertikal bewegen kann, und mit dem Reis RDK26 Dreh/Neig-Tischmodul **9** gekuppelt ist. Der gesamte Roboter **2** wird durch ein Reis-Roboter-Steuergerät **4** gesteuert.

[0027] Der Schweißbrenner **16** ist ein Lichtbogen-Schweißgerät und im typischen Fall ein MIG (Metall-inertes-Gas) oder ein TIG (Wolfram-inertes-Gas). Der Schweißbrenner **16** wird von der Schweißvorrichtung **8** mit Leistung, mit einem Schweißdraht und einem Schutzgas über eine Zuführung **18** gespeist. Es ist klar, dass auch andere Typen von Schweißvorrichtungen oder Schweißausrüstungen **8** benutzt werden können, beispielsweise könnte ein Laser-Schweißgerät benutzt werden.

[0028] Nunmehr wird auf **Fig. 2** Bezug genommen. Der erste Schritt des Verfahrens besteht in der Erzeugung eines CAD (Computer Aided Design) Modells **60** des Werkstücks, in Form eines Computer-Files oder Daten innerhalb eines Computer-Speichers. Das CAD Modell **60** enthält alle geometrischen Einzelheiten (zum Beispiel Größe, Gestalt und Lage) des herzustellenden Werkstücks. Es kann irgendeine

geeignete Form einer CAD-Geometrie benutzt werden, einschließlich Drahtrahmen; Freiform-Oberfläche und massives Modell. Die CAD-Geometrie kann entweder explizit oder in parametrischer Form vorliegen. Das CAD-Modell **60** wird unter Benutzung eines herkömmlichen CAD-Systems **40** erzeugt, welches in Verbindung mit einem geeigneten herkömmlichen Computer **6** arbeitet. Ein Beispiel eines derartigen CAD-Systems **40** ist CADD5 (hergestellt von Parametric Technology Corporation of Waltham, Massachusetts, USA), der mit einem Hewlett Packard HP 715/100 Workstation Computer **6** zusammenwirkt.

[0029] Im Interesse einer Kurzbeschreibung wird angenommen, dass ein Fachmann auf diesem Gebiet mit derartigen bekannten CAD-Systemen **40** vertraut ist. Es wird jedoch auch auf Betriebs-Manuals derartiger Systeme **40** im Hinblick auf allgemeine Einzelheiten derartiger Systeme **40** Bezug genommen.

[0030] Das CAD Modell **60** wird dann in einen CAM (Computer Aided Manufacturing) System **42** eingelesen, das benutzt wird, um einen Schweiß-Werkzeugpfad **90** zu erzeugen. Der Schweiß-Werkzeugpfad **90** ist jener Pfad, dem der Schweißbrenner **16** folgt, um eine Schweißwulst gewünschter Form des Werkstücks abzulagern, das durch das CAD Modell **60** repräsentiert ist. Das CAM System **42**, das bei diesem Verfahren benutzt wird, ist ein herkömmliches computer-unterstütztes CNC (Computer numerisch gesteuert) Off-line-part-Programm-Package für Fräs- oder maschinelle Bearbeitungen. Derartige Packages werden allgemein benutzt, um den Pfad eines Fräasers oder eines ähnlichen Bearbeitungswerkzeugs zu definieren, um einen Gegenstand und ein Volumen, das durch eine eingegebene Geometrie repräsentiert wird, zu bearbeiten. Ein Beispiel eines solchen Systems ist das CVNC-System, ein 2 1/2 bis 5 Achsen-Fräs-Package, das ebenfalls von Parametric Technology Corporation, Waltham, Massachusetts, USA erzeugt wird. Wiederum soll im Interesse der Kürze angenommen werden, dass der Fachmann mit einem solchen CAM-System **42** vertraut ist und es wird Bezug genommen auf die Betriebs-Manuals derartiger Systeme **42**, im Hinblick auf allgemeine und spezifische Einzelheiten dieser Systeme **42**.

[0031] Der Ausgang **62** derartiger Systeme **42** ist ein Computer-File oder es sind Daten innerhalb eines Computer-Speichers, die eine Reihe von x, y, z Koordinaten enthalten, welche verschiedene Positionen **72** definieren, die vom Werkzeug durchlaufen werden sollten, und es sind i, j, k Werte für jede x, y, z Koordinaten-Position **72** gespeichert. Die i, j, k Werte definieren einen Werkzeugvektor **74** oder eine Orientierung des Werkzeugs an jeder x, y, z Koordinaten-Position **72**. Die Beziehung zwischen diesen Werten und wie diese i, j, k Werte den Werkzeugvektor **74** de-

finieren, ist in **Fig. 3** dargestellt. Grundsätzlich definieren die Koordinaten x, y, z einen ersten Punkt **72** im Raum, der von einem festen Ursprung O entfernt liegt. Dieser Ursprung O ist das Zentrum des Robotertisches **12**, wobei die x, y, z Achsen dieses Koordinatensystems relativ zu dem Robotertisch **12** festliegen und sich so mit diesem drehen und neigen. Die i, j, k Koordinaten liefern dann einen zweiten Punkt **76** im Raum, der von dem ersten Punkt **72** entfernt liegt, und den ersten Punkt **72** als Ursprung der i, j, k Koordinaten benutzt, wobei die i, j, k Achsen dieses Koordinatensystems auf die jeweiligen x, y, z Achsen ausgerichtet sind. Ein Vektor **74**, der Werkzeug-Vektor, wird dann zwischen diesen zwei Punkten **72, 76** definiert. Dieser Werkzeug-Vektor **74** repräsentiert die Orientierung des Werkzeugs relativ zum Werkstück **12** und deshalb relativ zu der Komponenten-Orientierung. Obgleich die x, y, z und i, j, k Koordinatensysteme, wie sie dargestellt und beschrieben sind, ein Cartesisches System mit senkrecht aufeinanderstehenden Achsen bilden, so können auch andere geeignete Koordinatensysteme in gleicher Weise benutzt werden, um die Werkzeug-Position und einen Werkzeug-Vektor zu erzeugen.

[0032] Unter Benutzung des CVNC CAM-Systems **42** wird ein fiktives Schneidwerkzeug um das CAD-Modell **60** des Werkstücks herum angetrieben, indem das CAM-System **42** so gerichtet wird, dass die Geometrie und das innere Volumen des CAD-Modells **60** bearbeitet wird. Dies kann entweder automatisch innerhalb des CAM-Systems **42** oder interaktiv geschehen, indem der Operator den automatischen Pfad einstellt, der vom CAM-System **42** erzeugt wird. Im Effekt wird das CAM-System **42** so gerichtet, dass das CAD-Modell **60** aus einem Volumen bearbeitet wird, das jenes CAD-Modell **60** umschließt. Es ist klar, dass der Bearbeitungspfad ganz einfach das Negativ eines Ablagerungspfades ist, und dass die gleichen Positionsdaten usw. für beide Verfahren benutzt werden können.

[0033] Für komplexe CAD-Modelle **60** wird der fiktive Fräser um getrennte Abschnitte des Modells **60** in Stufen angetrieben. Dies geschieht in ähnlicher Weise wie dann, wenn das CAM-System **42** benutzt würde, um einen herkömmlichen Bearbeitungs-Werkzeug-Pfad für ein komplexes Werkstück zu erzeugen, wobei das Maschinen-Werkzeug (Fräser) so gerichtet wird, dass zunächst eine grobe Bearbeitung erfolgt, und danach eine Bearbeitung des erforderlichen Details. Um beispielsweise ein Werkstück zu erzeugen, das einen allgemein zylindrischen Haupt-Abschnitt **104** mit einer Anzahl radial vorstehender Ansätze **106** aufweist, die über die Außenseite des Haupt-Abschnitts **104** verteilt sind, wird der fiktive Fräser des CAM-Systems **42** um den zylindrischen Hauptabschnitt **104** zuerst angetrieben. Dann wird der fiktive Fräser um jeden der Ansätze **106** herum angetrieben. Das Ergebnis hiervon ist eine An-

zahl von Bearbeitungs-Werkzeugpfaden **90, 91** für jeden Abschnitt **104, 106** mit einem Verbindungs-Bewegungspfad **105** dazwischen, wie aus **Fig. 7** ersichtlich. Die vollständigen Werkzeugpfade **90, 91**, die auf diese Weise für komplexe CAD-Modelle **60** erzeugt werden, sind im allgemeinen einfacher und leichter zu erzeugen, als einen einzigen Pfad **90** für das gesamte komplexe CAD-Modell zu erzeugen. Wenn sich Merkmale des Werkstücks innerhalb des komplexen Modells wiederholen, beispielsweise eine Anzahl identischer Ansätze um den zylindrischen Hauptabschnitt **104** herum, dann kann der Werkzeugpfad **90, 91** zur Erzeugung des einen Abschnitts oder eines Merkmals gespeichert werden. Eine Übertragung auf die nächste Position kann dann eingestellt werden, und der Pfad für das sich wiederholende gleiche Merkmal wird auf die neue übertragene Position wiederholt, um die erforderliche Werkzeugpfad-Information für das weitere sich wiederholende Merkmal zu liefern. Dies vermindert die Programmierungszeit und die Komplexität der Dekonstruktion durch Benutzung eines vorher berechneten Werkzeugpfades für ein bestimmtes Merkmal. Weitere Merkmale, die einer Anzahl unterschiedlicher Komponenten oder Werkstücke gemeinsam sind, können gespeichert und bei Bedarf benutzt werden, um jene Merkmale in unterschiedlichen Werkstücken zu erzeugen. Beispielsweise kann der Pfad **90, 91** zur Erzeugung eines Vorsprungs gespeichert und einfach auf die erforderliche Position übertragen werden, um ähnliche Vorsprünge auf einem Bereich unterschiedlicher Werkstücke zu erzeugen.

[0034] Die individuellen Werkzeugpfade **90, 91** und die Orientierung des fiktiven Fräasers (und demgemäß des Schweißbrenners) für jeden Abschnitt **104, 106** kann ebenso für die jeweilige Gestalt jenes Abschnitts **104, 106** optimiert werden. Bei dem obigen Ausführungsbeispiel wird beispielsweise der fiktive Fräser um die Ansätze **106** herum angetrieben und der Werkzeugpfad **91** wird im wesentlichen senkrecht zur Orientierung erzeugt, die für den Hauptabschnitt **104** benutzt wird. Da ein CAM-Bearbeitungssystem **42** benutzt wird, um die Werkzeugpfade **90, 91** für die verschiedenen Abschnitte **104, 106** zu erzeugen, tendieren die getrennten Werkzeugpfade **90, 91** zu einer Überschneidung bzw. Überlappung. Der Grund dafür liegt darin, weil bei Bearbeitungs-Operationen ein vorher bearbeiteter Bereich allgemein als Startpunkt für jede nachfolgende Bearbeitung benutzt wird, die erforderlich ist. Bei dem Schweißablagereungsverfahren muß die Schweißwulst auf einer festen Oberfläche abgelagert werden. Dies ist entweder der Arbeitstisch **12** oder ein vorher abgelagerter Abschnitt. Wenn, infolgedessen, der Schweiß-Werkzeugpfad **90, 91** für ein komplexes CAD-Modell **60** in Abschnitten **104, 106** erzeugt wird, müssen diese Abschnitte **104, 106** sich überschneiden bzw. überlappen. Es ist ersichtlich, dass dieses Erfordernis erfüllt wird, durch Benutzung eines CAM-Bearbeitungssys-

tems **42**, wie oben beschrieben. Dies ist nicht notwendigerweise der Fall bei einigen der anderen bekannten Verfahren, wo gewisse Teile der abgelagerten Schweißwulst getrennt durch verschiedene Träger abgestützt werden, wie dies beispielsweise in der US-PS 5,233,150 und EP 0,529,816 beschrieben ist.

[0035] Der fiktive Fräser innerhalb des CAM-Systems **42** wird bei diesem Verfahren benutzt, um den Schweißbrenner **16** zu repräsentieren. Demgemäß wird ein Fräser gewählt, der eine gleiche Menge von Material abträgt, die durch den Schweißbrenner **16** aufgetragen wird. Beispielsweise wird ein Fräs Werkzeug mit einem 6 mm Kugelende benutzt, um einen Schweißbrenner **16** zu repräsentieren, der eine 6 mm breite Schweißwulst ablageren würde. Der fiktive Fräser wird außerdem innerhalb des CAM-Systems **42** so eingestellt, dass er normal zur Oberfläche des Werkstücks oder des Werkzeugs **12** in Berührung mit der Spitze des Werkzeugs steht. Dies ist erforderlich, da während der Schweißablagerung der Schweißbrenner **16** im wesentlichen normal zur Schweißwulst stehen muß, die von ihm abgelagert wird.

[0036] Diejenigen Teile des Pfads **90**, wo das CAM-System **42** bestimmt, dass eine Bearbeitung stattfindet, sind demgemäß nach diesem Verfahren die Bereiche, wo eine Schweißablagerung erforderlich ist. Infolgedessen können die Funktionen des CAM-Systems **42**, die sich auf die Bearbeitung beziehen, benutzt, ergänzt und durch die folgenden Schritte des Steuersystems als Schweißkommandos interpretiert werden, wo dies zweckmäßig ist. Beispielsweise ermöglicht CVNC die Benutzung einer Versetzung nach dem fiktiven Fräserdurchmesser, und falls erforderlich, auf dessen Länge. Dies bedeutet, dass der Fräser so programmiert werden kann, dass er mit einem eingegebenen Betrag von der Geometrie im Abstand steht. Dies ist nützlich, beispielsweise beim Lichtbogen-Schweißen, wo der Schweißbrenner **16** in einem Abstand von dem Werkstück oder dem Werkzeugs **12** derart gehalten werden muß, dass ein Lichtbogen zwischen der Spitze des Schweißbrenners **16** und dem Werkzeugs **12** oder dem Werkstück gezogen wird. Innerhalb des Robotersteuergeräts gibt es auch Oszillationsbefehle, die das Werkzeug um einen erforderlichen Werkzeugpfad oszillieren lassen. Dieser Befehl kann auch vorteilhafter Weise benutzt werden, wenn das System benutzt wird, um eine Schweißung abzulagern, wo eine derartige Oszillation benutzt werden kann, um eine größere Materialmenge längs des Werkzeugpfades **90** abzulagern. Eine derartige Oszillation, die der Ablagerung einer breiteren Wulst des Materials dient, kann innerhalb des CAM-Package **42** in der Form eines breiteren Werkzeugs erkannt werden, das eine größere Materialmenge vom Modell innerhalb eines einzigen Durchlaufs abträgt.

[0037] Begrifflich ist die Benutzung eines CAM-Bear-

arbeitungssystems **42** zur Erzeugung eines Werkzeugpfades **90** zur Benutzung bei der Schweißablagerung sehr unterschiedlich von den bekannten Verfahren der Erzeugung derartiger Werkzeugpfade zur Benutzung bei der Auftragsschweißung. Bei den bekannten Verfahren, wie sie unter anderem in der US-PS 5,233,150 beschrieben sind, wird das CAD-Modell **60** in eine Zahl von Schichten aufgeschnitten. Dies geschieht durch Durchschneiden einer Ebene mit einem massiven CAD-Modell **60** des Werkstücks, um eine zusätzliche Geometrie für jede Schicht zu erzeugen. Dann wird eine getrennte Füllstrategie für das Auftragen von Schweißmaterial berechnet, wodurch jede Schicht gebildet wird. Eine derartige Aufteilung in dünnen Schichten ist sehr zeitraubend und außerdem für verschiedene Werkstücke nicht adaptierbar. Bei komplexen CAD-Modellen **60** kann das „Scheibchen“-Verfahren auch komplexe und gelegentlich nicht verbundene Profile erzeugen, und ebenso Werkzeugpfade. Derartige Profile und Werkzeugpfade sind unerwünscht und können (wie oben beschrieben) eine zeitweise Abstützstruktur erfordern. Außerdem erzeugen derartige „Scheibchen“-Systeme allgemein nur x, y, z Werkzeug-Positionskordinaten für den Auftragspfad. Sie erzeugen nicht und ermöglichen auch nicht eine einfache Erzeugung einer variablen Werkzeugvektor **74** Information, wie dies später erläutert wird und erforderlich ist, um die korrekte Orientierung des Schweißbrenners **16** während des Schweißvorgangs zu gewährleisten. Die Benutzung eines CAM-Bearbeitungssystems **42** spricht diese beiden Probleme an und die Erkenntnis, dass ein derartiges CAM-Bearbeitungssystem **42** benutzt werden kann, um eine Auftragschweißung durchzuführen, ist ein wichtiger Aspekt der Erfindung. Die Erkenntnis, dass ein CAM-Bearbeitungssystem **42** für eine Auftragsschweißung nützlich sein kann, basiert zum Teil darauf, dass eine Bearbeitung und damit ein Abtragen von Material die Umkehr oder das Negativum davon ist, Material durch Schweißen aufzutragen, und dass ein Schweißbrenner **16** durch einen geeigneten Fräser repräsentiert werden kann.

[0038] Der Ausgang des CVNC-CAM-Systems **42** ist ein File **62** der Werkzeugpfad-Daten, die aus einer Reihe von x, y, z Koordinaten und i, j, k Werten bestehen, die den Werkzeugvektor **74** definieren. Der Ausgang **62** gibt den Pfad **90** an, der für die Durchführung des Werkzeugs erforderlich ist. Er beschreibt jedoch nicht, wie der Roboter **2** den erforderlichen Pfad **90** durchführen soll. Der Ausgang **62** ist auch nicht in einer Form, die vom Roboter-Programm-Package **46** und/oder dem Roboter-Steuergerät **4** verstanden wird. Außerdem werden derartige CAM-Systeme **42** allgemein benutzt, um eine Werkzeugpfad-Information **62** für Fräser- oder Bearbeitungs-Roboter zu liefern. Bei derartigen Fräs- oder Bearbeitungs-Robotern sind gewöhnlich maximal fünf Freiheitsgrade zur Beschreibung nötig, da der Fräser in einem der Frei-

heitsgrade umläuft. Für einen Schweiß-Roboter müssen jedoch sechs Freiheitsgrade vorhanden sein. Außerdem haben derartige Fräs- oder Bearbeitungs-Roboter weniger Bewegungsachsen und im allgemeinen weniger als die neun Achsen, die beim Schweiß-Roboter **2** bei diesem Ausführungsbeispiel erforderlich sind, und im typischen Fall sind beim Stand der Technik nur maximal fünf Achsen vorhanden. Beispielsweise ist das CVNC-Package zur Benutzung mit 2 1/2 bis 5-achsigen Fräsmaschinen ausgebildet. Infolgedessen müssen weitere Beschränkungen wie der Roboter **2** den erforderlichen Werkzeugpfad **90** durchführen sollte, beschrieben werden, um die Definition des übrigen sechsten Freiheitsgrades (in diesem Fall die Drehung um die Werkzeugachse) zu unterstützen, und um die Beschreibung der Position/Bewegung der Roboterachsen A bis G zu unterstützen. Es müssen auch spezielle Kommandos und Funktionen vorgesehen werden, die erforderlich sind, um eine Auftragsschweißung durchzuführen und ein Werkstück aufzubauen.

[0039] Infolgedessen wird der Werkzeugpfad-Informationsausgang **62** vom CAM-System **42** auf einen Schweiß-Nachbearbeitungs-Prozessor **44** übertragen. Wie aus dem Stand der Technik bekannt, wandeln derartige Nachbearbeitungs-Prozessoren **44** den Ausgang **62** von CAM-Systemen **42** in eine Form um, die von einem Roboter-Programmierungs-Package **46** und/oder einem Robotersteuergerät **4** verstanden wird. Der Nachbearbeitungs-Prozessor **44** wirkt auf die Werkzeugpfad-Information **62**, und verschiedene Schlüsselworte ein, die in der Werkzeugpfad-Information enthalten sind, wobei verschiedene Algorithmen und Regeln benutzt werden, um einen Ausgang **64** zu erzeugen. Diese Algorithmen und Regeln sind in einem herkömmlichen Computer-System eingebettet. Die Funktion der in dem Nachbearbeitungs-Prozessor **44** benutzten Haupt-Algorithmen wird nunmehr beschrieben. Es ist klar, dass zusätzliche Algorithmen im Nachbearbeitungs-Prozessor **44** eingefügt werden können, um weitere Steuer-Parameter zur Steuerung des Roboters **2** und für die Auftragsschweißung einzustellen. Außerdem können weitere Schlüsselworte in den Werkzeugpfad-Informationsausgang **62** eingegeben werden. Weitere Algorithmen innerhalb des Nachbearbeitungs-Prozessors **44** arbeiten nach diesen Schlüsselworten.

[0040] Innerhalb des Nachbearbeitungs-Prozessors **44** werden Kommandos, die sich auf die Roboter-Bearbeitung beziehen und die zur Steuerung des Bearbeitungs-Werkzeugs und des Schweißroboters innerhalb der Werkzeugpfad-Information **62**, die vom CAM-System **42** erzeugt wird, üblich sind interpretiert und benutzt, um den Schweißroboter zu steuern. Beispielsweise werden Kommandos, um die Bearbeitung innerhalb des Werkzeugpfad-Informationsausgangs **62** vom CAM-Package **42** zu starten und anzuhalten, in Kommandos umgewandelt, um den

Schweißroboter **2** zu starten und anzuhalten.

[0041] Während der Auftragsschweißung ist es wichtig und vorteilhaft, den Schweißbrenner **16** vertikal zu halten. Um dies zu erreichen, spezifiziert der Schweiß-Nachbearbeitungs-Prozessor **44**, dass während des Schweißvorgangs der Werkzeugvektor **74** (der durch die i, j, k Koordinaten definiert ist) vertikal sein muß. Der Prozessor **44** stellt dann automatisch die Neigung G des Tisches **12** um die Achse **27** und die Drehung H des Tisches um die Achse **28** ein, um dieses Kriterium zu erfüllen, und um den Werkzeugvektor **74** relativ zum Tisch **12** und dem Werkstück darauf in der erforderlichen Orientierung zu halten. Dies ist in den Fig. 4a und 4b dargestellt. Fig. 4a zeigt die Orientierung des Tisches **12**, eines Werkstücks **70** darauf (in diesem Fall ein konisch gestaltetes Werkstück) und den Werkzeugvektor **74**, wie diese durch das CAM-System **42** bestimmt werden. Die Lage des Tisches wird dann innerhalb des Schweiß-Nachbearbeitungs-Prozessors **44**, gemäß Fig. 4b, derart eingestellt, dass der Werkzeugvektor **74** vertikal gehalten wird, während die erforderliche Orientierung relativ zum Werkstück **70** und zum Tisch **12** aufrechterhalten wird.

[0042] Algorithmen innerhalb des Schweiß-Nachbearbeitungs-Prozessors **44** benutzen auch eine theoretische Schweißebene **80**, um die Bewegung des Schweißbrenners **16** zu erzwingen. Hierdurch wird die Komplexität des gesamten Roboter-Steuersystems vermindert, und es wird eine zusätzliche Beschränkung auf die Bewegung des Schweißroboters **2** erzwungen, indem einige Freiheitsgrade der Bewegung des Roboters **2** wegfallen. Durch Begrenzung und Beschränkung der Bewegung des Roboters **2** innerhalb eines kleineren Bereichs, der durch die Schweißebene **80** definiert wird, ergibt sich eine Verbesserung, weil die Bewegung geringer ist, und die Wiederholbarkeit wird verbessert, da der Roboter **2** in dem gleichen Bereich arbeitet. Der Roboter **2** kann auch besser geeicht werden und sämtliche Fehler in der Bewegung können ausgeglichen und korrigiert werden, weil wiederum die Bewegung des Roboters **2** während der Arbeitsweise auf einen kontrollierten und definierten Bereich beschränkt ist. Außerdem gewährleistet die Benutzung der Schweißebene **80**, dass das Werkstück allgemein auf den Schweißbrenner und das Werkzeug **16** hinbewegt wird, anstatt den Roboter **2** nach Positionen am Werkstück hin zu bewegen.

[0043] Wie in Fig. 5 dargestellt, liegt die theoretische Schweißebene **80** senkrecht zur Neigungsachse **27** des Tisches und läuft durch den Mittelpunkt O des Tisches hindurch. Die Benutzung dieser Ebene **80** hat zur Folge, dass der Schweißnachbearbeitungs-Prozessor **44** automatisch angibt, dass der Tisch **12** um die Achse **28** zu drehen ist, bis die erforderliche x, y, z Position des Werkzeugpfades **90** auf

der Schweißebene **80** sitzt, wobei der Werkzeugvektor **74** auch in die Schweißebene **80** fällt, und noch vertikal liegt. Demgemäß wird der Schweißbrenner **16** während der Auftragsschweißung auf dieser theoretischen Ebene **80** gehalten, wobei sich der Roboter **2** um seine verschiedenen Achsen **21** bis **29** bewegt, so dass der erforderliche Pfad **90** geschaffen wird, und es wird der Schweißbrenner **16** so orientiert, wie durch den Werkzeugvektor **74** bestimmt ist. Um beispielsweise die im wesentlichen kreisförmigen Werkzeugpfade **90**, gemäß **Fig. 6** und **7**, auszuführen, wird der Schweißbrenner **16** gerichtet und in einer im wesentlichen festen Lage innerhalb der Schweißebene **80** positioniert, während der Tisch gemäß dem Pfeil **H** um die Achse **28** gedreht wird. Auf ähnliche Weise können andere achssymmetrische Pfade und auf diese Weise auch Komponenten erzeugt werden.

[0044] Nicht achssymmetrische, aber umständliche, Pfade können auch erreicht werden, indem der Tisch in Richtung des Pfeils **H** um die Achse **28** gedreht wird, und indem der Schweißbrenner **16**, falls dies erforderlich ist, seitlich innerhalb der Schweißebene **80** bewegt wird. Dieses Verfahren der Drehung des Tisches relativ zu dem Schweißbrenner **16** zur Erzeugung derartiger Pfade **90** ist wesentlich einfacher und leichter zu bewerkstelligen als den Roboterarm **10** so zu programmieren, dass er eine kreisförmige oder zirkulatorische Bewegung durchführt.

[0045] Der Schweißbrenner **16** des Roboters **2** kann um die Achse **26** gedreht werden, was wirkungsmäßig eine Drehung um den Werkzeugvektor **74** ist. Eine derartige Drehung um den Werkzeugvektor **74** wird innerhalb der CAM-Bearbeitungs- oder Frässysteme **42** nicht spezifiziert, da die bei der Bearbeitung benutzten Werkzeuge und Fräser um diese Achse **26** bei der Bearbeitung drehen. Eine Winkeldrehung um diese Achse **26** kann daher bei solchen Bearbeitungssystemen **42** nicht spezifiziert werden. Dies ist der sechste Freiheitsgrad, der nicht allgemein für Bearbeitungsoperationen spezifiziert wird. Mit MIG-Schweißbrennern wird die Winkelstellung des Schweißbrenners **16** um die Werkzeugachse **30** unwichtig, da die Schweißelektrode, die auch als aufzehrbarer Schweißdraht ausgebildet sein kann, zentral gegenüber dem Schweißbrenner **16** (und der Werkzeugachse **30**) liegt. Bei gewissen Schweißbrennern **16** ist die Winkellage des Schweißbrenners **16** um die Werkzeug/Schweißbrenner-Achse **74**, **30** wichtig. Insbesondere mit TIG-Schweißbrennern **16** gibt es eine zentrale Elektrode, und der Schweißdraht wird von einer Seite dem Schweißbrenner **16** zugeführt. Mit derartigen TIG-Schweißbrennern **16** wird die Auftragsschweißung verbessert, wenn der Schweißdraht auf die Bewegungsrichtung des Schweißbrenners **16** ausgerichtet ist. Dies ist auch der Fall bei gewissen Laser-Schweißtechniken, wo das Schweißmaterial und der Laserstrahlen von verschiedenen Seiten des Schweißbrenners **16** zuge-

führt werden. Ein Algorithmus innerhalb des Schweißnachbearbeitungs-Prozessors **44** bewirkt daher automatisch eine spezifizierte Orientierung des Werkzeugs und dreht das Werkzeug um den Werkzeug-Vektor **74** und die Achse **26**, wie dies erforderlich ist. So wird der sechste Freiheitsgrad der Bewegung definiert, der für den Schweißroboter **2** erforderlich ist. Unter Benutzung dieses Algorithmus wird das Werkzeug auf die relative Bewegungsrichtung des Werkzeugs **16** an dieser Stelle ausgerichtet. Stattdessen kann eine feste Orientierung relativ zur Bewegungsrichtung an jenem Punkt unter Benutzung des Algorithmus eingestellt werden, oder es kann eine absolute Orientierung des Schweißbrenners relativ zum Roboter eingestellt werden.

[0046] Der Roboter-Programmierungs-File-Ausgang **66** vom Schweißnachbearbeitungs-Prozessor **44** wird dann in ein Roboter-Programmierungs-Package **46** importiert. Ein Beispiel eines solchen Packages **46** ist GRASP, das von BYG Systems Ltd. (Nottingham, UK) geliefert wird. Dieses Roboter-Programmierungs-Package **46** benutzt eine vollständige elektronische Definition der Installation des Roboters **2**, um die Steuerprogramme zu verifizieren. Die Verifizierung wird benutzt, um den Schweißpfad **90** und die Bewegungsgeschwindigkeit, die Beschleunigung und das Erreichen des vollständigen Roboters **2** zu bestätigen. Zusätzlich wird gewährleistet, dass der Roboter **2** nicht mit verschiedenen Teilen der Installation und/oder dem Werkstück kollidiert. Das Package **46** prüft auch, ob es keine singulären Punkte und ein „Ausflippen“ der Roboterachsen **21–29** gibt. Alle undefinierten oder erzwungenen Positionen der Achsen **21–29** des Roboters **2** werden ebenfalls in diesem Package **46** spezifiziert, und die Positionen des Roboters **2** um die Achsen **21–29** werden aktuell berechnet.

[0047] Innerhalb des Roboter-Programmierungs-Packages **46** werden alle linearen Schritte **98** innerhalb des erforderlichen Pfade **90** identifiziert, wie in **Fig. 6** dargestellt. Bei der Durchführung derartiger linearer Schritte **98** während der Auftragschweißung wird der Schweißbrenner **16** in herkömmlicher Weise abgeschaltet, so dass kein Aufbau von abgelagertem Material an dieser Stelle erfolgt. Es hat sich gezeigt, dass dadurch eine Diskontinuität in dem aufgetragenen Werkstück erzeugt wird. Dies führt zu einer Porosität in dem aufgetragenen Werkstück und beeinträchtigt die Festigkeit des aufgetragenen Werkstücks. Außerdem ist die Diskontinuität im fertigen Werkstück sichtbar und beeinträchtigt die Oberflächengestalt des Werkstücks, was eine nachfolgende maschinelle Bearbeitung erfordert, um ein fertiges Werkstück in der richtigen Form und Oberflächenbearbeitung zu erhalten. Um diese Probleme zu vermeiden wurde erkannt, dass der Schweißauftrag im Idealfall kontinuierlich oder möglichst kontinuierlich sein sollte. Infolgedessen werden alle linearen

Schritte **98**, die im vorgesehenen Schweißablageungspfad **90** liegen, in dem Roboter-Programmierungs-Package **98** durch einen graduellen Pfad **100** ersetzt, der ohne Verweilen sich über eine Distanz ändert. Im typischen Fall und insbesondere für im wesentlichen kreisförmige Pfade **90** gemäß **Fig. 6**, wird der Schweißpfad **90** über einen Winkelsektor **102** des Bogens des Werkzeugpfads **90**, im typischen Fall über 40° , auf die nächste Höhe **92** schräg angehoben. Es ist klar, dass eine solche schräge Rampenbildung nicht auf kreisförmige Pfade **90** beschränkt ist, sondern für alle anderen Pfade benutzt werden könnte, wobei eine ähnliche graduelle Abschrägung über einen Abstand erfolgen könnte, der eine lineare Stufe **98** ersetzt. Auf diese Weise werden das aufzutragende Werkstück oder wenigstens wesentliche Abschnitte dieses Werkstücks aus einer kontinuierlichen Schweißwulst-Ablagerung aufgebaut.

[0048] Der Ausgang **66** des Roboter-Programmierungs-Package **46** wird dann durch den Roboter-Kontroller **4** benutzt, um eine Folge von Instruktionen **68** zu erzeugen, um die Antriebe um die Roboterachsen **21–29** derart zu betätigen, dass der Roboter **2** die erforderlichen Bewegungen durchführt. Der Roboter-Kontroller **4** ist speziell für den jeweiligen Roboter **2** ausgebildet. Beispielsweise wird ein Reis-Roboter-Kontroller **4**, der seine Instruktionen in Reis-Roboter-Sprache ausgibt, benutzt, um den oben beschriebenen Reis-Roboter **2** zu steuern.

[0049] Im Betrieb bewegt der Schweiß-Roboter **2** den Schweißbrenner **16** relativ zu dem Tisch **12**, über den vorbestimmten Pfad **90**. Dieser Pfad **90** kann, wie oben beschrieben, eine Anzahl von Abschnitten aufweisen. Der Pfad **90** hat irgendeine erforderliche Gestalt und ist nicht auf eine Kreisform begrenzt, wie diese in der Zeichnung dargestellt ist. Bei Aktivierung trägt der Schweißbrenner **16** eine Wulst aus Schweißmaterial auf dem Tisch **12**, auf den vorherigen Schweißauftragungen oder auf andere Werkstücke auf und folgt dem Pfad **90** des Schweißbrenners **16**. Der Schweißauftrag baut sich graduell auf, und es wird ein massives Metallwerkstück entsprechend der Geometrie des CAD-Modells **60** erzeugt.

[0050] Das oben beschriebene Verfahren hat den weiteren Vorteil, dass es, abgesehen vom Schweiß-Prozessor **44**, herkömmliche Computer-Systeme **40, 42, 46, 4, 2** benutzt, die allgemein verfügbar sind. Es ist klar, dass diese Systeme gemäß diesem Verfahren in unterschiedlicher, unkonventioneller Weise benutzt werden können. Die Erfahrung, die von anderen Anwendungen derartiger Systeme abgeleitet wird, kann dadurch verbessert werden, und das Steuersystem ist kosteneffektiver als die Entwicklung eines vollständig neuen, speziell angefertigten Steuersystems.

[0051] Unter Benutzung der obigen Verfahrensbe-

fehle und Schlüsselwörter für verschiedene Arbeitsweisen und Algorithmen, die innerhalb des Systems Verwendung finden, können diese einem anfänglichen Daten-File zugesetzt werden. Diese Schlüsselwörter und Befehle haben nur eine Wirkung auf einige der Algorithmen innerhalb des Verfahrens. Die Schlüsselwörter und die Befehle werden von anderen Algorithmen und Stufen innerhalb des Systems, für welche sie nicht relevant sind, ignoriert und nicht modifiziert. Die verschiedenen Algorithmen arbeiten mit diesem anfänglichen Daten-File, um schließlich detaillierte Steuerinstruktionen/Daten-Files zu erzeugen, um tatsächlich den Roboter **2** zu steuern und eine Schweißablagerung auf dem Werkstück zu erzeugen. Auf diese Weise stellt der anfängliche Daten-File, der die erforderlichen Schlüsselwörter und Befehle sowie die dreidimensionale Definition (Modell) des Werkstücks umfasst, eine vollständige, aber vereinfachte, Beschreibung dar, um das Werkstück mit den nachfolgenden Algorithmen und Packages des Systems zu erzeugen, wobei die erforderlichen detaillierten Steuerinformationen für den Roboter **2** hinzugefügt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Aufbau eines Werkstücks (**70**), durch Auftragsschweißung, wobei das Verfahren die Kombination der folgenden Schritte umfasst:
es wird im Speicher eines Computers (**6**) oder in einem äquivalenten Datenspeicher eine erste Datendatei (**60**) gespeichert, die eine Definition eines dreidimensionalen Volumenmodells des Werkstücks (**70**) darstellt;
es wird in einem Computer (**6**) ein Computerprogramm (**42**) durchgeführt, das die erste Datendatei (**60**) ausliest und einen Algorithmus (**42**) bildet, der das dreidimensionale Volumenmodell des Werkstücks (**70**) dekonstruiert, das durch die erste Datendatei (**60**) definiert ist, wobei das dreidimensionale Volumenmodell des Werkstücks (**70**) dadurch dekonstruiert wird, indem eine Computer-Repräsentation des Werkstücks in den Algorithmus (**42**) gerichtet wird, um eine Folge von inkrementalen Volumenabschnitten von dem dreidimensionalen Volumenmodell des Werkstücks (**70**) zu entfernen und um eine zweite Datendatei (**62**) zu erzeugen, die eine Folge aufeinanderfolgender relativer räumlicher Koordinaten umfasst, die einen Werkzeugpfad (**90, 91**) durch das dreidimensionale Volumenmodell des Werkstücks (**70**) hindurch beschreiben;
es wird ein mehrachsiger Schweißroboter (**2**) betätigt, der einen Arbeitstisch (**12**), einen Antrieb für den Arbeitstisch, einen Roboterarm (**10**), einen Schweißkopf (**16**) am Roboterarm (**10**) und Steuermittel (**4**) aufweist, die so angeordnet sind, dass sie die Bewegung des Schweißroboters (**2**) und des Schweißkopfes (**16**) relativ zum Werkstisch (**12**) steuern, wobei die Steuermittel (**4**) die zweite Datendatei (**62**) benutzen, um den Schweißkopf (**16**) relativ zu dem Werkstisch

(12) derart zu positionieren, dass die Relativbewegung dem Werkzeugpfad (90, 91) folgt, der durch die zweite Datendatei (62) definiert ist, wobei die Arbeitsweise des Schweißkopfes (16) ferner so gesteuert wird, dass eine Schweißwulst abgelagert wird, wenn der Schweißkopf wenigstens einem Teil des Werkzeugpfades (90, 91) folgt, um eine massive Repräsentation des dreidimensionalen Volumenmodells des Werkstücks (70) aufzubauen,

dadurch gekennzeichnet, dass:

die zweite Datendatei (62) eine Folge von x, y, z Koordinaten (72) aufweist, die die relative Lage des Werkzeugs längs des Werkzeugpfades (90, 91) repräsentieren, wobei für jede x, y, z Koordinate (72) eine entsprechende Gruppe von i, j, k Koordinaten vorgesehen wird, die zusammen mit den jeweiligen x, y, z Koordinaten (72) einen Werkzeugvektor (74) definieren, der die relative räumliche Orientierung des Werkzeugs an einer bestimmten Werkzeug-Position längs des Werkzeugpfades (90, 91) repräsentiert, und dass eine feste Ebene (80) innerhalb eines Computers (6) oder innerhalb der Steuermittel (4) definiert wird, und der Roboter (2) derart gesteuert wird, dass das Werkzeug innerhalb dieser Ebene (80) so positioniert wird, dass die relativen x, y, z Koordinaten (72) und die relativen i, j, k Koordinaten innerhalb dieser Ebene (80) liegen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem der Werkstück (12) gedreht wird, um das Werkstück (70) in die Ebene (80) zu überführen.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 oder 2, bei welchem der Schweißkopf (16) im Betrieb des Schweißkopfes (16) im wesentlichen vertikal angeordnet ist, um eine Schweißwulst aufzutragen, und wobei der Werkstück (12) geneigt wird, um eine erforderliche relative Werkzeugorientierung zu bewirken.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Roboter (2) eine größere Zahl von Freiheitsgraden der Bewegung besitzt, als durch den Algorithmus (42) definiert, der das dreidimensionale Volumenmodell des Werkstücks (70) dekonstruiert, und wobei das Verfahren den folgenden weiteren Schritt aufweist:

es wird ein Interface-Computerprogramm (44, 46) innerhalb des Computers (6) durchgeführt, das die zweite Datendatei (62) ausliest und einen weiteren Algorithmus bildet, der weitere benutzerspezifische Bedingungen bei der Bewegung des Roboters (2) benutzt, um die zweite Datendatei (62) zu ändern, bevor sie durch die Steuermittel (4) des Roboters benutzt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei welchem die weiteren benutzerspezifischen Bedingungen eine Drehstellung und Orientierung des Werkzeugs um einen Werkzeugvektor (74) spezifizieren.

6. Verfahren nach den Ansprüchen 4 oder 5, bei welchem die Drehstellung und Orientierung des Werkzeugs um den Werkzeugvektor (74) auf die Bewegungsrichtung des Werkzeugs relativ zum Werkstück (70) während wenigstens eines Teils des Betriebs des Roboters (2) ausgerichtet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, bei welchem die Drehstellung und Orientierung des Werkzeugs um den Werkzeugvektor (74) während wenigstens eines Teils des Betriebs des Roboters (2) relativ zum Roboter (2) fixiert ist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Algorithmus (42), der das dreidimensionale Volumenmodell dekonstruiert, bis zu fünf Freiheits-Grade der Bewegung des Roboters (2) definiert.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Roboter (2) eine größere Zahl von Bewegungsachsen (21 bis 29) besitzt, als durch den Algorithmus (42) definiert, der das dreidimensionale Volumenmodell des Werkstücks dekonstruiert, wobei das Verfahren den folgenden Schritt aufweist:

es wird ein Interface-Computerprogramm (44, 46) innerhalb des Computers (16) durchgeführt, der die zweite Datendatei (62) ausliest, und einen weiteren Algorithmus (44, 46) bildet, der weitere benutzerspezifische Bedingungen für die Bewegung des Roboters (2) um seine Achsen (21 bis 29) benutzt, um die zweite Datendatei (62) zu ändern, bevor sie durch die Steuermittel (4) des Roboters benutzt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Roboter neun Bewegungsachsen aufweist.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das dreidimensionale Volumenmodell des Werkstücks (70), das durch die erste Datendatei (60) definiert ist, in eine Anzahl von Abschnitten (104, 106) aufgebrochen wird, wobei jeder Abschnitt dann in getrennten ersten Datendateien (62) aufgezeichnet wird, die dann aufeinanderfolgend durch weitere Schritte des Verfahrens bearbeitet werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem das dreidimensionale Volumenmodell des Werkstücks (70) eine Anzahl von gleichen Abschnitten aufweist, und diese gleichen Abschnitte werden in dem Verfahren als geeignete Übertragung und Wiederholung eines ersten derart gleichen Abschnitts identifiziert.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem alle achssymmetrischen Formen, die in dem dreidimensionalen Volumenmodell des Werkstücks (70) enthalten sind, innerhalb

des Algorithmus (42) identifiziert werden, der das dreidimensionale Volumenmodell dekonstruiert, wobei Instruktionen der zweiten Datendatei (62) derart zugefügt werden, dass die Steuermittel (4) den Werkstück (12) des Roboters (2) drehen, um derartige Formen zu erzeugen.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Algorithmus (42), der das dreidimensionale Volumenmodell des Werkstücks (70) dekonstruiert, das Werkzeug im wesentlichen normal zum Werkzeugpfad (90, 91) einstellt, der durch das Werkstück (70) definiert ist.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Dekonstruktion des dreidimensionalen Modells unter Benutzung eines durch Computer unterstützten Bearbeitungssystems (42) durchgeführt wird.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Computer-Repräsentation des Werkzeugs eine Repräsentation eines Fräswerkzeugs ist, das ein vergleichbares zunehmendes Volumen entfernt, wenn es durch den Schweißkopf (16) deponiert würde.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Schweißkopf (16) eine metallische Schweißwulst aufträgt.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem ein elektrischer Lichtbogen-Schweißbrenner (16) benutzt wird.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem ein Schweißbrenner (16) mit Metall und inertem Gas (MIG) benutzt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, bei welchem ein Schweißbrenner (16) mit Wolfram und inertem Gas (TIG) benutzt wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, bei welchem ein Laser-Schweißbrenner (16) benutzt wird.

22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem ein zweiter Abschnitt (92) des Werkzeugpfades auf der Oberseite des ersten Abschnitts des Werkzeugpfades, während der Ablagerung, angeordnet ist, wobei der zweite Abschnitt des Werkzeugpfades modifiziert wird, um graduell rampenartig in eine Lage auf der Oberseite des ersten Abschnitts (91) über eine geeignete Länge des Werkzeugpfades (100) überzugehen, bevor der zweite Abschnitt (92) des Werkzeugpfades auf der Oberseite des ersten Abschnitts (90) befindlich ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

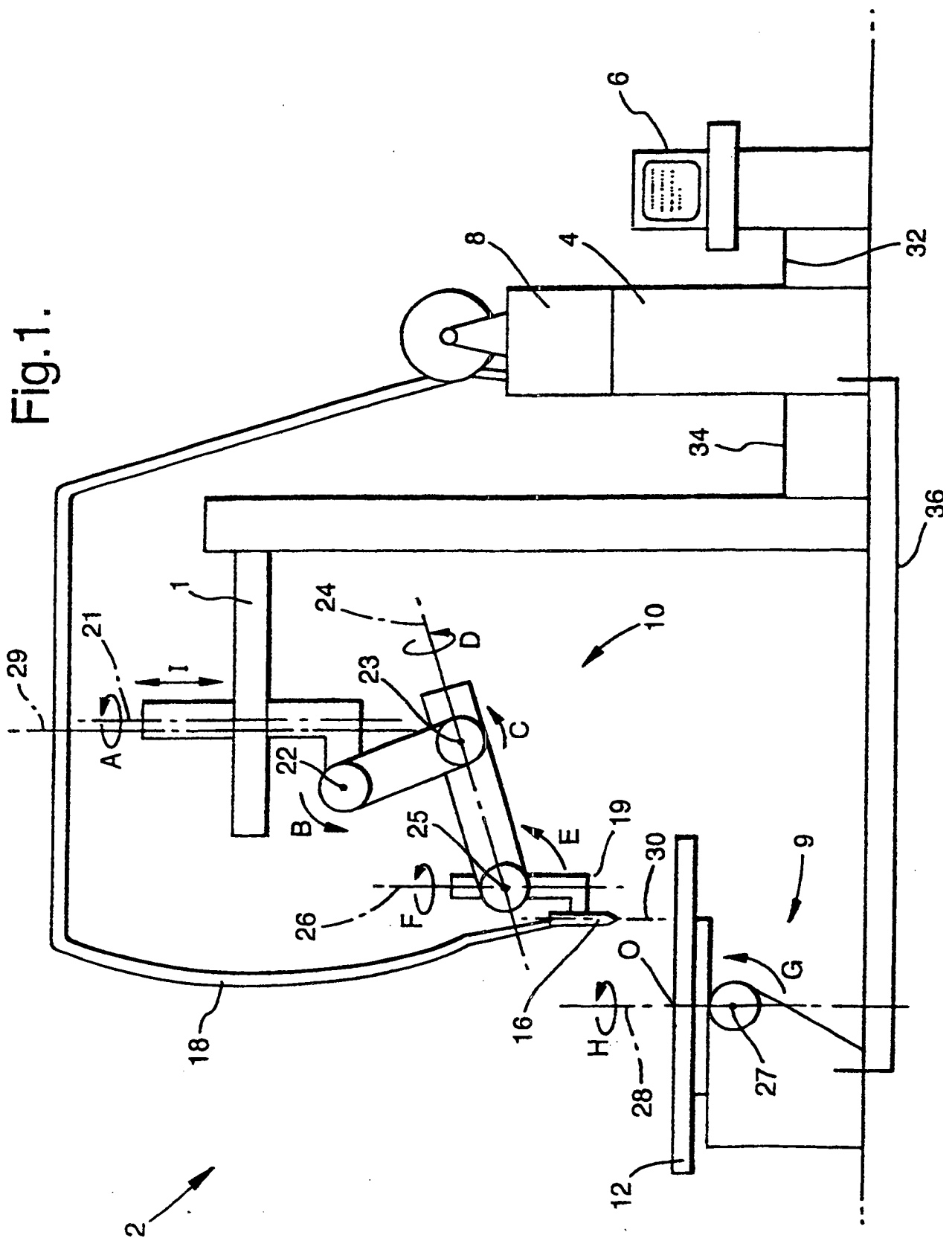


Fig.2.

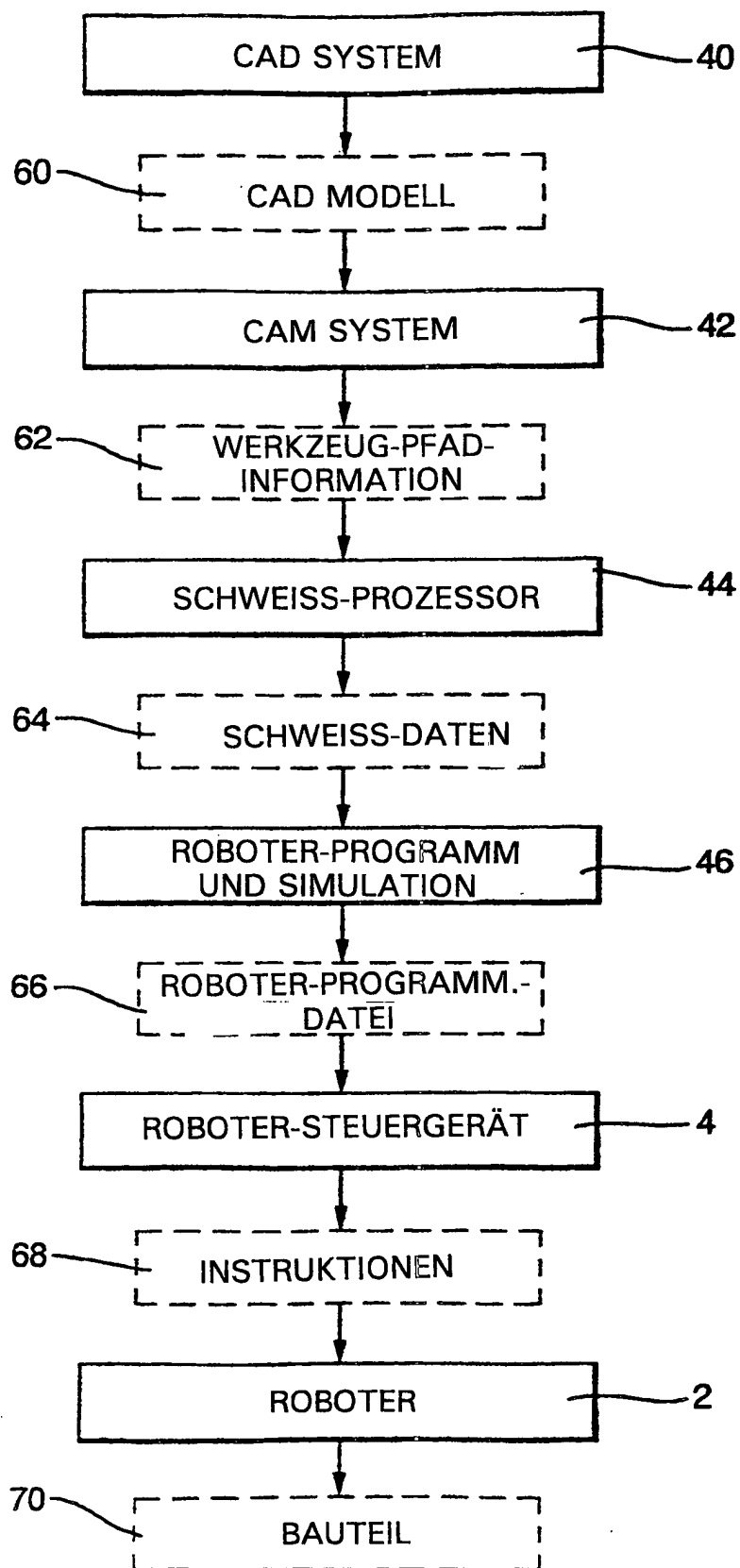


Fig.3.

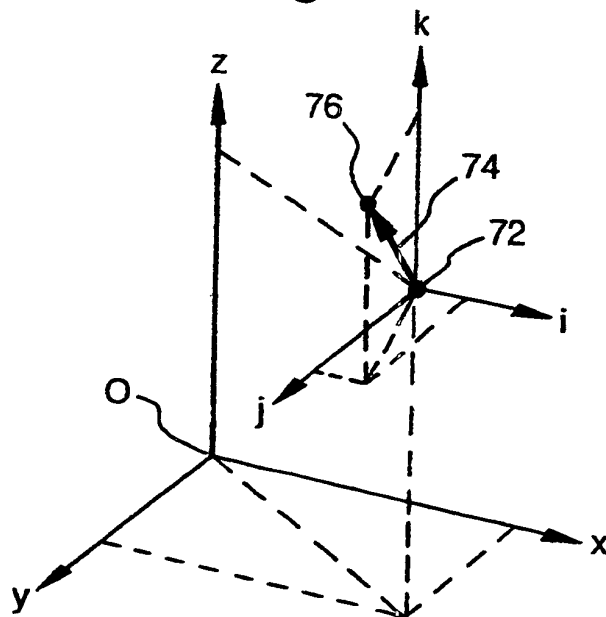


Fig.5.

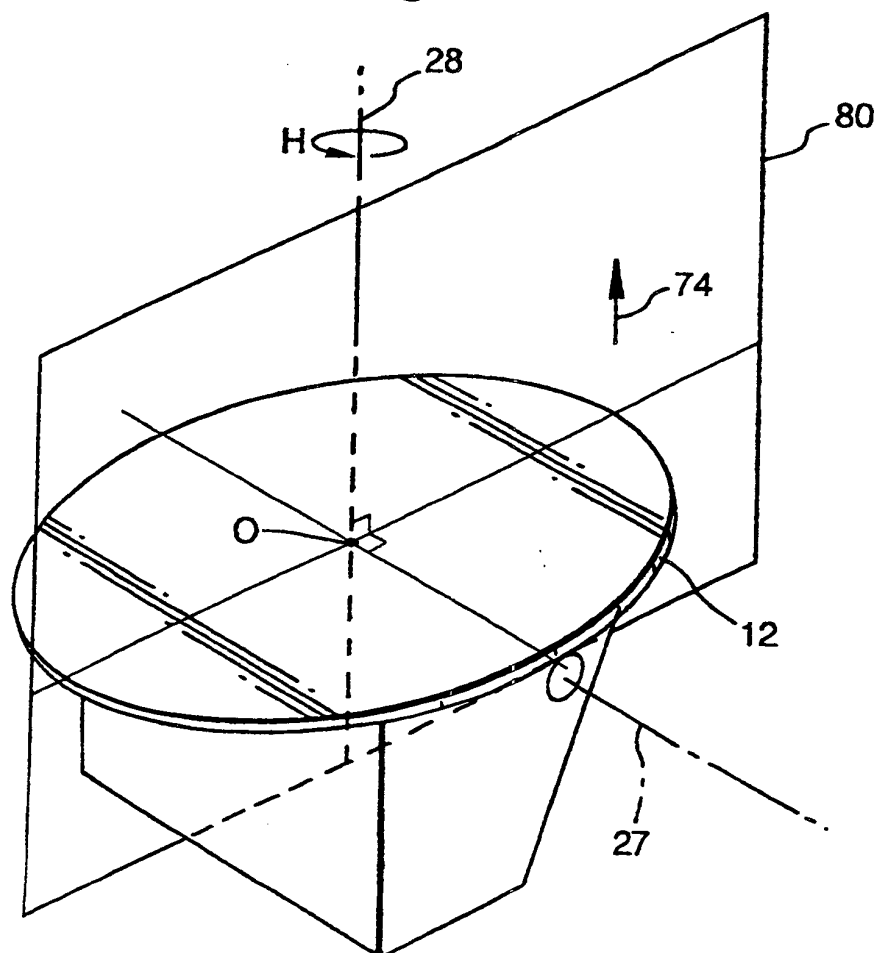


Fig.4A.

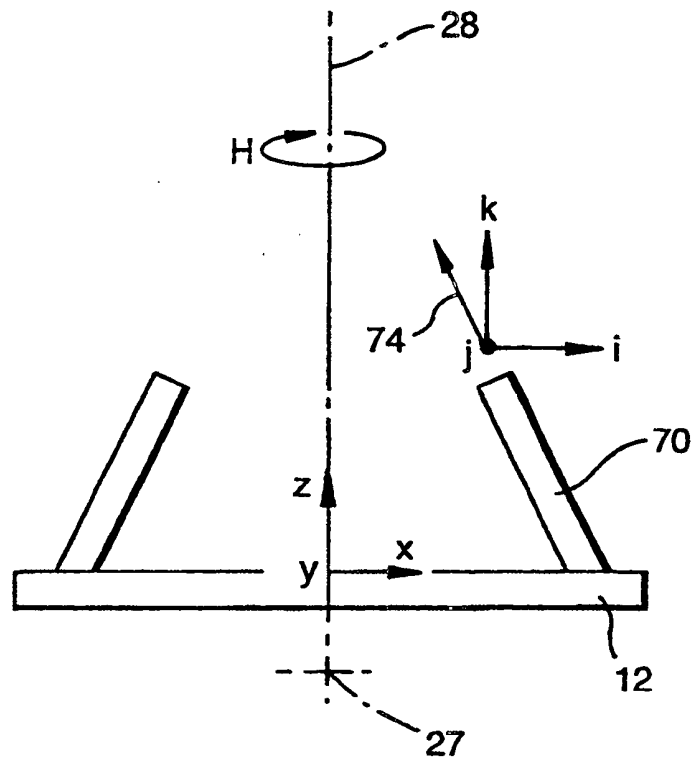


Fig.4B.

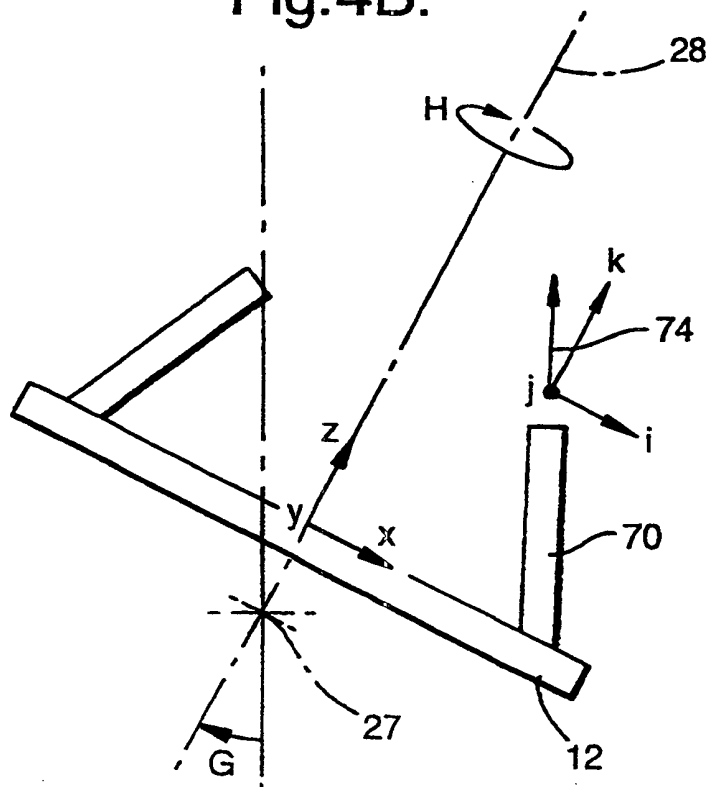


Fig.6.

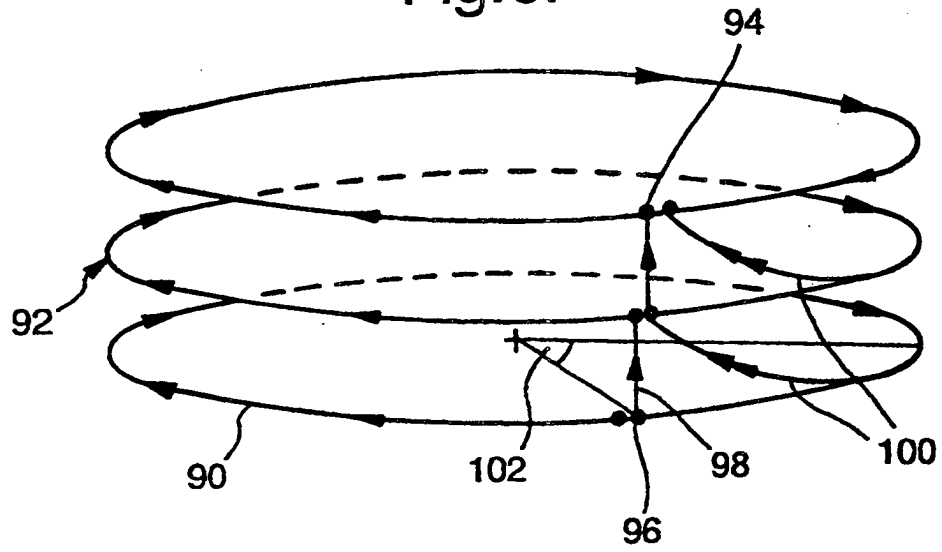


Fig.7.

