



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 35 994 T2** 2007.01.11

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 888 201 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 35 994.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US97/04453**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 917 554.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1997/034733**

(86) PCT-Anmeldetag: **21.03.1997**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **25.09.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **07.01.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **31.05.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **11.01.2007**

(51) Int Cl.⁸: **B23P 11/02** (2006.01)

B23Q 17/00 (2006.01)

B25B 5/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

13986 P 22.03.1996 US

(73) Patentinhaber:

The Boeing Co., Seattle, Wash., US

(74) Vertreter:

**Patent- und Rechtsanwälte Kraus & Weisert,
80539 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

**MUNK, L., Clayton, Maple Valley, WA 98038, US;
NELSON, E., Paul, University Place, WA 98466, US;
STRAND, E., David, Newcastle, WA 98056, US**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Montieren von Tragflächenholmen und Rippen mit engen Toleranzen**

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

Technisches Gebiet

[0001] Diese Erfindung betrifft ein Verfahren zum Montieren von Tragflächenholmen und Rippen mit engen Toleranzen, und genauer ein Verfahren zum Montieren von Tragflächenholmen und Rippen mit extremer und noch nie da gewesener Genauigkeit, um Tragflächenkomponenten mit äußerst genauer Übereinstimmung mit dem originalen technischen Entwurf herzustellen, wobei die Werkzeugkosten signifikant reduziert werden. Die US 4,310,064 stellt ein Verfahren zur Herstellung von Tragflächenholmen dar, welches ein Aufhängen eines Stegs auf einer Spannvorrichtung, ein Klemmen von Holmprofilsehnenelementen an den Steg und ein Bohren und Nieten der Profilsehnenelemente an den Steg umfasst.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Herkömmliche Herstellungstechniken zum Montieren von Stegen und Rippen einer Flugzeugtragfläche zu einer spezifizierten Kontur beruhen auf einer Werkzeugtechnik mit festgelegtem "Ansatzpunkt", wobei Bodenmontagevorrichtungen und Vorlagen verwendet werden, um detailliert strukturelle Teile zusammen anzuordnen und vorübergehend zu befestigen, um die Teile korrekt relativ zueinander anzuordnen. Dieses traditionelle Werkzeugkonzept erfordert gewöhnlicher Weise erstklassige Montagewerkzeuge für jede hergestellte Unterbaugruppe und zwei große Holmmontagewerkzeuge (ein linkes und ein rechtes), in welchem die Unterbaugruppen in einen zusammengebauten Holm zusammengebaut werden.

[0003] Das Werkzeug ist dafür bestimmt, den originalen technischen Entwurf des Produkts genau wiederzugeben, aber unter Verwendung des herkömmlichen Werkzeugkonzepts, bei welchem das Werkzeug die Konfiguration der endgültigen Baugruppe einstellt, gibt es viele Schritte zwischen dem originalen Entwurf des Produkts und der endgültigen Herstellung des Werkzeugs. Es ist nicht ungewöhnlich, dass das Werkzeug, wie es endgültig gefertigt ist, falsch dimensionierte Holme oder Tragflächenkomponenten herstellt, welche außerhalb der Abmessungstoleranzen des Entwurfs der originalen Holme oder Holmkomponenten liegen würden, wenn die von dem Werkzeug herbeigeführten Fehler nicht durch umfangreiche, zeitaufwändige und kostspielige Handarbeit korrigiert werden würden. Ernsthafter verliert ein Werkzeug, welches ursprünglich mit einer Toleranz gebaut wurde, durch den harten Einsatz, welchen es typischer Weise in der Fabrik erfährt, diese Toleranz. Darüber hinaus können Abmessungsveränderungen, welche durch Temperaturveränderungen in der Fabrik verursacht werden, eine Veränderung bei den endgültigen Teilabmessungen her-

vorrufen, wenn diese auf dem Werkzeug hergestellt werden, insbesondere wenn ein großer Unterschied bei dem Wärmeausdehnungskoeffizient zwischen dem Werkzeug und dem Holm existiert, wie es gewöhnlicher Weise der Fall ist, da das Werkzeug aus Stahl hergestellt ist und die Holmkomponenten aus Aluminium hergestellt sind. Da Abmessungen bei der Flugzeugkonstruktion oft bis auf 0,005" gesteuert werden, können durch die Temperatur verursachte Abmessungsänderungen wesentlich sein.

[0004] Ein Bohren mit der Hand des Teils auf dem Werkzeug kann Löcher erzeugen, welche nicht perfekt rund oder senkrecht zu der Teiloberfläche liegen, wenn der Bohrer zu dem Teil mit einem Winkel ausgerichtet ist, welcher leicht nicht senkrecht zu dem Teil ist, und auch wenn der Bohrer in das Teil mit einer Bewegung eintaucht, welche nicht perfekt linear ist. Teile können sich aus ihrer vorgesehenen Position verschieben, wenn sie in nicht runden Löchern befestigt sind, und die nicht gleichmäßige Beeinflussung von Loch zu Befestigungsmitteln bei einem nicht runden Loch stört die Festigkeit und die Dauerhaltbarkeit von runden Löchern. Die Toleranz, welche sich auf Unterbaugruppen des Holms ausbildet, kann von den originalen Entwurfsabmessungen zu einer wesentlichen Größe führen, insbesondere wenn das Teil auf dem Werkzeug an einem Ende des Teils angeordnet ist, wobei die Abweichung des Teils in eine Richtung gezwungen wird, anstatt sich über der richtigen vorgesehenen Position zu zentrieren.

[0005] Holmkomponenten werden typischerweise mit Hochpresspassungsbefestigungsmitteln und/oder Befestigungsmitteln in kaltverfestigten Löchern befestigt. Presspassungsbefestigungsmittel, wie z.B. Nieten und Verriegelungsbolzen, und Kaltverfestigung eines Befestigungsmittelochs erzeugen Muster einer Belastung in dem Metall um das Loch herum, was die Dauerfestigkeit der montierten Verbindung verbessert, aber eine lange Reihe solcher Belastungsmuster verursacht eine Abmessungsverlängerung der Baugruppe, primär in der Längsrichtung, und kann auch zu einem verlängerten Teil führen, welches sich entlang seiner Länge verzieht oder „bananenförmig“ verformt. Versuche, die Baugruppe in der Bewegung einzuschränken, um eine solche Verformung zu verhindern, sind im Allgemeinen ergebnislos, so dass die erfolgreichste Technik heutzutage ist, zu versuchen, das Ausmaß der Verformung vorher zu sagen und es bei dem originalen Entwurf der Teile zu berücksichtigen, wobei vorausgesetzt wird, dass die Baugruppe sich in eine Form verformt, welche näherungsweise diejenige ist, die in dem Entwurf vorhergesagt wurde. Solche Vorhersagen sind jedoch aufgrund der natürlich auftretenden Veränderungen bei der Montage der Befestigungsmittel und der Kaltverfestigung der Löcher nur Näherungen, so dass oft ein Maß einer Unberechenbarkeit bei der Konfiguration der endgültigen Baugruppe auftritt. Ein

Verfahren zum Verwinden der Auswirkungen der Verformung bei den Unterbaugruppen, bevor sie in der endgültigen Baugruppe befestigt werden, ist lange gesucht worden und wäre von großem Wert bei der Holmmontage wie auch bei der Montage von anderen Teilen des Flugzeugs.

[0006] Es ist teuer, wichtiges Werkzeug für Tragflächenholme herzustellen und in einer Toleranz zu halten und es erfordert eine lange Vorlaufzeit, um es zu entwerfen und zu bauen. Die enormen Kosten und die lange Vorlaufzeit, um Werkzeug für Tragflächenholme zu bauen, ist ein wichtiges Hindernis, die Tragfläche eines existierenden Flugzeugmodells zu überarbeiten, auch wenn neue Entwicklungen in der Aerodynamik vorhanden sind, da es der neue Entwurf notwendig machen würde, die Werkzeuge für die Tragflächenholme umzubauen. Ein existierendes System zum automatischen Bohren, Montieren von Befestigungsmitteln und Festziehen von Befestigungsmitteln wird in dem US-Patent Nummer 5,664,311 von Banks und anderen mit dem Titel "Automated Spar Assembly Tool" dargestellt. Es produziert Holme genau, aber es ist ein System, welches kostenaufwändig zu bauen und zu warten ist.

[0007] Die Möglichkeit eines raschen Entwurfs und eines raschen Baus von Holmen für kundenspezifische Tragflächen für Kunden einer Fluggesellschaft mit bestimmten Anforderungen, welche durch existierende Flugzeugmodelle nicht erfüllt werden, würde für einen Flugwerkhersteller einen enormen Wettbewerbsvorteil mit sich bringen. Momentan existiert diese Möglichkeit nicht, da die Kosten des Werkzeugs für eine bestimmte Tragfläche und einen bestimmten Tragflächenholm und der Flächenbedarf in der Fabrik, welchen solches Werkzeug erfordern würde, die Kosten von "Designer-Tragflächen" unerschwinglich teuer machen. Wenn jedoch dasselbe Werkzeug, welches eingesetzt wird, um den standardisierten Tragflächenholm für ein bestimmtes Modell herzustellen, rasch und einfach überführt werden könnte, um Holme für kundenspezifische Tragflächen, welche die bestimmten Anforderungen eines Kunden treffen, zu bauen, und dann für das Standardmodell oder einen anderen kundenspezifischen Tragflächenentwurf zurück überführt werden könnte, könnten den Kunden Flugzeuge angeboten werden, wobei die Tragflächen speziell optimiert sind, um ihre bestimmten Anforderungen zu erfüllen. Die einzigen Zusatzkosten der neuen Tragfläche wären die technischen Kosten und möglicherweise eine leichte Bearbeitung von Köpfen und anderem niederpreisigen Werkzeug, welches für diesen Tragflächenentwurf einzigartig wäre.

[0008] Die Nachteile von Herstellungsverfahren, welche schweres Werkzeug einsetzen, sind inhärent. Obwohl diese Nachteile durch strenge Qualitätskontrolltechniken minimiert werden können, sind sie in

gewissem Umfang immer bei der Herstellung von großen mechanischen Strukturen, wobei schweres Werkzeug eingesetzt wird, vorhanden. Ein bestimmendes Montageverfahren zur Fertigung eines Flugzeugrumpfes ist entwickelt worden, wobei ein Werkzeug mit Ansatzpunkt durch sich selbst anordnende Einzelteile ersetzt wird, welche die Konfiguration der Baugruppe durch ihre eigenen Abmessungen und bestimmte Koordinierungsmerkmale, welche in dem Entwurf der Teile enthalten sind, bestimmen. Dieses neue Verfahren, welches in dem US-Patentnummer 5,560,102 mit dem Titel "Panel and Fuselage Assembly" von Micale und Strand dargestellt ist, hat nachgewiesen, weit genauere Baugruppen mit viel weniger Nacharbeit herzustellen. Eine Anwendung des bestimmenden Montageverfahrens bei der Herstellung von Flugzeugtragflächenholmen sollte ein besseres Verfahren ergeben, welches den Einsatz von schwerem Werkzeug verhindert oder minimiert während sowohl die Herstellungskapazität der Fabrik als auch die Qualität des Produkts erhöht wird, indem die Schwankungen der Teile verringert werden, während die Produktionskosten verringert werden und wobei für eine Flexibilität gesorgt wird, indem schnelle Entwurfsänderungen für ihre Kunden verfügbar sind. Diese Verbesserungen wären ein großer Segen für Hersteller und ihre Kunden und würde die Wettbewerbsposition der Hersteller im Markt verbessern. Die vorliegende Erfindung ist ein wesentlicher Schritt zu solch einem Verfahren.

[0009] Die Patentschrift US 4,995,146 der Vereinigten Staaten offenbart eine Montagevorrichtung zur Herstellung von Tragflächenholmen, welche in einer Weise einstellbar ist, so dass sie verwendet werden kann, um virtuell jede Größe eines Holms herzustellen. Jedoch weist auch diese Montagevorrichtung die Nachteile auf, welche vorab beschrieben sind.

[0010] Um die Nachteile von bekannten Holmmontagesystemen zu vermeiden, stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Herstellen von Tragflächenholmen bereit, welches umfasst:

- Aufhängen eines Stegs auf eine Spannvorrichtung;
- Untersuchen des Stegs mit einem Fühler, welcher durch eine numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine angetrieben wird, um die räumliche Position einer Mehrzahl von kritischen Koordinierungsmerkmalen auf dem Steg zu bestimmen;
- Normieren eines Werkzeugmaschinenprogrammes, welches Positionen der Koordinierungsmerkmale aufweist, mit den tatsächlichen Positionen der Koordinierungsmerkmale im Raum, wie sie durch den Fühler bestimmt sind;
- Bohren von einer Mehrzahl von Stegkoordinierungslöchern in den Steg, wobei ein numerisch gesteuertes Maschinenwerkzeug eingesetzt wird, welches mit einem Programm läuft, das eine digitale Tragflächenproduktdefinition von einer

Dienststelle für technische Daten enthält, wobei die Stegkoordinierungslöcher genau in einer vorbestimmten Position derart auf dem Steg angeordnet sind, dass obere und untere Holmprofilsehnelemente auf dem Steg mit einem vertikalen Abstand zwischen ihnen, welcher durch das digitale Tragflächenprodukt spezifiziert ist, positioniert werden können;

- Klemmen der Holmprofilsehnelemente an den Steg; und
- Befestigen der Holmprofilsehnelemente an dem Steg in der vorbestimmten Position, welche durch die digitale Tragflächenproduktdefinition spezifiziert ist.

[0011] Eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens, welches ermöglicht, dass die Vorteile erzielt werden, wird im Folgenden beschrieben.

Zusammenfassung der Erfindung

[0012] Es ist dementsprechend eine Aufgabe dieser Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung von langen, großen und schweren Baugruppen, wie z.B. Holmen und Rippen einer Flugzeugtragfläche, von flexiblen und halbflexiblen Teilen und Unterbaugruppen gemäß eines originalen technischen Entwurfes anstelle von dem Werkzeug bereitzustellen.

[0013] Eine andere Aufgabe der Erfindung ist, ein Verfahren zur Herstellung von Holmen und Rippen einer Flugzeugtragfläche bereitzustellen, wobei intrinsische Merkmale der Komponententeile verwendet werden, um zu ermöglichen, dass sie sich selbst anordnen und selbst Baugruppenabmessungen und Konturen bestimmen, anstatt ein herkömmliches Werkzeug zu verwenden, um die Anordnung der Teile relativ zueinander und die Kontur der Baugruppe zu bestimmen.

[0014] Es ist noch eine andere Aufgabe dieser Erfindung, ein System zur Herstellung von Tragflächenholmen eines Flugzeugs bereitzustellen, welches inhärent genauer als der Stand der Technik ist und Strukturen erzeugt, in welchen die Teile einheitlich genauer auf der Struktur mit einer engen Übereinstimmung mit der Toleranz, welche durch den technischen Entwurf spezifiziert wird, angeordnet sind.

[0015] Es ist noch eine weitere Aufgabe der Erfindung, ein System zur Herstellung von Tragflächenholmen eines Flugzeugs bereitzustellen, welches schneller, flexibler und preiswerter als die traditionellen Techniken nach dem Stand der Technik sind und weniger Platz in der Fabrik erfordert und unabhängiger von der Fähigkeit der Arbeiter ist, um Teile innerhalb der spezifizierten technischen Toleranzen zu erzeugen.

[0016] Noch eine weitere Aufgabe dieser Erfindung ist, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, welche die Fertigung von Tragflächenholmen eines Flugzeugs mit einer Präzision und Konsistenz ermöglichen, was ermöglicht, dass Flugzeugtragflächen innerhalb einer Toleranz, welche in dem originalen technischen Entwurf spezifiziert ist, gebaut werden.

[0017] Noch eine andere weitere Aufgabe der Erfindung ist, ein Verfahren zum Ausbilden von Tragflächenholmen eines Flugzeugs bereitzustellen, welches eine Folge von Vorgängen aufweist, welche derart angeordnet sind, dass sie kritische Merkmale auf die Kleinteile oder Unterbaugruppen aufbringen, nachdem der Holm oder die Holmkomponente durch Vorgänge, wie z.B. die Montage von Presspassungsbefestigungsmitteln, welche den Holm oder die Holmkomponente verformen, verformt worden sind.

[0018] Diese und andere Aufgaben der Erfindung werden durch ein System zur Montage von Tragflächenholmen und anderen langen, großen und schweren Baugruppen von flexiblen und halbflexiblen Teilen erzielt, wobei ein Verfahren eingesetzt wird, welches räumliche Beziehungen zwischen Schlüsselmerkmalen von Kleinteilen verwendet, wie sie durch Koordinierungsmerkmale, wie z.B. Löcher und bearbeitete Oberflächen dargestellt werden, welche durch genaue numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen gebohrt oder bearbeitet sind, wobei digitale Daten von einer originalen technischen Produktdefinition verwendet werden, wobei die Komponenten und Unterbaugruppen selbst intrinsisch die Abmessungen und die Kontur des Tragflächenholms bestimmen.

Beschreibung der Zeichnungen

[0019] Die Erfindung und viele ihrer zugehörigen Aufgaben und Vorteile werden durch das Lesen der folgenden detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform in Verbindung mit den folgenden Zeichnungen besser verständlich, wobei gilt:

[0020] [Fig. 1–Fig. 6](#) sind aufeinander folgende schematische Darstellungen, welche die Hauptmontageschritte darstellen, die auf dem Tragflächenholm und anderen Komponenten ausgeführt werden, während sie auf einer Reihe von Stützen, welche in [Fig. 8](#) dargestellt sind, während einer Montage eines Tragflächenholms eines Flugzeugs gemäß dieser Erfindung gehalten werden;

[0021] [Fig. 7A](#) ist eine Perspektivansicht eines Holms, welcher gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren gebaut ist;

[0022] [Fig. 7B](#) ist eine vergrößerte Perspektivansicht des inneren Endes des in [Fig. 7A](#) dargestellten

Holms;

[0023] [Fig. 8](#) ist eine schematische Perspektivansicht einer Montagezelle eines Tragflächenholms gemäß dieser Erfindung;

[0024] [Fig. 9](#) ist eine Draufsicht;

[0025] [Fig. 10](#) ist eine Draufsicht einer Seite der in [Fig. 8](#) dargestellten Montagezelle eines Tragflächenholms in dem Bereich der Biegung;

[0026] [Fig. 11](#) ist eine Perspektivansicht des Abschnitts der in [Fig. 10](#) dargestellten Montagezelle eines Tragflächenholms;

[0027] [Fig. 12](#) ist eine Perspektivansicht einer der in [Fig. 11](#) dargestellten Stützen;

[0028] [Fig. 13](#) ist eine Perspektivansicht einer der in [Fig. 11](#) dargestellten Stützen mit einem Haltearm für einen Tragflächenholm;

[0029] [Fig. 14](#) ist eine Perspektivansicht einer etwas modifizierten Stütze für einen Holm, wobei die Klemmen einer vorübergehenden Profilschneenelementlokalisiervorrichtung dargestellt sind;

[0030] [Fig. 15](#) ist eine der [Fig. 14](#) ähnliche Darstellung, wobei aber der Steg aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt ist;

[0031] [Fig. 16](#) ist eine vergrößerte Darstellung eines Abschnitts der [Fig. 15](#);

[0032] [Fig. 17](#) ist eine Perspektivansicht der rechten Rückseite der in [Fig. 14](#) dargestellten Struktur;

[0033] [Fig. 18](#) ist eine vergrößerte Perspektivansicht eines Abschnitts der [Fig. 17](#);

[0034] [Fig. 19](#) ist eine vergrößerte Perspektivansicht der linken Rückseite der in [Fig. 18](#) dargestellten Struktur;

[0035] [Fig. 20](#) ist eine Perspektivansicht der Profilschneenelementlokalisierungswerkzeuge, welche Profilschneenelemente an Ort und Stelle auf den oberen und unteren Kanten des inneren Abschnitts des Stegs halten;

[0036] [Fig. 21](#) ist ein seitlicher Aufriss einer etwas modifizierten Form der Profilschneenelementlokalisierungswerkzeuge, welche in [Fig. 20](#) dargestellt sind;

[0037] [Fig. 22](#) ist ein vergrößerter seitlicher Aufriss des oberen Endes eines Profilschneenelementlokalisierungswerkzeugs, welches demjenigen, das in [Fig. 21](#) dargestellt ist, ähnlich ist, wobei aber die Profilschneenelementreferenzoberflächen mit einem

anderen Winkel eingestellt sind, welcher dem Winkel des Profilschneenelements bei einer anderen Position entlang seiner Länge entspricht;

[0038] [Fig. 23](#) ist ein seitlicher Aufriss des oberen Endes eines Profilschneenelementlokalisierungswerkzeugs mit einer Profilschneenelementreferenzoberfläche auf einem geschwenkten Stück mit Seitenneigung;

[0039] [Fig. 24](#) ist ein seitlicher Aufriss der in [Fig. 22](#) dargestellten Struktur, wobei sich die Klemme in ihrer offenen Position befindet;

[0040] [Fig. 25](#) ist ein vergrößerter seitlicher Aufriss des unteren Endes eines Profilschneenelementlokalisierungswerkzeugs;

[0041] [Fig. 26](#) ist eine vergrößerte Perspektivansicht des in [Fig. 25](#) dargestellten unteren Endes des Profilschneenelementlokalisierungswerkzeugs;

[0042] [Fig. 27](#) ist ein seitlicher Aufriss eines Werkzeugs zum Lokalisieren der Position der Holmprofilschneenelemente in der "X"-Richtung;

[0043] [Fig. 28](#) ist eine Perspektivansicht des oberen Endes des in [Fig. 27](#) dargestellten Profilschneenelementwerkzeugs für die X-Richtung;

[0044] [Fig. 29](#) ist eine Perspektivansicht eines klemmenden, bohrenden und Befestigungsmittelzuführenden Endeffektors, welcher in [Fig. 8](#) dargestellt ist, welcher von der Pfostenfräse zu befördern ist und Befestigungsvorgänge durchführt;

[0045] [Fig. 30](#) ist eine schematische Darstellung einer Computerarchitektur und eines Verfahrens zum Überführen von Daten von einer digitalen Produktdefinition in eine Anweisung einer Werkzeugmaschinensteuerung, um bestimmte Montagevorgänge durchzuführen;

[0046] [Fig. 31](#) ist eine Perspektivansicht von der Oberseite der schwenkenden Basisplatte, welche in [Fig. 8–Fig. 11](#) dargestellt ist;

[0047] [Fig. 32](#) ist eine Perspektivansicht von der Unterseite der in [Fig. 31](#) dargestellten schwenkenden Basisplatte;

[0048] [Fig. 33](#) ist eine Perspektivansicht des in [Fig. 10](#), [Fig. 11](#) und [Fig. 13](#) dargestellten Haltearms;

[0049] [Fig. 34](#) ist eine Perspektivansicht einer Positionierungsbaugruppe an dem distalen Ende des in [Fig. 33](#) dargestellten Haltearms; und

[0050] [Fig. 35](#) und [Fig. 36](#) sind Perspektivansichten der in [Fig. 34](#) dargestellten Positionierungsbaugrup-

pe bei verschiedenen Montageschritten.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform

[0051] Bei den Zeichnungen bezeichnen nun gleiche Bezugszeichen identische oder sich entsprechende Teile. Die Erfindung wird beschrieben, wie sie bei einer bevorzugten Ausführungsform, nämlich einem Verfahren zur Montage von Tragflächenholmen eines Flugzeugs, verwendet wird. Die Erfindung besitzt insbesondere eine Bedeutung, wenn einige oder alle Teile und Unterbaugruppen flexibel oder halbflexibel sind.

[0052] Das Montageverfahren wird zuerst kurz zusammengefasst, wie es bei einer Montagezelle eines Tragflächenholms verwendet wird, wobei Bezug auf eine Abfolge von schematischen Darstellungen, [Fig. 1–Fig. 6](#), genommen wird, welche die Hauptverfahrensschritte bei dem bestimmenden erfindungsgemäßen Montageverfahren für Tragflächenholme darstellen. Nach diesem kurzen Überblick wird die Holmmontagezelle, in welcher das Verfahren ausgeführt wird, beschrieben und das Verfahren wird mit weiteren Details erläutert.

[0053] Um einen Zusammenhang für die folgende Beschreibung des Verfahrens und der Vorrichtung der Erfindung bereitzustellen, wird ein repräsentativer Tragflächenholm eines Flugzeugs beschrieben. Normalerweise umfasst eine Flugzeugtragfläche zwei Holme **30**, welche sich in der Längsrichtung und "über die Spannweite" der Tragfläche erstrecken und in einer Richtung "entlang der Flügeltiefe" beabstandet sind. Ein Holm, welcher der "vordere" Holmen genannt wird, liegt benachbart zu der führenden Kante der Tragfläche, und der andere Holm, welcher der "hintere" Holm genannt wird, liegt benachbart zu der hinteren Kante der Tragfläche. Tragflächenrippen erstrecken sich über die Spannweite zwischen den Holmen **30** und sind an den vertikalen Rippenpfosten **35** befestigt, wie es in [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) dargestellt ist, welche an den Holmen **30** haften und mit diesen abgedichtet sind sowie damit durch zahlreiche Befestigungsmittel befestigt sind. Obere und untere Profilsehnelemente **40** und **42** haften an oberen und unteren Kanten eines Stegs **45** und sind damit abgedichtet sowie mit zahlreichen Befestigungsmitteln, wie z.B. Nieten, Bolzen, Verriegelungsbolzen, starke Verriegelungen („Hi-Locks“) und dergleichen, befestigt, welche weithin in der Luft- und Raumfahrtindustrie eingesetzt werden und gut verstanden und zuverlässig sind. Diese Befestigungsmittel werden hier als "Bolzen und/oder Niete" bezeichnet, was hier verwendet wird, um auszudrücken, dass die Befestigungsmittel alle Bolzen oder alle Nieten oder eine Kombination von Bolzen und Nieten sein könnten. Natürlich ist die Erfindung nicht auf die verwendeten herkömmlichen Befestigungsmittel beschränkt und es sollte klar sein, dass andere Befestigungsmitteln

eingesetzt werden können, wenn sie anstelle dieser herkömmlichen Befestigungsmittel erstellt sind.

[0054] Die oberen und unteren Profilsehnelemente **40** und **42** weisen jeweils einen vertikalen Flansch, welcher mit dem Steg **45** befestigt ist, und einen abgewinkelten vorderen oder hinteren Flansch auf, an welchem ein oberes oder unteres Tragflächenfeld angebracht ist. Die vertikale Position der Profilsehnelemente **40** und **42** auf dem Steg **45** ist kritisch, da sie den Abstand der Holme **30** zwischen den oberen und unteren Tragflächenfeldern bestimmt. Genauso ist die Position der Rippenpfosten **35** auf dem Steg kritisch, da sie die Position der Rippen bestimmt, welche wiederum die Kontur des Tragflächenfelds bestimmen. Eine Biegung oder ein "Knick" **46** bei einer "K"-Achse, welche in [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) dargestellt ist, wird auf den meisten Tragflächenholmen gefunden, so dass die Holme mit der entworfenen Position der vorderen und hinteren äußeren Kante des Flügelkastens übereinstimmen.

[0055] Der Abstand, welcher zwischen dem vorderen und hinteren Tragflächenholm und dem vorderen und hinteren Tragflächenfeld definiert ist, das heißt, die äußeren strukturellen Elemente des Flügelkastens, werden normalerweise als der Benzintank des Flugzeugs verwendet, so dass die inneren Oberflächen der Tragflächenholme im Allgemeinen als die "nassen" Seiten und die äußeren Oberflächen als die "trockenen" Seiten bezeichnet werden. Diese Konvention wird hier verwendet. Die Rippenpfosten **35** sind an der nassen Seite des Holms angebracht und eine Mehrzahl von vertikalen Aussteifungen **47** haften an der trockenen Seite des Tragflächenholms **45** und sind damit abgedichtet und sind damit durch eine Mehrzahl von Befestigungsmitteln befestigt. Eine vollständigere Beschreibung der Konstruktion einer Flugzeugtragfläche und einiger zusätzlicher Komponenten, welche an den Tragflächenholmen angebracht sind, kann in der vorab genannten provisional Application 60/013,986 und in einer entsprechenden PCT-Anmeldung, welche gleichzeitig damit eingereicht wurde, gefunden werden.

[0056] Ein erfindungsgemäßes Holmmontageverfahren zum Montieren eines Tragflächenholms **30** eines Flugzeugs beginnt mit einem Konfigurieren einer umkonfigurierbaren Montagezelle **50**, welche in [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) dargestellt ist, auf die spezielle Größe und den speziellen Entwurf des in der Zelle **50** zu montierenden Tragflächenholms. Die Montagezelle weist eine Reihe von Stützen bzw. Pfosten **52** auf, welche auf Schienen **54** montiert sind, wie es in [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) dargestellt ist, so dass die Stützen in der "X"-Richtung parallel zu der Ebene des Holms **30** bewegt werden können, um sie in der erwünschten Position in der Längsrichtung des Holms anzuordnen. Zwei oder mehr seitliche Positionierungsvorrichtungen, wie z.B. die „Pogo“-Vorrichtungen

gen **56**, welche in [Fig. 12](#) und [Fig. 13](#) dargestellt sind, sind auf jeder der Stützen **52** montiert, um die seitliche Position eines Tragflächenholms **45** in der "Z"-Richtung in der Zelle **50** festzulegen. Ein Haltearm **60** ist an ausgewählten Stützen **52** entlang der Reihe der Stützen angebracht, wie es in [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) dargestellt ist, um das Gewicht des Tragflächenholms **45** zu tragen. Ein primärer Indexstift **64** in dem Ende eines der Haltearme **60** wird in einem Koordinierungsloch aufgenommen, welches in dem Tragflächenholm **45** vorgebohrt ist, um den Holm genau auf den Stützen in der "X"- und "Y"-Richtung in einer Orientierung anzuordnen, welche in der Längsrichtung horizontal und in der seitlichen Richtung senkrecht ist, wie es in [Fig. 14](#) dargestellt ist. Sekundäre Indexstifte **66** auf den anderen Haltearmen **60** befinden sich mit Koordinierungslöchern im Eingriff, welche auch in dem Holm **45** vorgebohrt sind, um den Holm senkrecht zu halten. Die sekundären Indexstifte sind horizontal nachgiebig, wie es im Folgenden im Detail beschrieben wird, um sich an eine Längsdehnung bei dem Tragflächenholm **45**, welche durch eine Montage von Befestigungsmitteln verursacht wird, anzupassen. Vakuum in Saugnäpfen **70** auf den Enden der Pogo-Vorrichtungen **56** ziehen den Holm **45** mit den Saugnäpfen **70** gegen vordere gegenüberliegende Oberflächen **72**, um den Holm in der seitlichen "Z"-Position zu halten, welche durch die Ausdehnung der Pogo-Vorrichtungen **56** festgelegt wird.

[0057] Eine Werkzeugmaschine, wie z.B. eine CNC-Pfostenfräse **75**, welche in [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) dargestellt ist, wird für eine Bewegung in Längsrichtung auf Schienen **77** in der Zelle **50** gehalten. Die Pfostenfräse **75** weist einen verlängerten Arm **80** auf, welcher in einer eigenparallelen Weise auf dem Körper der Pfostenfräse **75** in der vertikalen Richtung oder "Y"-Richtung angetrieben werden kann und sich auch in der Längsrichtung erstrecken kann. Der Körper der Pfostenfräse **75** kann mit der Eigenschaft versehen sein, sich um seine vertikale Achse zu drehen, wenn, wie es hier beschrieben ist, die Zelle eine Reihe von Stützen auf beiden Seiten der Zelle aufweist, so dass die Pfostenfräse Arbeiten auf einer Seite durchführen kann, während Arbeiter Teile montieren, fertige Holme entfernen oder andere manuelle Arbeiten auf der anderen Seite durchführen. Schließlich weist der Arm **80** ein Gelenk auf, welches sich um die Achse des Arms **75** drehen kann und welches seitlich kippen kann. Eine Greifvorrichtung an dem distalen Ende des Gelenks weist mechanische und angetriebene Verbindungen auf, um einen oder mehrere Endeffektoren **85** zu halten und anzutreiben, um die verschiedenen Funktionen, welche in der Montagezelle **50** erforderlich sind, durchzuführen. Diese Bewegungsachsen ermöglichen der Pfostenfräse **75**, den Endeffektor in irgendeiner erwünschten Position und Orientierung innerhalb der Reichweite des Arms **80** zu positionieren.

[0058] Die dargestellte Pfostenfräse **75**, wird von Ingersoll Milling Machine Company geliefert, aber andere Werkzeugmaschinen, wie z.B. ein auf einem Gerüst montiertes Werkzeug mit 5 Achsen von Henri Line oder eine in sechs Achsen zu positionierende „Aeroflex“, welche von Pegard Products, Inc. in Machesney Park, Ill hergestellt wird, können eingesetzt werden. Die erforderlichen Eigenschaften sind Genauigkeit und Wiederholpräzision bei einer Spindelpositionierung, welche bei dieser Anwendung bei ungefähr $\pm 0,005$ " liegt, und eine Arbeitsweise unter Steuerung einer Maschinensteuerung, welche programmiert werden kann, um digitale Produktdefinitionsdaten aufzunehmen, welche ursprünglich von einer technischen Instanz für die Tragfläche und die Tragflächenkomponenten kommen, so dass Koordinierungsmerkmale, welche durch die digitale Produktdefinition spezifiziert sind, genau und wiederholbar durch die Werkzeugmaschine **75** angeordnet werden können. Diese beiden Eigenschaften ermöglichen der Werkzeugmaschine **75** die Koordinierungsmerkmale, wie z.B. Koordinierungslöcher und bearbeitete Koordinierungsoberflächen, auf Teile, Komponenten und Baugruppen an genau bestimmten Positionen aufzubringen, welche in der digitalen Produktdefinition spezifiziert sind. Diese Koordinierungsmerkmale werden auch verwendet, um Teile und Komponenten relativ zueinander anzuordnen, wo sie verstiftet und befestigt sind, wodurch das Bedürfnis nach einem befestigten schweren Werkzeug, welches bisher verwendet wurde, um die Teile und Komponenten relativ zueinander anzuordnen, vermieden oder drastisch verringert wird. Die Koordinierungsmerkmale bestimmen daher die relative Position der Teile und Komponenten, welche die Baugruppe ausmachen und bestimmen dadurch die Größe und die Form der Baugruppe unabhängig von dem meisten Werkzeug.

[0059] Nachdem die Zelle für den Holmentwurf, welcher an diesem Tag zu bauen ist, konfiguriert ist, werden die oberen und unteren Holmprofilsehnenelemente **40** und **42**, wie es in [Fig. 1](#) dargestellt ist, vorübergehenden Profilsehnenelementlokalisierovrichtungen **90** zugeführt, welche auf den Pogo-Vorrichtungen **56** hängen, um die Holmprofilsehnenelemente benachbart zu der Stegposition in Vorbereitung zum Umlagern zu dem Steg **45** zu halten. Es sollte angemerkt werden, dass zur Einfachheit der Holm **30** in der umgekehrten Position aufgebaut ist, da die untere Kante des Holms auseinander läuft, wo der Holm an dem inneren Ende breiter wird, so dass ein Aufbauen des Holms in der umgekehrten Stellung die Reichweite des Gerüsts verringert, welche von den Arbeitern benötigt werden könnte, um die oberen Teile des Holms zu erreichen. Daher stellen die Zeichnungen das "obere" Profilsehnenelement **40** in der unteren Position und das "untere" Profilsehnenelement **42** in der oberen Position dar. Die Profilsehnenelemente **40** und **42** werden auf den vorübergehenden

Profilschneenelementlokalisier Vorrichtungen **90** mit Overcenter-Klemmen **92** auf den oberen und unteren Enden der Profilschneenelementlokalisier Vorrichtungen **90** gehalten. Ein Dichtungsmittel wird auf die vertikale Flanschpassoberfläche der Holmprofilschneenelemente **40** und **42** aufgebracht, wo sie den Tragflächenholm **45** berühren. Der Tragflächenholm **45** wird auf die Indexstifte **64** und **66** auf den Armen **60** geführt und gegen die gegenüberliegenden Oberflächen **72** der Pogo-Vorrichtungen **56** durch das Vakuum in den Saugnapfen **70** gezogen.

[0060] Die Position der Profilschneenelemente **40** und **42** in der "Y"-Richtung entlang der oberen und unteren Kante des Tragflächenholms **45** wird durch eine Reihe von Profilschneenelement-Y-Werkzeuge **95** eingestellt, wobei jedes davon auf dem Holmprofilschneenelement **45** mittels eines Paares von Indexstiften oder Abstandsteilen **100** und **102** in den Koordinierungslöchern der Holmprofilschneenelementwerkzeuge angeordnet ist, welche mit einer extremen Positionierungsgenauigkeit in den Steg **45** mit einem Bohrer, welcher durch die CNC-Pfostenfräse **75** gesteuert wird, gebohrt sind. Wie in [Fig. 2](#) und [Fig. 20–Fig. 25](#) dargestellt ist, werden Klemmen **105** und **107** an den oberen und unteren Enden jedes Profilschneenelementwerkzeugs **95** angebracht. Die Klemmen auf den Profilschneenelement-X-Werkzeugen **95**, welche in [Fig. 20](#) dargestellt sind, sind etwas von solchen, welche in [Fig. 21–Fig. 25](#) dargestellt sind, verschieden, um darzustellen, dass verschiedene Typen von Klemmen eingesetzt werden können. Die obere Klemme **105** weist die Referenzoberflächen **110** und **112** auf, wie es in [Fig. 22](#) dargestellt sind, um das untere Profilschneenelement **42** an der richtigen vertikalen Position auf dem Steg **45** genau anzuordnen. In ähnlicher Weise weist die untere Klemme **107** die Referenzoberflächen **114** und **116** auf, um das obere Profilschneenelement **40** an der richtigen vertikalen Position auf dem Steg **45** genau anzuordnen. Die Referenzoberflächen **112** und **114** können auf Blöcken **113** und **115** sein, welche schwenkbar mit den Profilschneenelement-Y-Werkzeugen verbunden sind, um mit dem Winkel der oberen und unteren Flansche des Holmprofilschneenelements übereinzustimmen, wie es in [Fig. 23](#) und [Fig. 25](#) dargestellt ist.

[0061] Die Profilschneenelemente **40** und **42** werden von den vorübergehenden Profilschneenelementlokalisier Vorrichtungen **90** auf die Profilschneenelement-Y-Werkzeuge **95** und in eine Position gegen die Referenzoberflächen der Profilschneenelementwerkzeuge und gegen den Steg **45** befördert, indem die Klemmen der Profilschneenelementwerkzeuge geöffnet werden, wie es in [Fig. 23](#) dargestellt ist, und indem die vorübergehenden Profilschneenelementlokalisier Vorrichtungen **90** auf den Pogo-Vorrichtungen **56** gleiten, bis die Profilschneenelemente den Steg **45** berühren. Die Klemmen **92** auf den vorübergehenden

den Profilschneenelementlokalisier Vorrichtungen **90** werden gelöst und die Profilschneenelemente **40** und **42** werden genau in der "X"-Richtung durch Aufnahme der Indexstifte **118** und **120** in einem Profilschneenelement-X-Werkzeug **121**, wie es in [Fig. 28](#) dargestellt ist, durch Koordinierungslöcher positioniert, welche in den Profilschneenelementen **40** und **42** vorgebohrt sind. Das Profilschneenelement-X-Werkzeug **121** war vorher durch Indexstifte **122** und **124** an dem Steg **45** angebracht, welche sich in Koordinierungslöchern erstrecken, die genau durch die Pfostenfräse **75** in den Steg gebohrt werden, wobei gleichzeitig die Koordinierungslöcher für die Profilschneenelement-Y-Werkzeuge **95** gebohrt werden.

[0062] Die Profilschneenelemente **40** und **42**, welche nun genau in der "X"-Richtung mit dem Profilschneenelement-X-Werkzeug **121** gerastet sind, werden in eine Position gegen die Referenzoberflächen **110–116** des Profilschneenelement-Y-Werkzeugs **95** geschoben, um die Profilschneenelemente **40** und **42** gegen die obere und untere Kante des Stegs **45** genau in der "Y"-Richtung anzuordnen. Die Profilschneenelemente **40** und **42** werden hier an den Referenzoberflächen **110–116** durch die Profilschneenelement-Y-Werkzeugklemmen **105** und **107** befestigt.

[0063] Nun wird eine Untersuchungsroutine durchgeführt, um die Auslenkung der Stützen **52** und Haltearme **60** an das Gewicht des Stegs **45** und der Profilschneenelemente **40** und **42** anzupassen. Ein Fühler, welcher durch den Arm **80** der Pfostenfräse gehalten wird, überprüft den primären Indexstift **64** und einen oder mehrere der sekundären Indexstifte **66**, um ihre aktuelle Position zu lokalisieren. Ein geeigneter Fühler zu diesem Zweck wäre ein Kontakt-Tast-Fühler von Renishaw Modellnummer MP6, welcher von der Renishaw Company in Onondaga, New York, hergestellt wird, obwohl andere Fühler, welche von anderen Quellen verfügbar sind, auch eingesetzt werden könnten. Die Maschinensteuerung für die Pfostenfräse **75** verwendet die aktuellen Positionen der Indexstifte, wie sie durch den Fühler lokalisiert werden, um das Teilprogramm in der Steuerung zu normalisieren, um es an die aktuelle Position der Teile auf den Stützen **52** anzupassen.

[0064] Die Profilschneenelemente werden nun an dem Steg **45** mit dem Endeffektor **85** befestigt, wie es konzeptionell in [Fig. 1](#), [Fig. 3–7](#) und [Fig. 29](#) dargestellt ist. Der Endeffektor **85** wird durch den Arm **80** der Pfostenfräse zu den Stellen entlang des Stegs **85** befördert und dort positioniert, wie es in [Fig. 8](#) dargestellt ist. Eine Klemme **130** auf dem Endeffektor **85** weist einen C-Rahmen **132** mit einem Amboss **134** auf ihrem distalen Ende auf, welcher sich mit dem vertikalen Flansch der Profilschneenelemente **40** und **42** auf der "nassen" Seite des Stegs in Eingriff befindet. Ein Druckfuß **136** ist gegenüber dem Amboss auf der anderen Seite des C-Rahmens **132** ausgerichtet,

wo er sich mit dem Tragflächenholm auf der gegenüberliegenden Seite des Stegs von dem Amboss in Eingriff befindet und wird durch einen pneumatischen Zylinder betätigt wird, um eine Klemmkraft in der Größenordnung von 1000–1500 Pfund auszuüben, um die Profilschneenelemente während des Bohrens und der Einführung von Befestigungsmitteln an den Steg zu klemmen. Ein Frequenz gesteuerter Spindelmotor, welcher in dem Endeffektor **85** hinter dem Druckfuß **136** montiert ist, dreht und befördert eine Bohrspitze, um Löcher durch eine Öffnung in dem Druckfuß **136** zu bohren, während Späne durch einen Ansaugschlauch **142** weg gesaugt werden. Die Bohrspindel zieht sich zurück und ein Lochfühler **144**, welcher hinter dem Amboss **134** montiert ist, überprüft das Loch, welches durch den Steg und den Profilschneenelementenflansch durch eine Öffnung in dem Amboss **134** gebohrt ist. Und wenn die Qualität des Loches vorbestimmte Standards erfüllt, bewegt sich ein Werkzeugwagen hinter den Druckfuß, um eine Befestigungsmittelzufuhrhalterung mit dem neu gebohrten Loch auszurichten, und ein Presspassungsbefestigungsmittel wird durch eine Leitung **148** der Halterung zugeführt. Ein pneumatischer Hammer treibt das Befestigungsmittel in das Loch. Der Druckfuß löst sich nun und bewegt sich zu der nächsten zu befestigenden Stelle. Ein Sichern der Befestigungsmittel mit Gesenkansätzen oder Muttern wird durch Arbeiter an der Außenseite der Zelle **50** durchgeführt, wo keine Gefahr für eine Verletzung von der Pfostenfräse **75** innerhalb der Zelle **50** ausgeht. Die Arbeiter entfernen auch die Profilschneenelement-Y-Werkzeuge **95**, wenn sich die Pfostenfräse **75** an ihre Position auf dem Steg **30** annähert.

[0065] Nachdem alle Befestigungsmittel für die oberen und unteren Holmprofilsechenelemente **40** und **42** montiert worden sind, ist die Längenverformung des Holms aufgrund der komprimierenden Belastung in radialer Richtung und Längsrichtung, welche durch die Presspassungsbefestigungsmittel ausgeübt wird, im Wesentlichen abgeschlossen. Es werden zusätzliche Befestigungsmittel montiert, wenn die Rippenpfosten und Aussteifungen an dem Steg befestigt werden, aber an die Längenverformung, welche durch diese Vorgänge erzeugt wird, wenn es überhaupt eine gibt, kann sich angepasst werden, nachdem diese abgeschlossen sind.

[0066] Nachdem beide Profilschneenelemente **40** und **42** angebracht worden sind, verwendet die Pfostenfräse denselben Endeffektor **85** oder einen anderen nur bohrenden Endeffektor, um die Koordinierungslöcher für die Aussteifungen und Rippenpfosten zu bohren. Wie im Folgenden beschrieben wird, spezifiziert ein digitales Hauptmodell **150** des Stegs in der technischen Instanz für den Hersteller des Flugzeugs die Stelle der Koordinierungslöcher für die Rippenpfosten und Aussteifungen, und das Teilprogramm, welches die Bewegung der Pfostenfräse **75**

steuert, wird von diesem digitalen Hauptmodell **150** abgeleitet.

[0067] Zwei unterschiedliche Verfahren werden zum Anbringen der Aussteifungen und Rippenpfosten abhängig davon, wo sie anzubringen sind, verwendet. Wie in [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) dargestellt ist, ist die Höhe des Holms **30** an dem inneren Ende deutlich größer als über nahezu seine gesamte Länge. Wie in [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) dargestellt ist, kann die Tiefe der Öffnung des C-Rahmens der Klemme nicht ausreichend sein, um die Mittellinie des Holms **30** in Längsrichtung zu erreichen. Das Gewicht des Endeffektors **85** wird durch die Tiefe der Öffnung der C-Klemme beeinflusst. Eine tiefere Öffnung erfordert eine schwerere C-Klemme. Alle Pfostenfräsen weisen eine Gewichtsbegrenzung bezüglich des Gewichts auf, welches sie auf dem Ende des Arms **80** halten können. Wenn ein Endeffektor **85** mit einer Öffnung der C-Klemme, welche tief genug ist, damit die Vorgangsreihe des Endeffektors die Mittellinie des Holms an dem inneren Ende erreicht, diese Gewichtsbegrenzung überschreitet, dann könnten die inneren Rippenpfosten **35** und Aussteifungen **47** durch ein halbautomatisches Verfahren, welches im Folgenden beschrieben wird, angebracht werden.

[0068] Die Aussteifungen **47** und Rippenpfosten **35** besitzen Koordinierungslöcher, welche vorgebohrt werden, wenn sie gefertigt werden, oder die Koordinierungslöcher werden in einer anderen bestimmten Spannvorrichtung gebohrt. Die Koordinierungslöcher entsprechen den Stellen der Koordinierungslöcher, welche durch den Endeffektor **85** in den Steg **45** gebohrt sind. Wenn die Koordinierungslöcher in den Rippenpfosten **35** oder Aussteifungen **47** mit den entsprechenden Koordinierungslöchern, welche in den Steg **45** gebohrt sind, übereinstimmen, ist das Teil mit einer extremen Genauigkeit auf dem Steg **45** gemäß dem technischen Entwurf, wie er durch das digitale Modell repräsentiert wird, angeordnet.

[0069] Für Teile in dem Abschnitt des Stegs, welche innerhalb der Reichweite der Öffnung der C-Klemme liegen, weist der Flansch der Rippenpfosten oder Aussteifungen ein Dichtungsmittel auf, welches auf seine Passoberfläche mit dem Steg **45** aufgebracht wird, und wird vorübergehend mit Cleco-Befestigungsmitteln oder einigen anderen entfernbaren vorübergehenden Befestigungsmitteln vorübergehend an den Steg befestigt. Wenn das Teil somit vorübergehend genau in Position befestigt ist, wird der Endeffektor **85** durch den Arm **80** der Pfostenfräse positioniert, um den Flansch des Teils an den Steg zu klemmen, ein Befestigungsmittelloch zu bohren und ein Befestigungsmittel für die Profilschneenelemente **40** und **42** einzuführen, wie es vorab beschrieben ist. Die Klemmkraft ist ausreichend, um überschüssiges Dichtungsmittel hinaus zu quetschen, so dass die Bohrspäne kein Dichtungsmittel darauf aufweisen,

welche das Spänenansaugsystem verstopfen könnten, und wobei verhindert wird, dass interlaminaire Grate zwischen das Teil **35** oder **47** und den Steg **45** eindringen.

[0070] Das halb automatisierte Verfahren, welches vorab erwähnt ist, verwendet dasselbe Bohrverfahren für Koordinierungslöcher, um die Anordnung der Rippenpfosten **35** und Aussteifungen **47** festzulegen, wie es vorab beschrieben ist. Da jedoch die Öffnung des C-Rahmens der Klemme **132** des Endeffektors nicht ausreichend tief ist, damit die Mittellinie des Endeffektors die inneren Befestigungsmittelstellen erreichen kann, müssen die Löcher ohne Einklemmen gebohrt werden, so dass wahrscheinlich interlaminaire Grate auftreten. Daher werden die Teile mit Cleco-Befestigungsmitteln oder dergleichen vorübergehend an dem Steg **45** befestigt und die Befestigungsmittellöcher werden mit dem Endeffektor **85** oder einem anderen nur bohrenden Endeffektor gebohrt. Die Cleco-Befestigungsmittel werden dann entfernt und die Teile und der Steg werden entgratet. Ein Dichtungsmittel wird auf die Passoberflächen aufgebracht und die Teile werden wieder mit Cleco-Befestigungsmitteln oder dergleichen vorübergehend an dem Steg **45** befestigt. Presspassungsbefestigungsmittel werden mit pneumatischen Antriebsvorrichtungen eingeführt und die Befestigungsmittel werden mit Gesenkansätzen oder Muttern in der gleichen Weise, wie es vorab beschrieben ist, befestigt. Wenn die Dehnung des Stegs in Längsrichtung aufgrund der Einführung der Presspassungsbefestigungsmittel im Wesentlichen abgeschlossen ist, kann die Position der bestimmten kritischen Merkmale nun erfasst werden und das Teilprogramm mit den aktuellen Abmessungen des zusammengebauten Holms aktualisiert werden. Unter Verwendung des aktualisierten Teilprogramms werden Koordinierungslöcher mit extremer Genauigkeit für zwei Anschlussstücke zur Verbindung eines Hauptfahrwerkträgers und bestimmte andere Anschlussstücke, wie z.B. Klappenhalteanschlussstücke und Querruderschwenkreihenhalterungen, gebohrt, wobei sie überhaupt nicht durch die Dehnung während der Montage beeinflusst werden. Der Holm ist nun vollständig und kann durch einen Kran von der Zelle entfernt werden und zu der Tragflächenbaureihe zur Montage in einer Tragfläche befördert werden.

[0071] Die digitale Produktdefinition oder das digitale Modell **150** ist die endgültige technische Instanz für das Produkt, in diesem Fall ein bestimmtes Modell eines Flugzeugs. Es existiert in einem Hauptcomputer **152** in einem computerunterstützten Entwurfsprogramm als das digitale Modell **150**, welches all die Abmessungen, Toleranzen, Materialien und Verfahren, welche das Produkt vollständig definieren, umfasst. Die Abmessungsdaten von dem Modell **150** werden in einer Datei einem NC-Programmierer oder einem automatischen Übersetzer zur Verfügung ge-

stellt, wo sie verwendet werden, um einen Datensatz **154** und Maschinenanweisungen zu erzeugen, wie z.B. einen Schneidevorrichtungstyp und eine Abmessung, Vorschubgeschwindigkeiten, und andere Information, welche von einer Steuerung der Pfostenfräse **75** eingesetzt wird, um die Arbeit des Arms **80** zu steuern. Der Datensatz und die Maschinenanweisungen werden in einem Postprozessor **156** gestartet, wo sie in eine maschinenlesbare Datei **158** gewandelt werden, welche zu einem Datenmanagementsystem **160** übertragen wird, wo sie für eine Verwendung durch die Steuerungen **162** der Pfostenfräse **75** gespeichert wird. Auf Anforderung wird die Datei **72** über Telefonleitungen **164** oder andere bekannte Kommunikationsmittel zu der Werkzeugmaschinensteuerung **162** übertragen, um durch die Steuerung beim Betrieb der Pfostenfräse **75** eingesetzt zu werden.

[0072] Zurück zum Bezug auf [Fig. 7A](#), [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#), wobei die Biegung oder der Knick **46** in dem Holm mit einem Winkel auftritt, welcher für jedes Flugzeugmodell einzigartig ist. Damit Tragflächenholme von verschiedenen Flugzeugmodellen auf der Montagezelle **50** ausgebildet werden können, sind die Stützen **52** auf der inneren Seite der Biegung **46** auf einer Platte **170** montiert, welche für eine Drehung um eine vertikale Achse **172** drehbar montiert ist, welche derart eingestellt ist, dass sie mit der "K"-Achse der Biegung **46** übereinstimmt. Die obere Oberfläche der Platte **170** weist ein Paar von parallelen Vertiefungen **174** auf, um die Führungen **54** aufzunehmen, auf welchen ungefähr sechs Stützen **52** gleitend montiert sind. Eine kugelförmigen Fassung **176** auf dem Ende einer Tragfläche **178**, welche von der vorderen inneren Ecke der Platte hervorragt, hat eine kugelförmige Lagerkugel aufgenommen, wodurch sich die Platte um die Achse **172** drehen kann, wenn sie durch Luftlager auf der Unterseite der Platte **170** angehoben wird. Und eine Zunge **180**, welche von dem rückseitigen distalen Ende der Platte **170** hervorragt, weist ein Präzisionsindexloch **182** auf, um einen Indexstift aufzunehmen, durch welchen die Platte mit einem Präzisionsloch in einer Platte, welche in dem Boden befestigt ist, gerastet werden kann. Eine Konfiguration der Zelle **50** zur Montage eines Holms eines bestimmten Modells ist einfach ein Vorgang einer Bewegung der Platte **170** mit ihren Luftlagern und ein Bewegen von ihr zu der Position, welche dadurch spezifiziert ist, welches Indexloch **182** in der Zunge **180** mit dem Indexloch in der Bodenplatte ausgerichtet ist, und eines Abschaltens des Luftlagers, damit die Platte in einen harten Kontakt mit dem Boden abgesetzt werden kann. Die Platte **170** ist ein Aluminiumussteil, welches ungefähr 27 Fuß lang und 6 Fuß breit ist. Ihr Gewicht liegt in der Größenordnung von 5000 Pfund, auch mit einer X-Befestigungskonstruktion auf ihrer Unterseite, wie es in [Fig. 32](#) dargestellt ist, so dass sie ihr Gewicht und die Halterungen an der Zunge **182** und an der

Tragfläche **178** sicher an dem Boden verankern.

Anfänglicher Aufbau der Zelle

[0073] Wenn die Zelle **50** zuerst aufgebaut wird und zum Betrieb vorbereitet wird, wird eine Reihe von Indexlöchern **185**, eines für jeden Holm eines auf dieser Zelle **50** zu bauenden Flugzeugmodells für jede Stütze gebohrt, wie es in [Fig. 12–Fig. 15](#) dargestellt ist. Die Position der Stützen **52** entlang der Schienen wird dann einfach eingestellt, indem ein Indexstift **187** in eine Zunge **190** der Vorderseite jeder Stütze **52** in das richtige Indexloch **185** eingeführt wird, welches geeignet beschriftet ist, um eine rasche und sichere Identifizierung durch die Arbeiter für diesen Zweck zu ermöglichen.

[0074] Die vertikale Position der Pogo-Vorrichtungen **56** wird eingestellt, indem Servomotoren **192** eingestellt werden, welche Kugelgewindespindel antreiben, die in eine Führung, welche auf vertikalen Führungen in den Stützen **52** angebracht ist, eingelegt ist. Die Pfostenfräse **75** untersucht die Pogo-Vorrichtungen, um zu bestätigen, dass die richtige vertikale Position erreicht worden ist und erstellt eine Korrektur für die Servomotoren, wenn die vertikale Position nicht richtig ist.

[0075] Die Pogo-Vorrichtungen **56** werden durch Druckluftzylinder **194**, in welchen die Stangen **196** der Pogo-Vorrichtungen angebracht sind, vollständig ausgefahren. Die Zylinder werden belüftet und die Pfostenfräse **75** fährt ihren Arm **80** in einen Kontakt mit der gegenüberliegenden Oberfläche **72** der Pogo-Vorrichtung aus, um jede zu der erwünschten Position zurück zu schieben, worauf eine pneumatische Verriegelung **200** betätigt wird, um die Pogo-Vorrichtungen **56** in der erwünschten Position zu verriegeln.

[0076] Die Haltearme **60** werden durch Indexstifte **202** an den Stützen **52** gerastet und durch Befestigungsmittel **204** befestigt. Wie in [Fig. 3](#) und [Fig. 33–Fig. 36](#) dargestellt ist, hält eine Endplatte **206** auf dem Ende jedes Stützarms **60** eine Positionierungsbaugruppe **210** für die Indexstifte **64** und **66**. Der erste Schritt beim Einstellen der Position der Indexstifte **64** und **66** ist, die Fläche der Endplatten **206** "plan abzarbeiten" oder zu fräsen, so dass sie auf einer vertikalen Ebene und an der richtigen seitlichen Position in der Zelle **50** liegen. Eine vertikale Schwalbenschwanzvertiefungsplatte **212** ist durch Indexstifte in Koordinierungslöchern auf der Endplatte **206** angeordnet, welche in der vertikalen Schwalbenschwanzfalzplatte **212** vorgebohrt und mit entsprechenden Koordinierungslöchern ausgerichtet sind, welche durch die Pfostenfräse **75** in die Endplatte **206** gebohrt sind. Wie am besten in [Fig. 36](#) dargestellt ist, ist eine Schwalbenschwanzzapfenplatte **215**, welche einen vertikalen Schwalbenschwanzzapfen auf ihrer rückseitigen Oberfläche und einen

horizontalen Schwalbenschwanzzapfen auf ihrer vorderen Oberfläche aufweist, für eine vertikale Einstellung auf der vertikalen Schwalbenschwanzfalzplatte **212** angebracht, wobei sich der vertikale Zapfen auf der Platte **215** in der Falz der Platte **212** befindet und hierdurch eine obere Platte **216** verriegelt wird, wenn er sich in der richtigen Höhe in der "Y"-Richtung befindet, was durch den Fühler auf dem Arm **80** der Pfostenfräse überprüft wird. Eine horizontale Schwalbenschwanzfalzplatte **218** ist auf dem horizontalen Zapfen der Schwalbenschwanzzapfenplatte **215** für eine horizontale Einstellung parallel zu der "X"-Achse angebracht. Ein Stift **220**, welcher an der Schwalbenschwanzzapfenplatte **215** angebracht ist und von dieser nach vorn hervorragt, ist in einem Verriegelungsblock **222** aufgenommen, an welchem eine Montageplatte **224** für die Indexstifte **64** und **66** angebracht ist. Der Verriegelungsblock **222** weist eine vertikale Lochöffnung in seiner unteren Kante auf, um einen Kugelverriegelungsstift aufzunehmen, welcher durch ein entsprechendes vertikales Loch in einer Basisplatte **230** nach oben verläuft und wiederum an der unteren Kante der Schwalbenschwanzzapfenplatte **215** angebracht ist. Der Verriegelungsblock **222** kann in einer Position gegen eine horizontale Bewegung verriegelt werden, während seine Position während der Untersuchungsroutine durch den Fühler überprüft wird, welcher von dem Arm **80** der Pfostenfräse gehalten wird, und kann dann für eine horizontale Bewegung in der "X"-Richtung während einer Längsdehnung des Holms **30** aufgrund einer Wärmeausdehnung und Montage von Presspassungsbefestigungsmitteln gelöst werden. Der Kugelverriegelungsstift **226** auf der Positionierungsbaugruppe **210**, auf welcher der primäre Indexstift **64** montiert ist, wird in seiner verriegelten Position zurückgehalten, um die "X"-Referenzposition festzulegen, von welcher aus die Dehnung in Richtung "X"-Achse auftritt.

[0077] Somit wird ein System offenbart, welches einsetzbar ist, um Rippen und Holme einer Flugzeugtragfläche mit einem hohen Grad an Präzision zu montieren. Das bestimmende Montagekonzept, welches in dieser Offenbarung verwirklicht ist, verwendet die räumlichen Beziehungen zwischen Schlüsselmerkmalen von Kleinteilen und Unterbaugruppen, wie sie in dem digitalen Entwurf definiert sind und durch Koordinierungslöcher und andere Koordinierungsmerkmale repräsentiert werden, welche durch ein numerisch gesteuertes Werkzeug in Teilen und Unterbaugruppen angebracht werden, wobei die originalen Teilentwurfdaten von der technischen Instanz verwendet werden, um die relative Stellung der Kleinteile in den Unterbaugruppen und die relative Beziehung der Unterbaugruppen zueinander zu steuern, wodurch die Teile und die Unterbaugruppen selbst lokalisierend ausgebildet werden. Dieses Konzept vermeidet die Anforderung nach traditionellem schwerem Werkzeug, welches über Dekaden in der Flugwerkzeugindustrie eingesetzt wurde, und zum ersten Mal

wird eine Montage von großen, schweren, flexiblen und halbflexibeln mechanischen Strukturen ermöglicht, wobei die Kontur der Struktur und die relativen Abmessungen innerhalb der Struktur durch die Teile selbst und nicht durch das Werkzeug bestimmt werden.

[0078] Auf diese Weise befreit von der Abhängigkeit eines befestigten Werkzeugs kann der Tragflächenholm nun derart gebaut werden, dass er an eine Verformung angepasst wird, welche durch Fertigungsverfahren, wie z.B. Presspassungsbefestigungsmittel und Kaltverfestigung, erzeugt wird, so dass das Anbringen von kritischen Merkmalen auf der Tragfläche an präzise genauen Positionen, welche durch den technischen Entwurf spezifiziert sind, bei dem Herstellungsverfahren nach einer Verformung durch die vorherigen Verfahren festgelegt wird, welche ihre Position oder Orientierung auf der Tragfläche beeinflussen könnten. Die Fabrik kann nun Tragflächenholme einer beliebigen Form und Größe innerhalb des physikalischen Bereiches der CNC-Werkzeugmaschinen herstellen, für welche technische Daten vorhanden sind, und dies schneller und mit einer weit größeren Genauigkeit, als es mit einem befestigten Werkzeug möglich war, durchführen. Die Kosten zur Ausbildung und Wartung des konventionellen Tragflächenholmwerkzeugs und der Flächenbedarf in der Fabrik für solch ein befestigtes Werkzeug müssen nicht länger amortisiert werden und in dem Preis des Flugzeugs berücksichtigt werden, und es ist nun möglich, Holme für kundenspezifische Tragflächen zu bauen, um die besonderen Anforderungen von bestimmten Kunden zu erfüllen.

[0079] Offensichtlich sind zahlreiche Modifikationen und Variationen des hier offenbarten Systems für den Fachmann in Anbetracht dieser Offenbarung zu erkennen. Der Umfang der Erfindung ist durch die folgenden Ansprüche definiert.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen von Tragflächenholmen (30), umfassend:

- Aufhängen eines Steges (45) an einer Spannvorrichtung;
- Untersuchen des Steges (45) durch einen Fühler, welcher durch ein numerisch gesteuertes Maschinenwerkzeug gehalten wird, um die räumliche Position einer Mehrzahl von kritischen Koordinierungsmerkmalen auf dem Steg genau zu bestimmen;
- Normieren eines Maschinenwerkzeugprogramms, welches Positionen der Koordinierungsmerkmale aufweist, mit den tatsächlichen Positionen der Koordinierungsmerkmale im Raum, wie sie durch den Fühler bestimmt sind;
- Bohren von einer Mehrzahl von Stegkoordinierungslöchern in den Steg, wobei ein numerisch gesteuertes Maschinenwerkzeug (75) eingesetzt wird,

welches mit einem Programm läuft, das eine digitale Tragflächenproduktdefinition von einer Dienststelle für technische Daten enthält, wobei die Stegkoordinierungslöcher genau in einer vorbestimmten Position derart auf dem Steg angeordnet sind, dass obere und untere Holmprofilsehnelemente (40, 42) auf dem Steg mit einem vertikalen Abstand zwischen ihnen, welcher durch das digitale Tragflächenprodukt spezifiziert ist, positioniert werden können;

- Klemmen der Holmprofilsehnelemente an den Steg; und
- Befestigen der Holmprofilsehnelemente an dem Steg in der vorbestimmten Position, welche durch die digitale Tragflächenproduktdefinition spezifiziert ist.

2. Verfahren zur Herstellung von Tragflächenholmen nach Anspruch 1, weiter umfassend:

- Bohren von Koordinierungslöchern in den Steg (45) für Rippenstäbe (35) nach einem Verspannen des Stegs mit Presspassungsbefestigungsmitteln stromaufwärts der Rippenstabposition.

3. Verfahren zur Herstellung von Tragflächenholmen nach Anspruch 1 oder 2, weiter umfassend:

- Endtrimmen des Holms zu einer Länge, welche durch die digitale Produktdefinition bestimmt wird, nach Verspannung durch die Presspassungsbefestigungsmittel (90).

4. Verfahren zur Herstellung von Tragflächenholmen nach Anspruch 1, 2 oder 3, weiter umfassend:

- Montieren eines Holmprofilsehnelementmessinstruments (105, 107) auf dem Steg durch die Koordinierungslöcher, wobei das Holmprofilsehnelementmessinstrument obere und untere Referenzoberflächen (110, 112, 114, 116) aufweist, welche um eine Entfernung vertikal beabstandet sind, die gleich einer vertikalen Spanne ist, welche durch das digitale Tragflächenprodukt für die oberen und unteren Profilsehnelemente spezifiziert ist, wobei der vertikale Abstand der Holmprofilsehnelemente gleich der vertikalen Spanne ist;
- Klemmen der Holmprofilsehnelemente an das Messinstrument; und
- Befestigen der Holmprofilsehnelemente an dem Steg in der vorbestimmten Position, welche durch die digitale Tragflächenproduktdefinition spezifiziert ist.

5. Verwendung eines tragbaren Profilsehnelementlokalisierungswerkzeugs (95) bei einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1–4, wobei das Profilsehnelementlokalisierungswerkzeug (95) zur Montage eines Stegs verwendet wird, um ein Paar Profilsehnelemente (40, 42), welche Referenzoberflächen mit einem bestimmten erwünschten vertikalen Abstand und einer Position auf einem Steg aufweisen, zu positionieren, umfassend:

- einen länglichen Körper mit oberen und unteren Kontaktflächen (110, 112, 114, 116) benachbart zu oberen und unteren Enden des länglichen Kör-

pers;

- Koordinierungsmerkmale auf dem Körper an Positionen, welche Koordinierungsmerkmalen auf dem Steg entsprechen, so dass eine Eintragung der Koordinierungsmerkmale auf dem Körper und dem Steg den Körper auf dem Steg mit den Kontaktoberflächen an der gewünschten Position der Referenzoberflächen relativ zu dem Steg positionieren;
- wobei der Körper durch Eintragung der Koordinierungsmerkmale des Körpers mit den Koordinierungsmerkmalen des Stegs auf dem Steg positioniert wird und daran befestigt wird, und die Profilschneenelemente im Kontakt mit den Kontaktoberflächen des Körpers derart angeordnet werden, dass die Profilschneenelemente an der gewünschten Position relativ zueinander und dem Steg genau angeordnet werden.

6. Verwendung eines Profilschneenelementlokalisierungswerkzeugs (95) nach Anspruch 5, wobei das Profilschneenelementlokalisierungswerkzeug weiter umfasst:

- Abstandsteile auf dem Körper, um den Steg an bestimmten Positionen unbehindert zu berühren;
- wobei der Körper parallel zu dem Steg liegt, wenn die Koordinierungsmerkmale eingetragen werden und wenn sich die Abstandsteile in Berührung mit dem Körper befinden und der Körper an dem Steg befestigt wird.

7. Verwendung eines Profilschneenelementlokalisierungswerkzeugs (95) nach Anspruch 6, wobei:

- die Koordinierungsmerkmale in dem Körper des Profilschneenelementlokalisierungswerkzeugs ein Koordinierungsloch durch mindestens eines der Abstandsteile aufweisen, wobei das Koordinierungsloch derart ausgelegt wird, dass es ein temporäres Befestigungsmittel aufnimmt, um den Körper vorübergehend an dem Steg zu befestigen.

8. Verwendung eines Profilschneenelementlokalisierungswerkzeugs (95) nach einem der Ansprüche 5–7, wobei:

- die Koordinierungsmerkmale und die Kontaktoberflächen auf dem Körper des Profilschneenelementlokalisierungswerkzeugs durch das Maschinenwerkzeug unter Steuerung der Maschinensteuereinheit bearbeitet werden, wobei Daten von der digitalen Produktdefinition verwendet werden.

9. Verfahren zur Herstellung von Tragflächenholmen nach einem der Ansprüche 1–4, umfassend:

- Normieren eines Maschinenwerkzeugprogramms, welches Positionen der Koordinierungsmerkmale aufweist, mit den tatsächlichen Positionen der Koordinierungsmerkmale im Raum, wie sie durch den Fühler bestimmt werden;
- Bohren von Profilschneenelementlokalisierungswerkzeug-Koordinierungslochern mit dem Maschinenwerkzeug (75), wobei das normierte Maschinen-

werkzeugprogramm verwendet wird, um einen Bohrer, welcher durch das Maschinenwerkzeug gehalten wird, zu Positionen zu führen, um die Profilschneenelementlokalisierungswerkzeuge auf dem Steg zu montieren;

- vorübergehendes Montieren der Profilschneenelementlokalisierungswerkzeuge (95) nach einem der Ansprüche 5–10 auf dem Steg mit Befestigungsmitteln durch die Profilschneenelementlokalisierungswerkzeug-Koordinierungslöcher, wobei jedes Profilschneenelementlokalisierungswerkzeug obere und untere Kontaktoberflächen darauf mit vertikalen Abständen aufweist, welche einem erwünschten vertikalen Abstand der Profilschneenelemente (40, 42) auf dem Steg entsprechen;

- Halten der oberen und unteren Profilschneenelemente auf den oberen und unteren Kontaktoberflächen der Profilschneenelementlokalisierungswerkzeuge an genauen Positionen entlang von oberen und unteren Kanten des Stegs;

- Klemmen der oberen und unteren Profilschneenelemente an den Steg an den Kantenpositionen;
- Bohren von Befestigungslöchern durch die oberen und unteren Profilschneenelemente und den Steg und Einführen von Befestigungsmitteln in die Befestigungslöcher;

- Festziehen der Befestigungsmittel in den Befestigungslöchern, um die oberen und unteren Holmprofilschneenelemente an dem Steg sicher zu befestigen; und

- Entfernen der Profilschneenelementlokalisierungswerkzeuge.

10. Verfahren nach Anspruch 9, weiter umfassend:

- Trimmen von Enden der oberen und unteren Profilschneenelemente und Endkanten des Stegs während sie noch in der vorbestimmten räumlichen Orientierung gehalten werden, um den Steg und die Profilschneenelemente nach einer Dehnung aufgrund der Beeinflussung zwischen den Befestigungsmitteln und den Profilschneenelemente und dem Steg auf eine erwünschte Länge genau zu trimmen.

11. Verfahren nach Anspruch 2, wobei:

- die Bohr- und Trimm-Schritte Bohrer und Schneidwerkzeuge verwenden, welche in dem Maschinenwerkzeug (75) gehalten werden, wobei das Maschinenwerkzeug zu Bohrpositionen und den Trimmoberflächen geführt wird, wobei ein Maschinensteuerprogramm verwendet wird, welches auf einem digitalen Datensatz basiert, welcher von digitalen technischen Teildefinitionseinträgen entnommen wird.

12. Verfahren nach Anspruch 9, 10 oder 11, wobei:

- das Positionieren ein Montieren des Stegs auf einem Haltepfosten (52) unter Verwendung eines Stifts auf dem Haltegestell durch ein Koordinierungsloch in dem Steg, und ein Halten des Stegs unbeweglich auf

dem Haltegestell umfasst.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9–12, weiter umfassend:

- Bohren von Rippenstabkoordinierungslöchern in den Steg mit dem Maschinenwerkzeug an Positionen, welche mit entsprechenden Koordinierungslöchern in den Rippenstäben übereinstimmen, so dass die Rippenstäbe genau angeordnet werden, wenn die Koordinierungslöcher in den Rippenstäben und dem Steg ausgerichtet werden.

14. Verfahren nach Anspruch 13, weiter umfassend:

- Montieren der Rippenstäbe an dem Steg, wobei die Profilschneenelementlokalisierungswerkzeug-Koordinierungslöcher in dem Steg verwendet werden.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, weiter umfassend: Messen von kritischen Abständen und Referenz-Abständen des Haltegestells mit Messsensoren, welche durch das Maschinenwerkzeug getragen werden, um die Genauigkeit der Position des Haltegestells und die Genauigkeit des Maschinenwerkzeugs zu bestätigen, um zu bestätigen, dass der Steg, welcher auf das Haltegestell geladen ist, dem Datensatz entspricht, welcher in den Computer geladen ist, und um einen Versatzumfang zu ermitteln, um welchen die Daten für das Teil versetzt sein können, wenn die Fläche gebohrt und geführt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–4, wobei die Profilschneenelemente zwischen sich ein kritisches Dickenprofil für eine Tragfläche definieren, in welcher die Tragflächenkomponente zu installieren ist, umfassend:

- Festhalten des Stegs in einer vorbestimmten räumlichen Orientierung, welche für ein Präzisionsmaschinenwerkzeug zugänglich ist, welches durch eine Computer betriebene Maschinensteuereinheit gesteuert wird;
- Herstellen eines Steuerprogramms für die Steuereinheit mit Daten von digitalen Teildefinitionseinträgen bei einer technischen Dienststelle für das Teil;
- Laden und laufen lassen des Steuerprogramms, um die Steuereinheit zu betreiben und das Maschinenwerkzeug anzutreiben, um Koordinierungsmerkmale in dem Steg mit Schneidwerkzeugen, welche in dem Maschinenwerkzeug montiert sind, zu bearbeiten;
- Erfassen der Koordinierungsmerkmale relativ zu Koordinierungsmerkmalen auf den Profilschneenelementen, um die Profilschneenelemente an den vorbestimmten Positionen auf dem Steg mit einem hohen Grad an Genauigkeit anzuordnen;
- Klemmen der Profilschneenelemente an den Steg an den vorbestimmten Positionen auf dem Steg und mit den vorbestimmten vertikalen Abständen zwischen den Profilschneenelementen; und
- Befestigen der Profilschneenelemente an dem Steg

an den vorbestimmten Positionen davon.

17. Verfahren zum Zusammenbau einer Flugzeugtragflächenkomponente nach Anspruch 16, wobei das Befestigen der Profilschneenelemente an dem Steg umfasst:

- Bohren von Befestigungslöchern durch den Steg und die Profilschneenelemente, wobei ein Bohrer in dem Maschinenwerkzeug unter Steuerung der Steuereinheit verwendet wird, welche mit einem Programm programmiert ist, das die digitalen Tragflächenproduktdefinitionsdaten enthält, welche Positionen der Befestigungslöcher spezifizieren; und
- Einführen von Befestigungsmitteln in die Löcher und Befestigen der Befestigungsmittel an der Stelle, um die Profilschneenelemente sicher an dem Steg zu befestigen.

18. Verfahren zum Zusammenbau einer Flugzeugtragflächenkomponente nach Anspruch 16 oder 17, weiter umfassend:

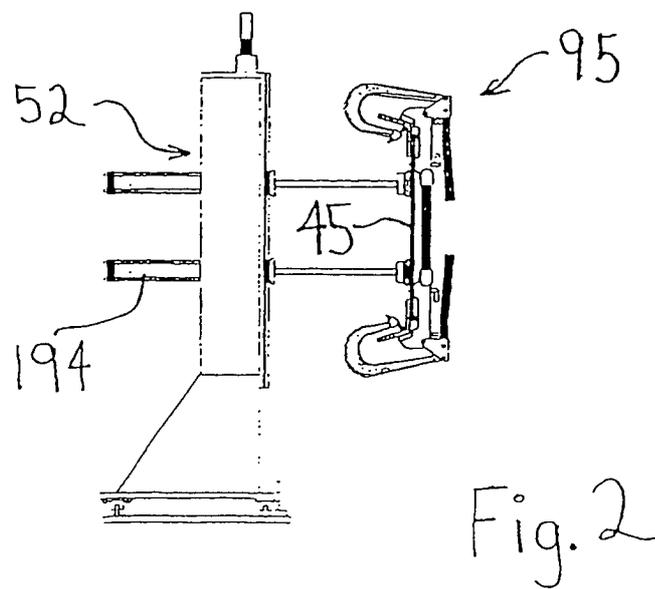
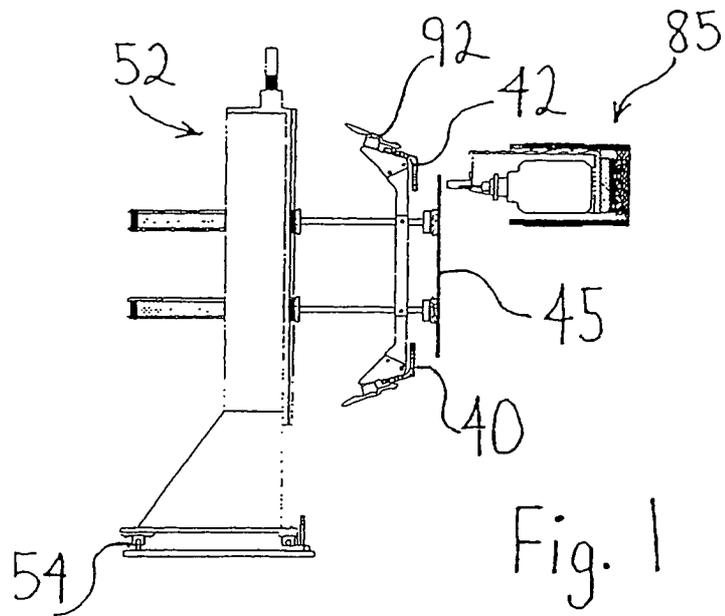
- Trimmen des Stegs und der Profilschneenelemente auf eine Tragflächenkomponentenlänge, welche in der digitalen Produktdefinition spezifiziert ist, wobei ein Schneidwerkzeug in dem Maschinenwerkzeug unter Steuerung der Steuereinheit verwendet wird, welche mit einem Programm programmiert ist, welches die digitalen Tragflächenproduktdefinitionsdaten, welche die Tragflächenkomponentenlänge spezifizieren, enthält.

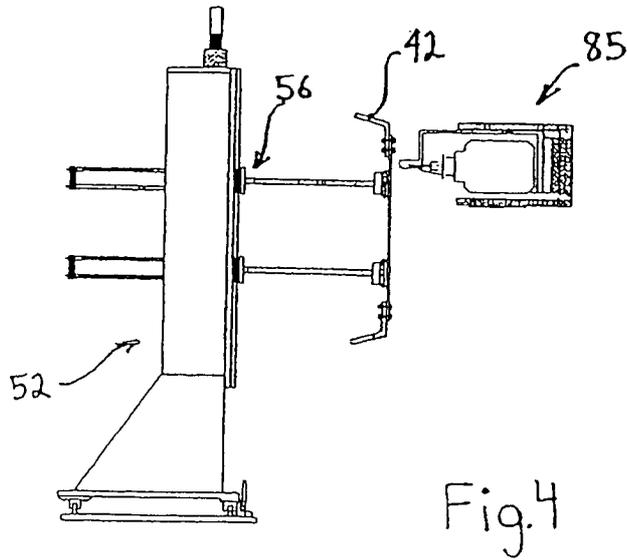
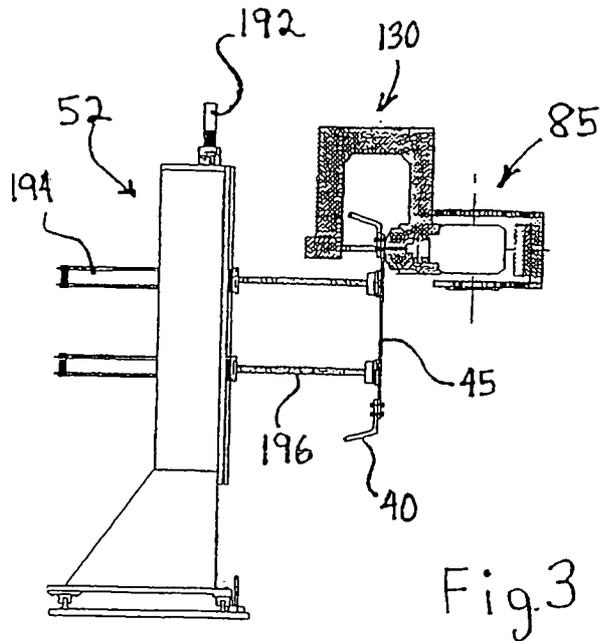
19. Verfahren zum Zusammenbau einer Flugzeugtragflächenkomponente nach Anspruch 16, 17 oder 18, weiter umfassend:

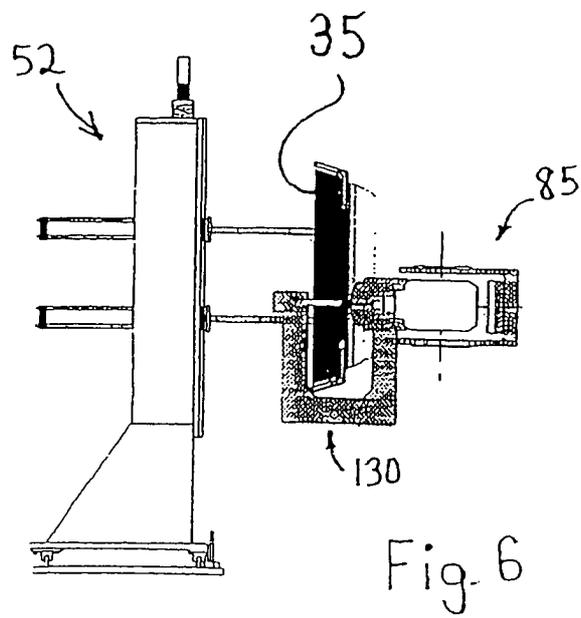
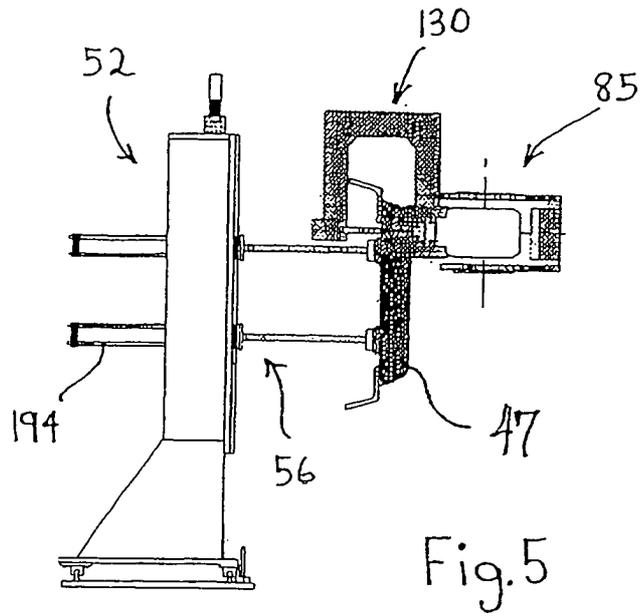
- nach Fertigstellung des Befestigungsschritts und Dehnung der Tragflächenkomponentenlänge, was durch den Befestigungsschritt verursacht wird, Bohren von mindestens einem Installationskoordinierungsloch in die Tragflächenkomponente, wobei ein Bohrer in dem Maschinenwerkzeug unter Steuerung der Steuereinheit verwendet wird, welche mit einem Programm programmiert ist, welches die digitalen Tragflächenproduktdefinitionsdaten enthält, welche eine Position des Installationskoordinierungslochs spezifiziert, welches die Tragflächenkomponente an einer Position in der Tragfläche anordnet, wenn das Installationskoordinierungsloch mit entsprechenden Koordinierungsmerkmalen in anderen Tragflächenkomponenten in der Tragfläche ausgerichtet wird.

Es folgen 31 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen







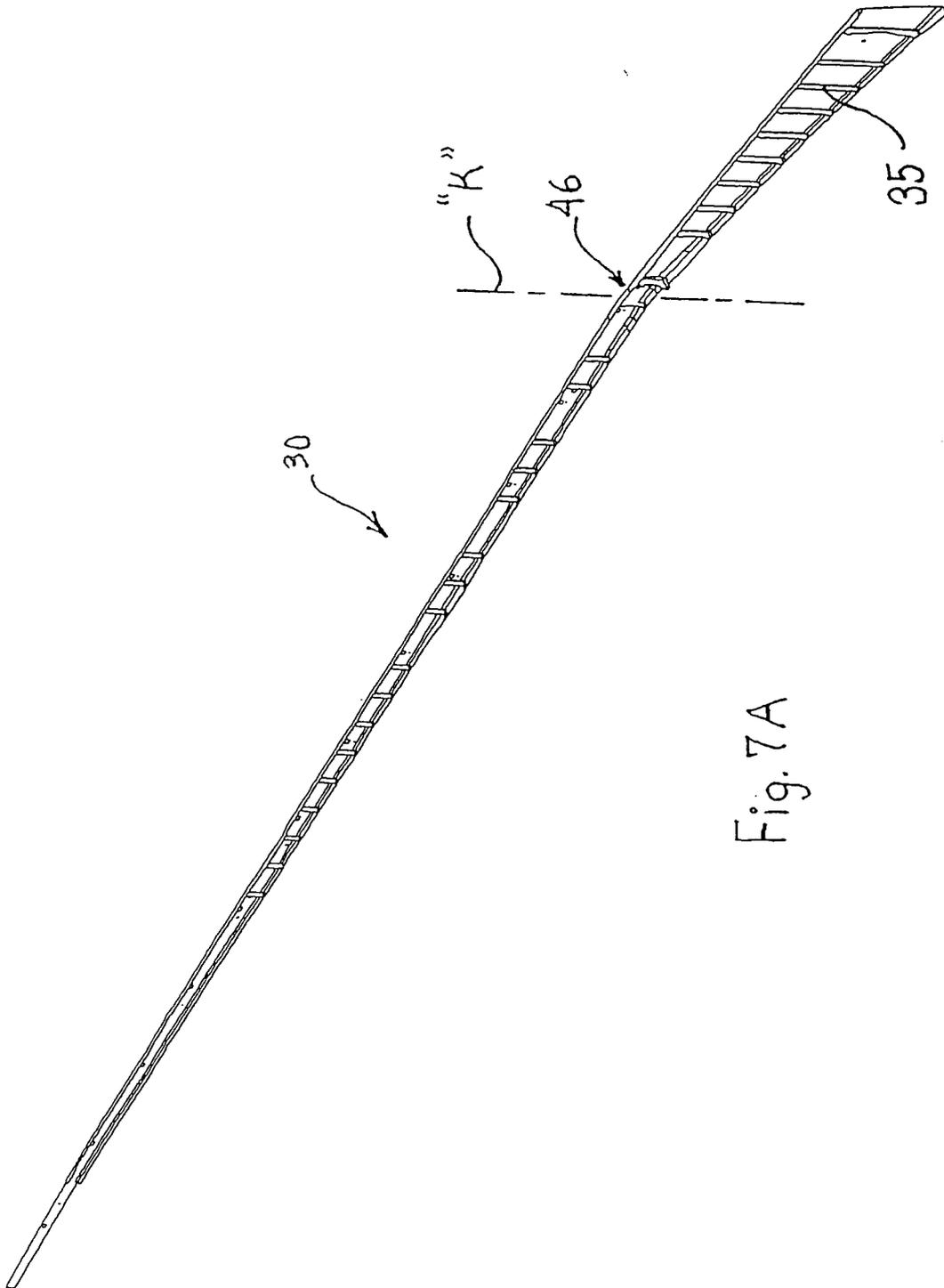


Fig. 7A

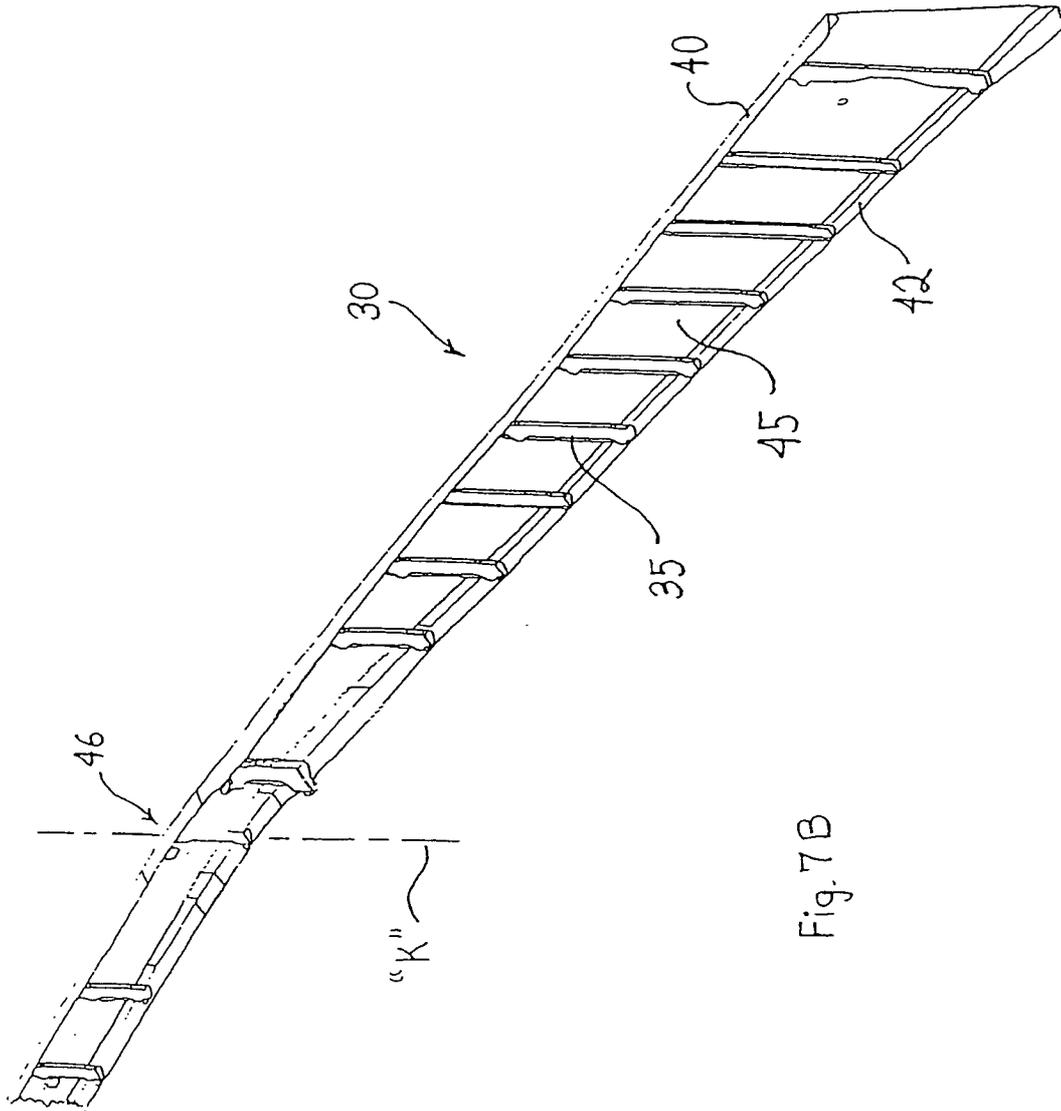


Fig. 7 B

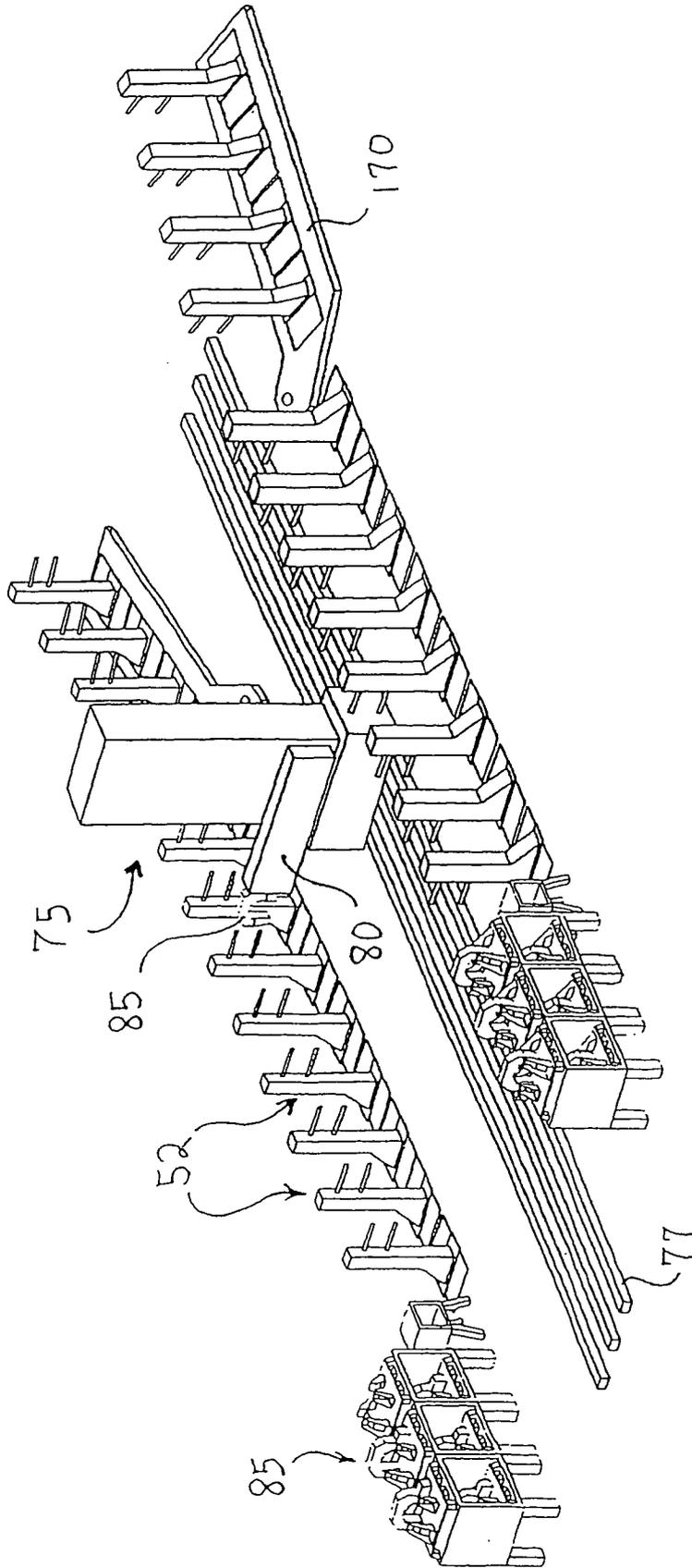


Fig. 8

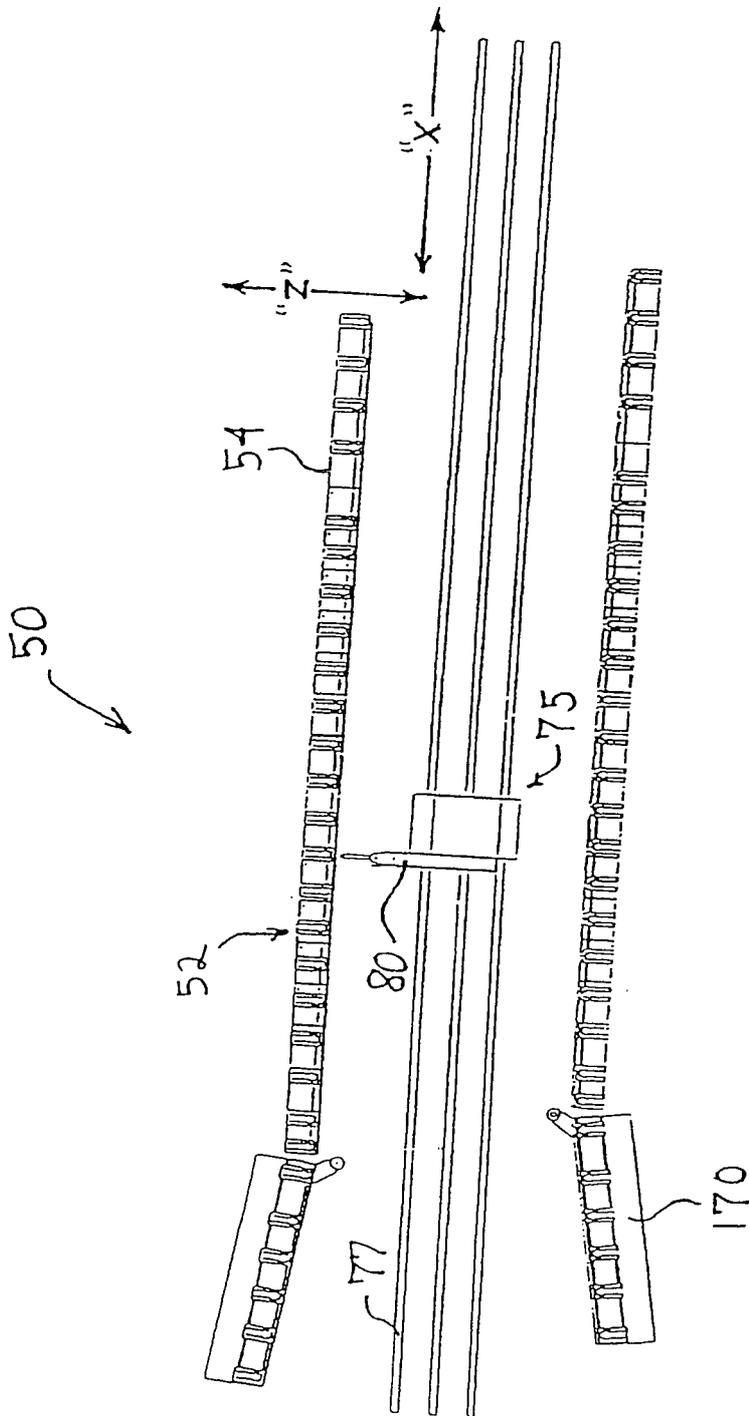


Fig. 9

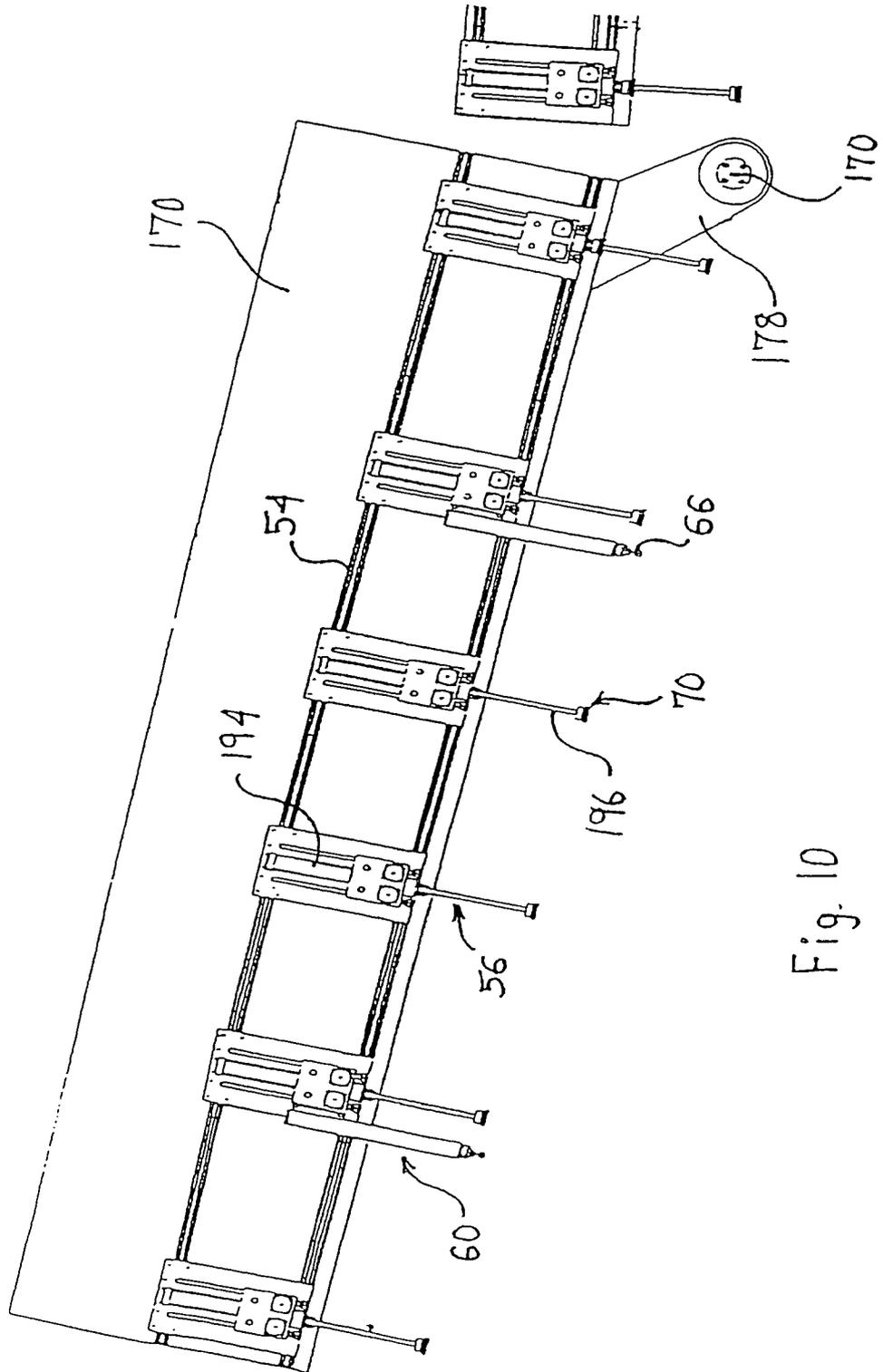


Fig. 10

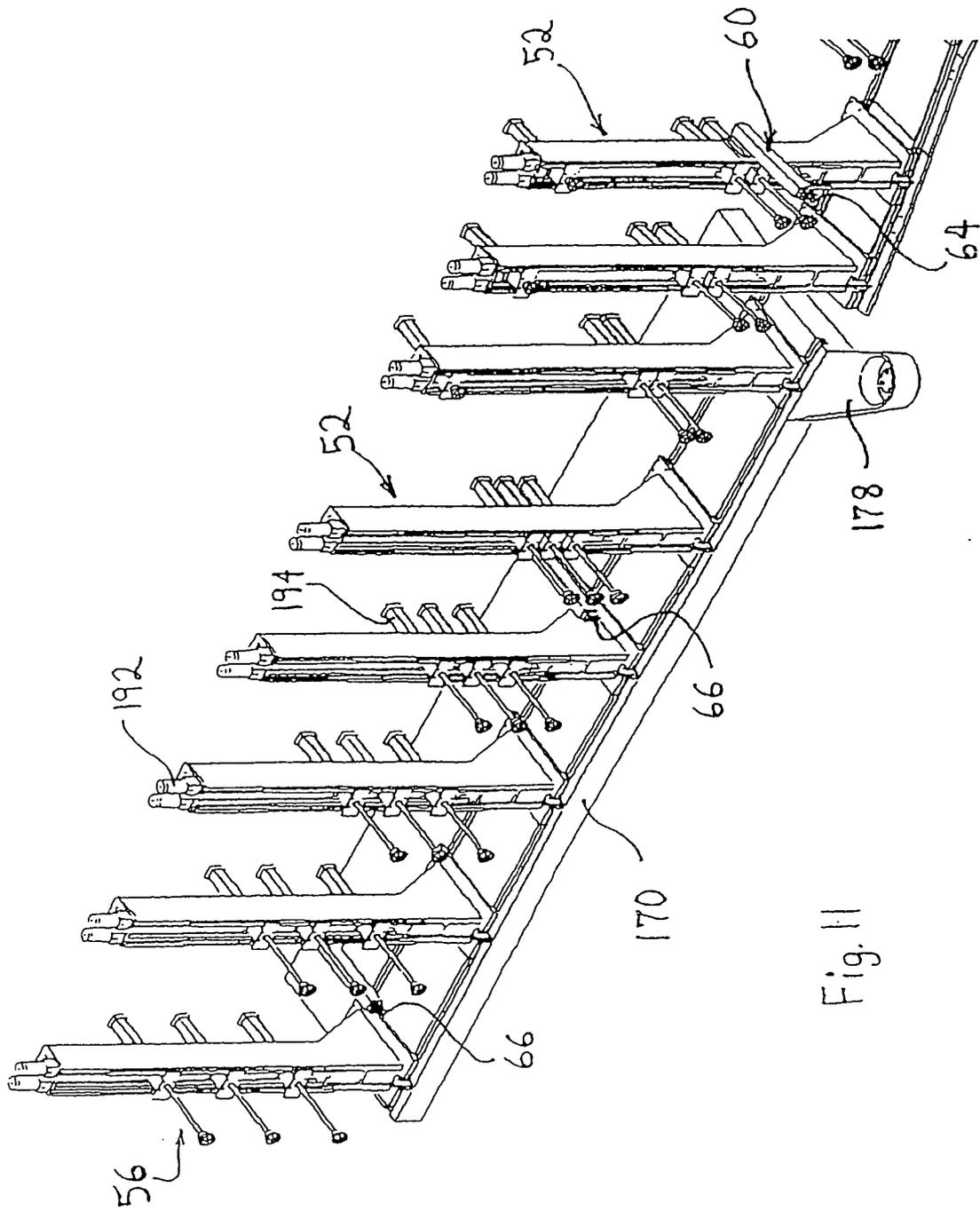


Fig. 11

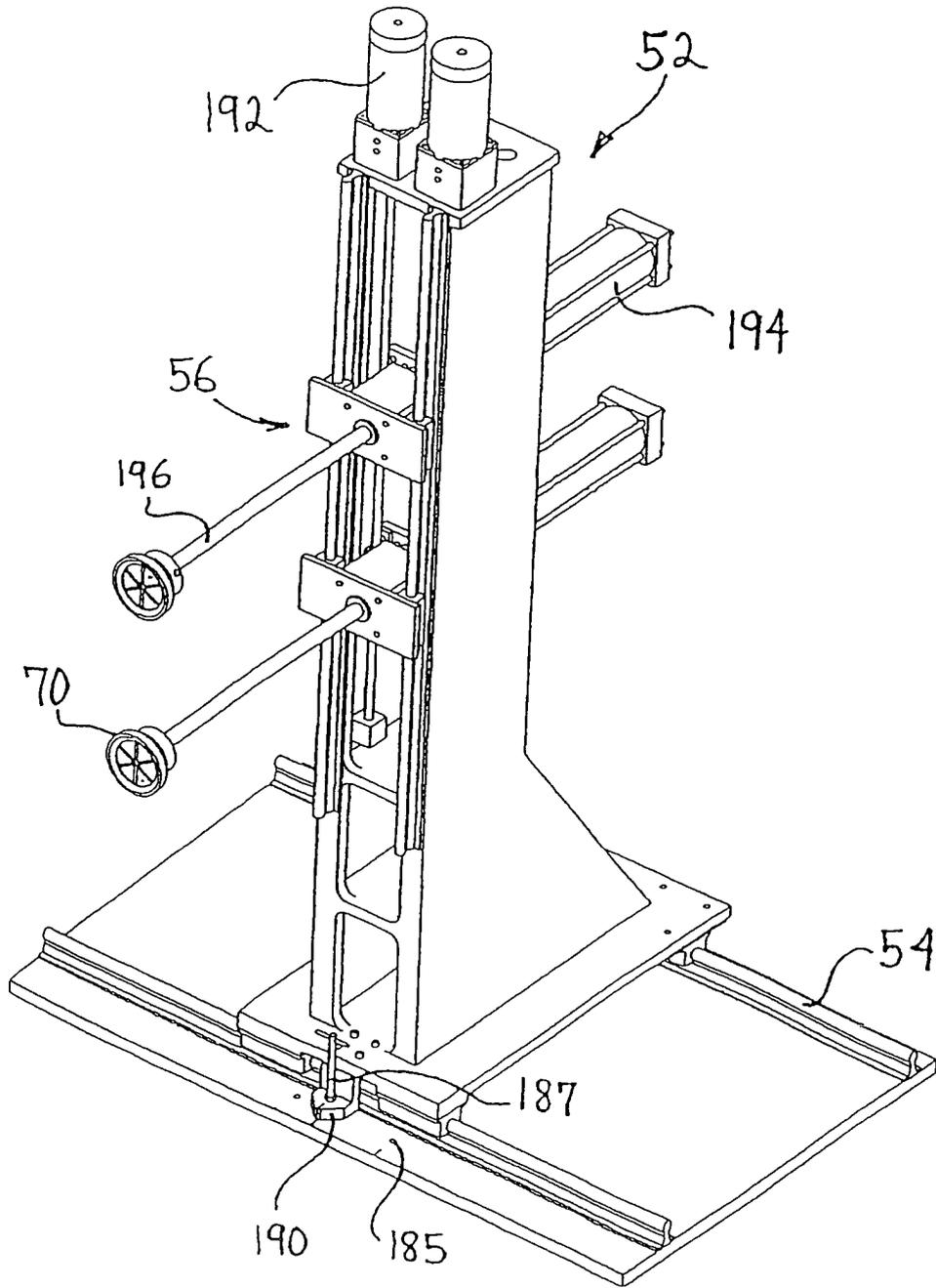
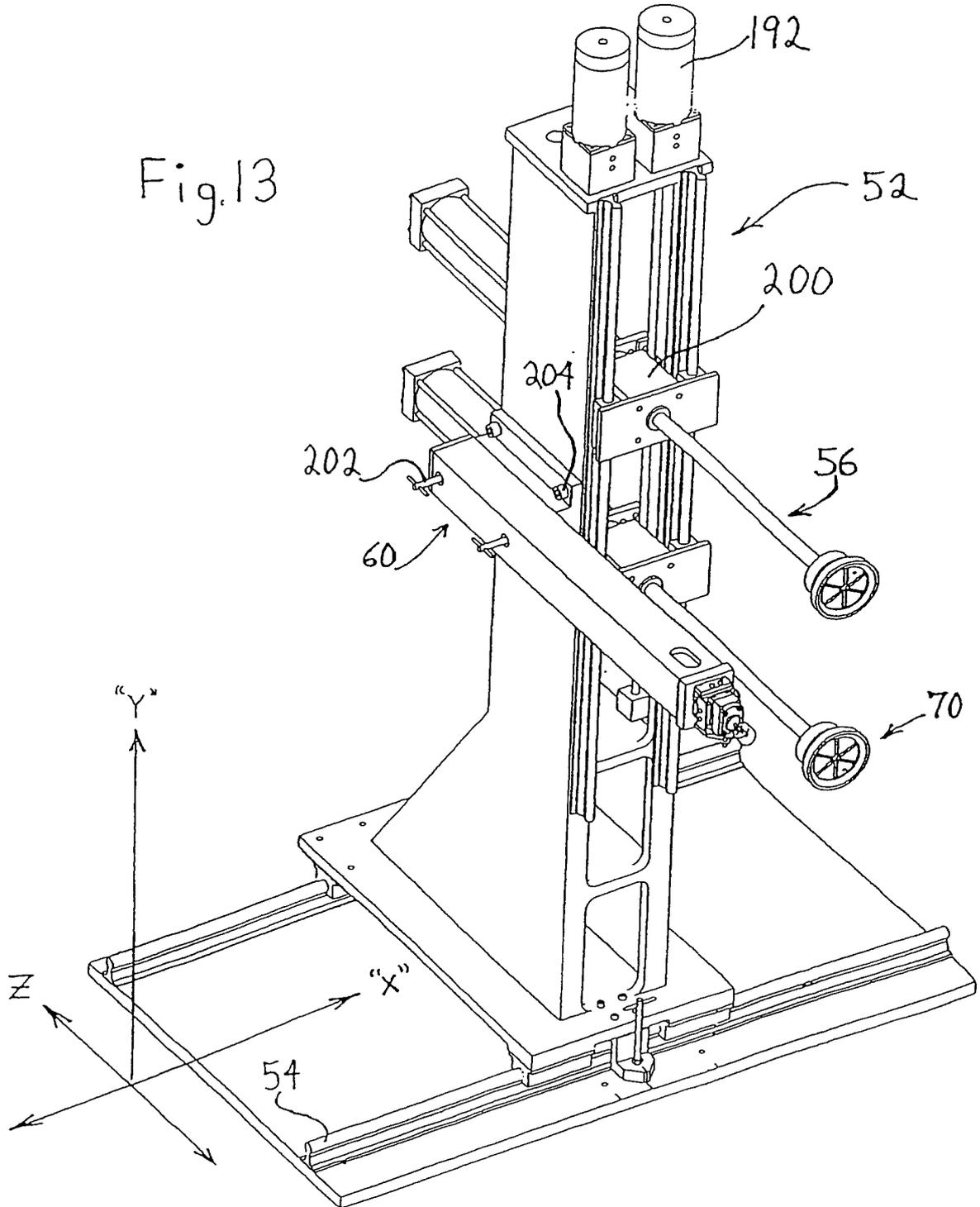


Fig.12

Fig.13



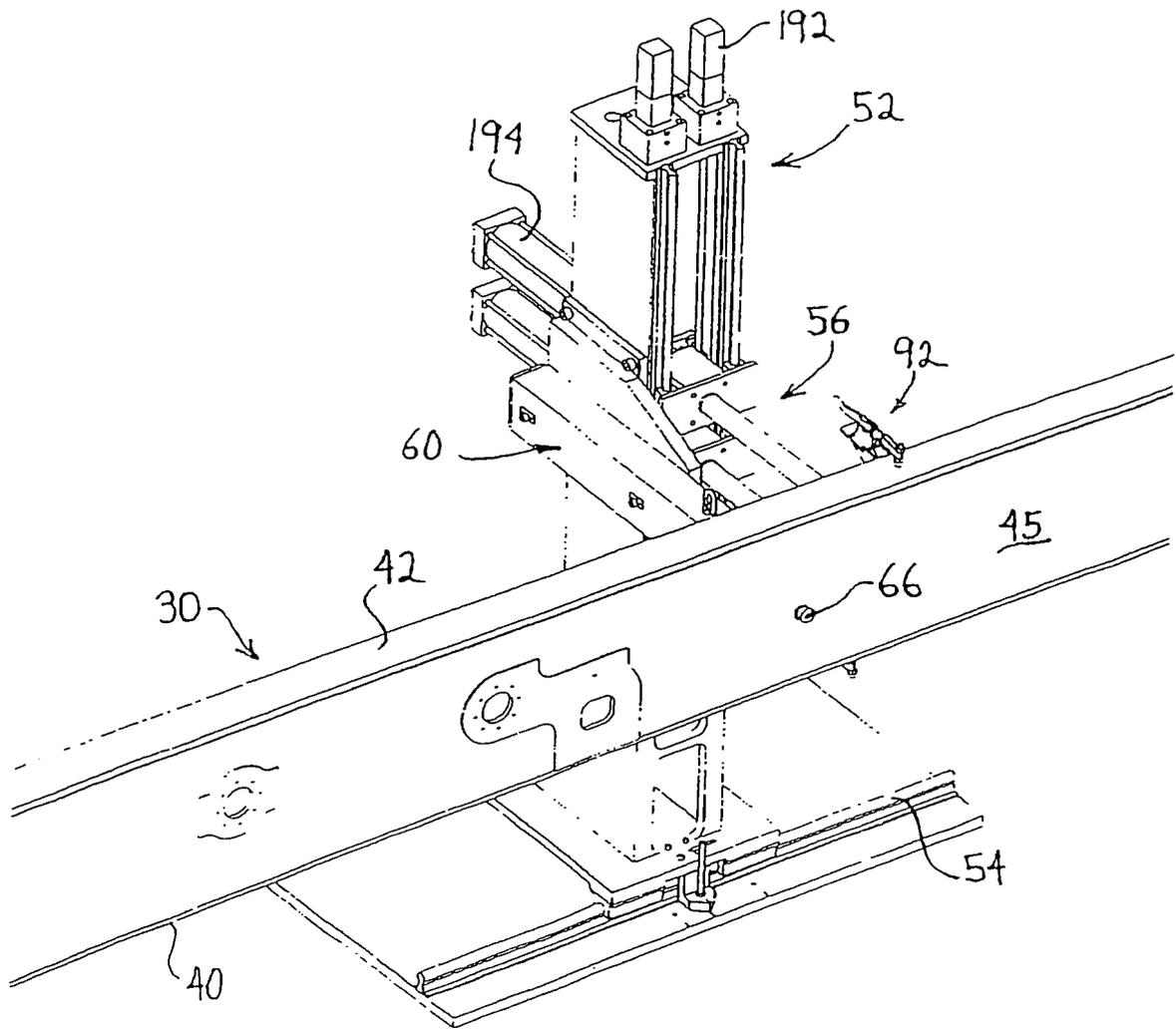


Fig. 14

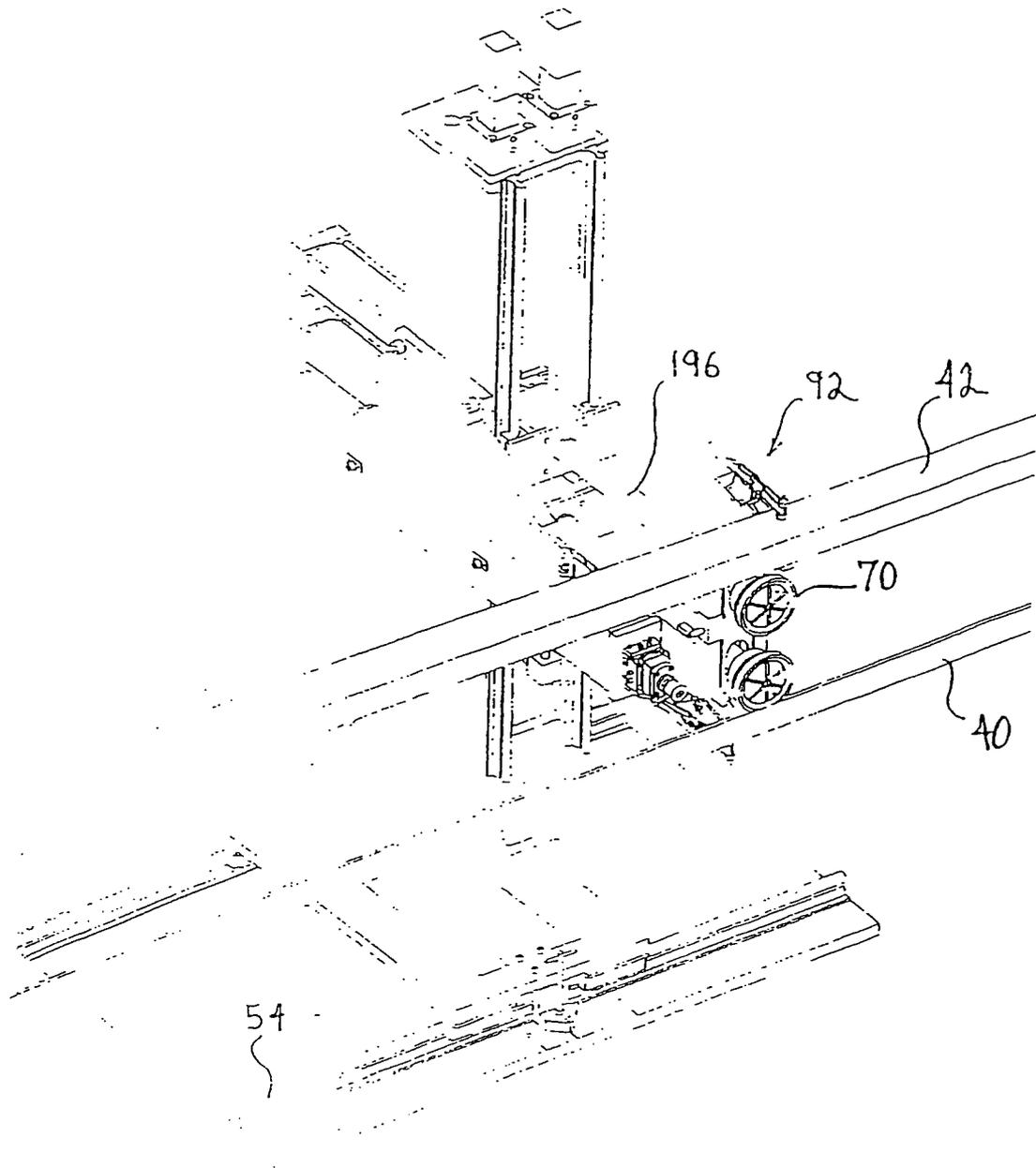


Fig. 15

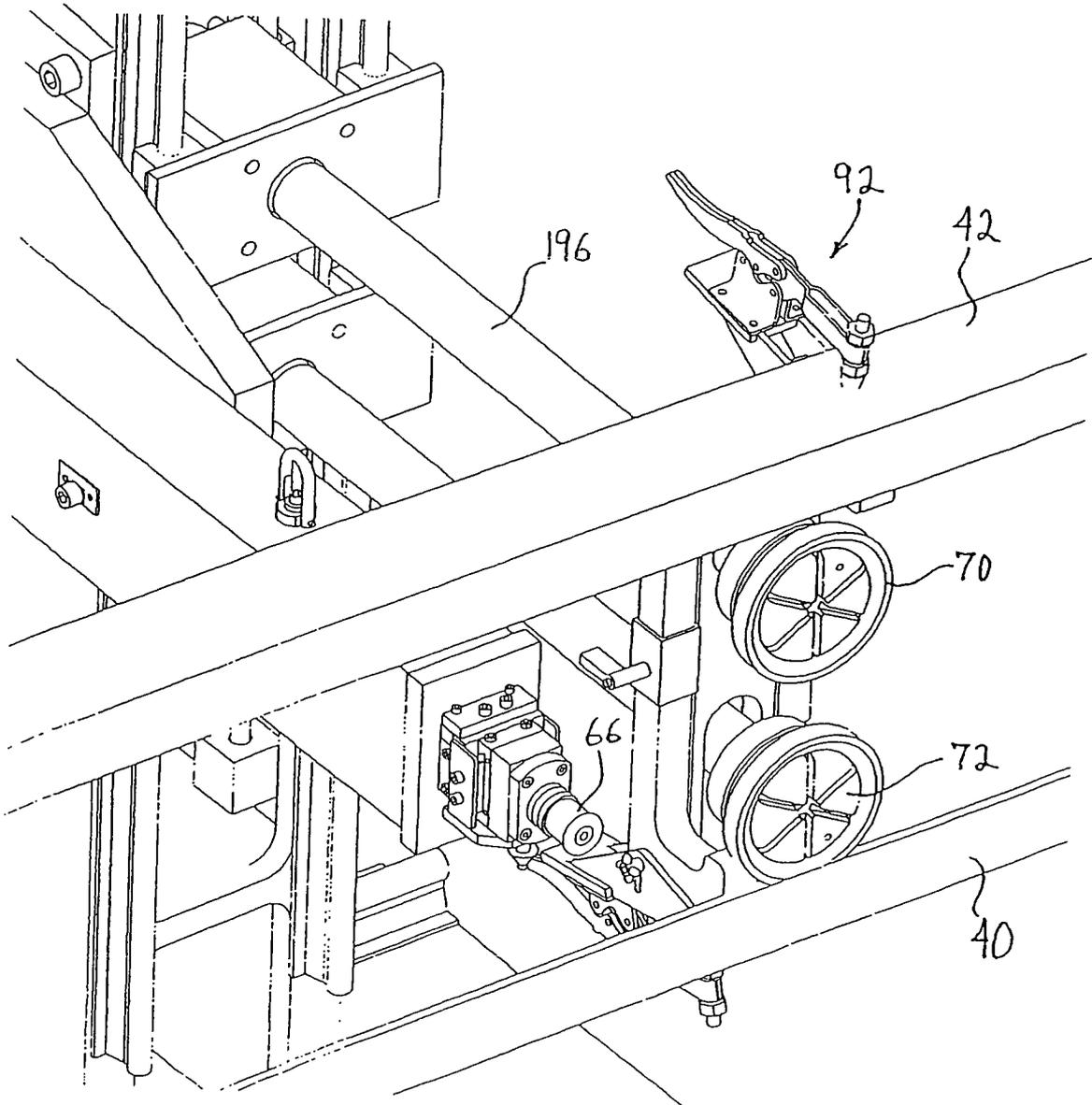


Fig. 16

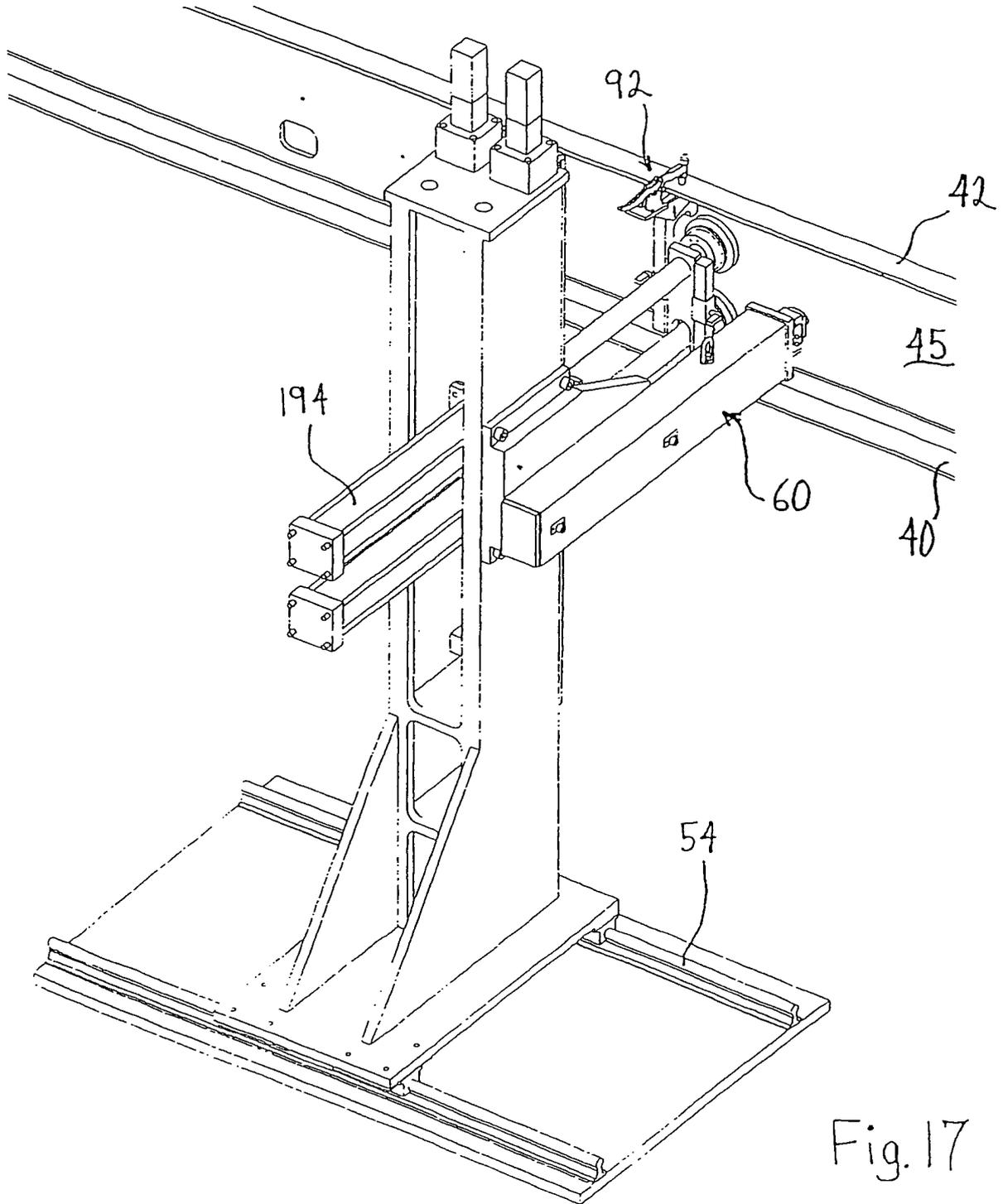


Fig. 17

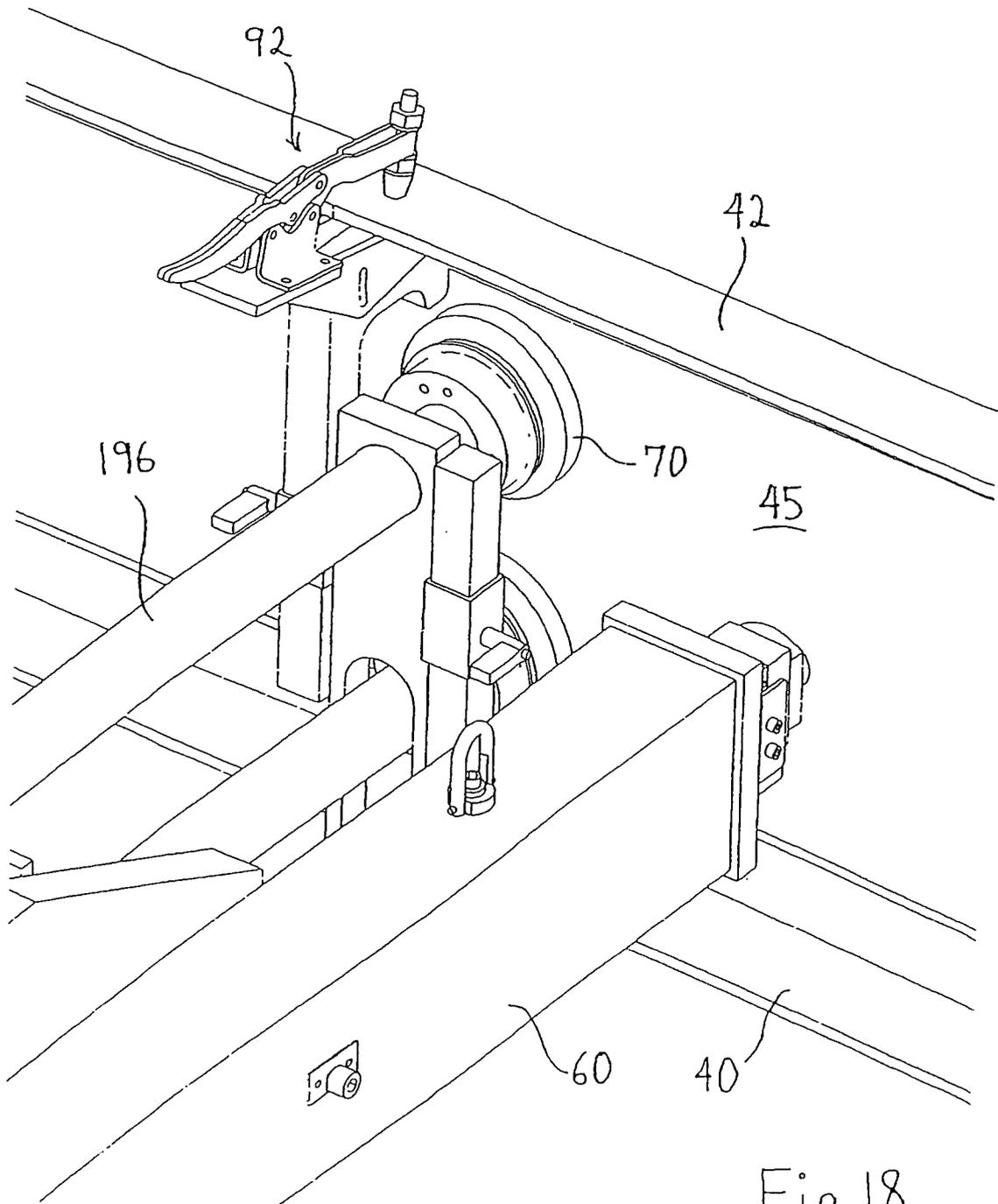


Fig. 18

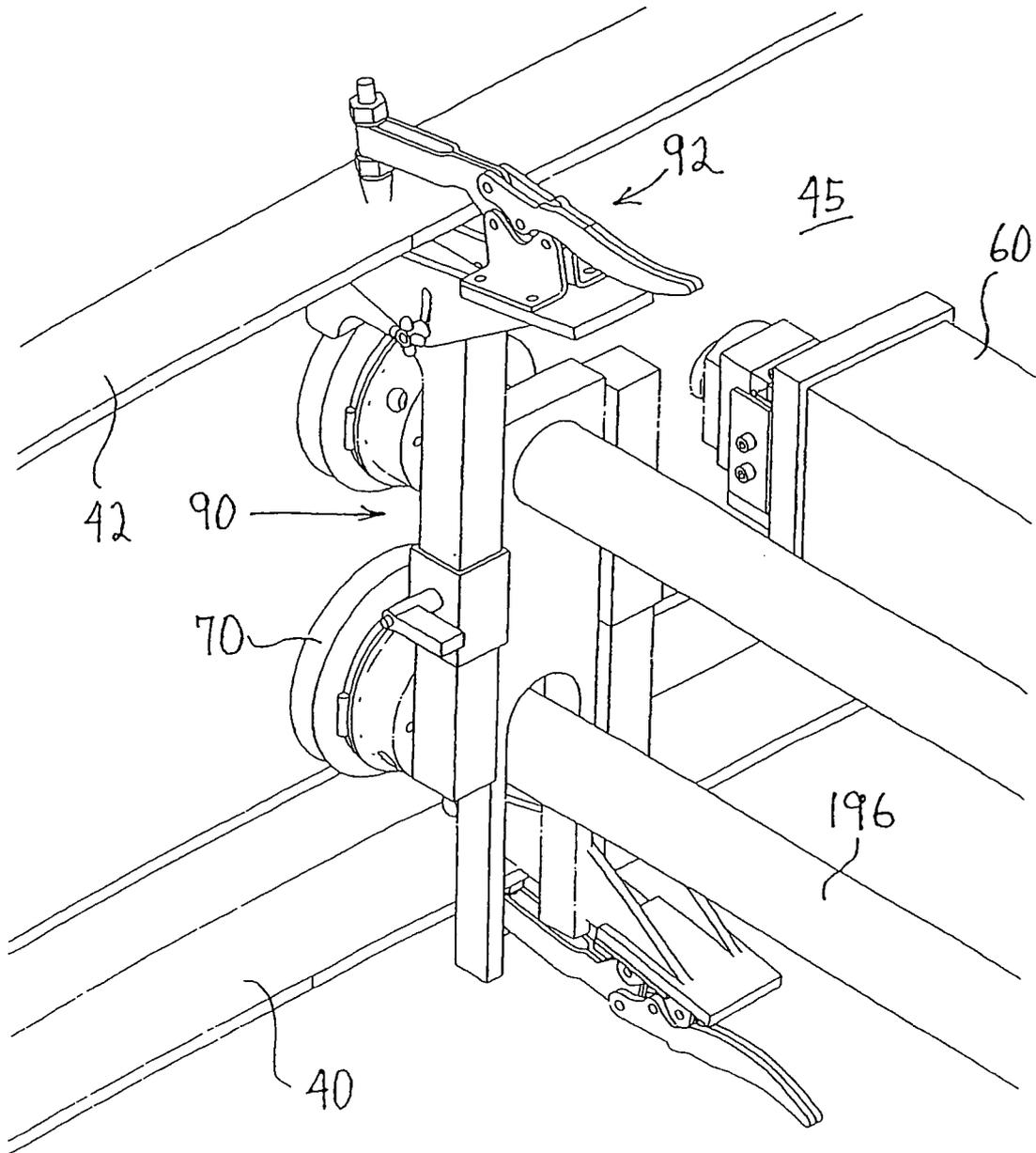


Fig. 19

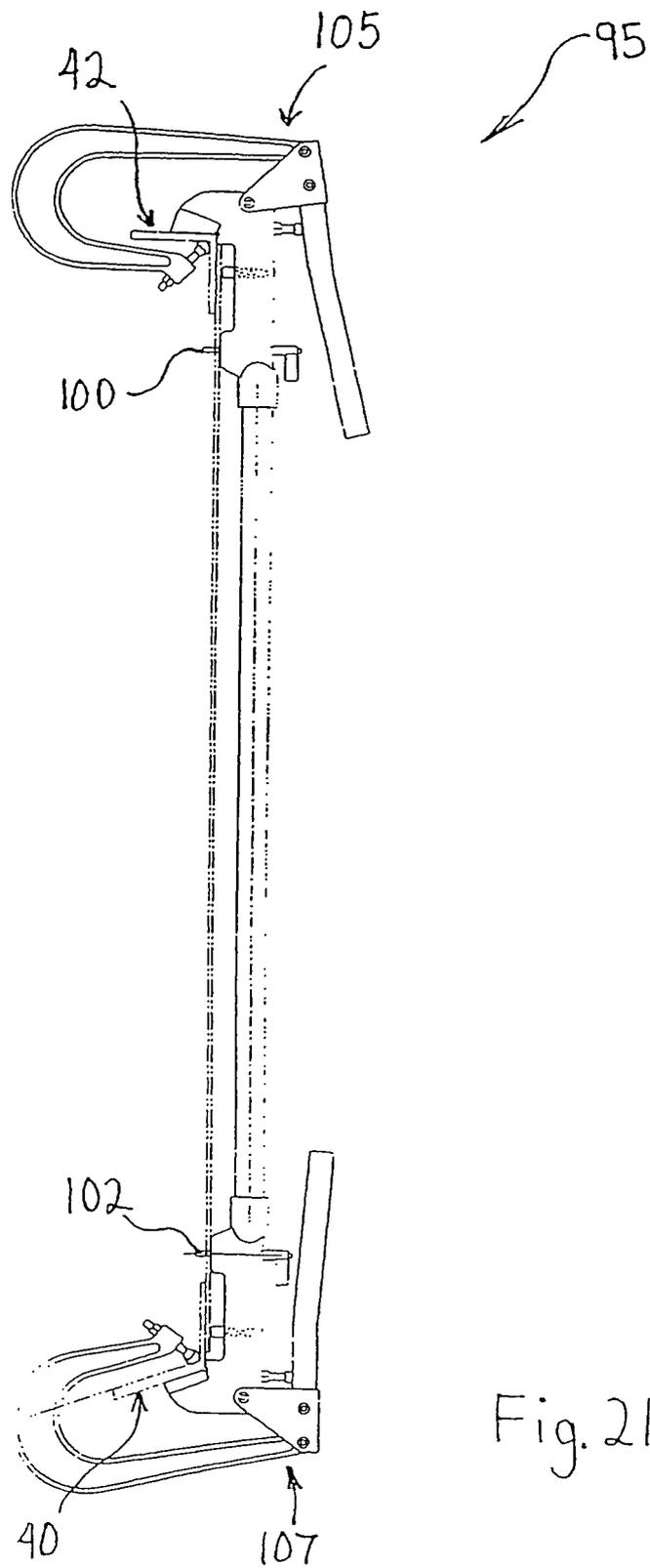


Fig. 21

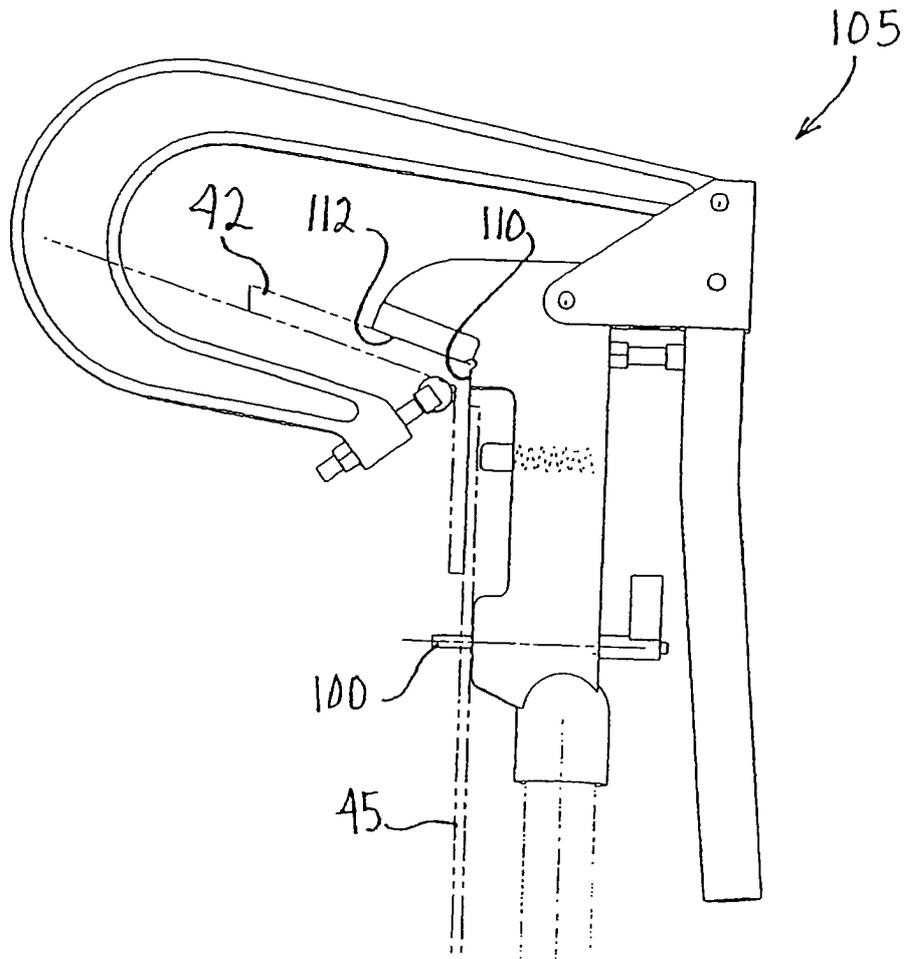


Fig. 22

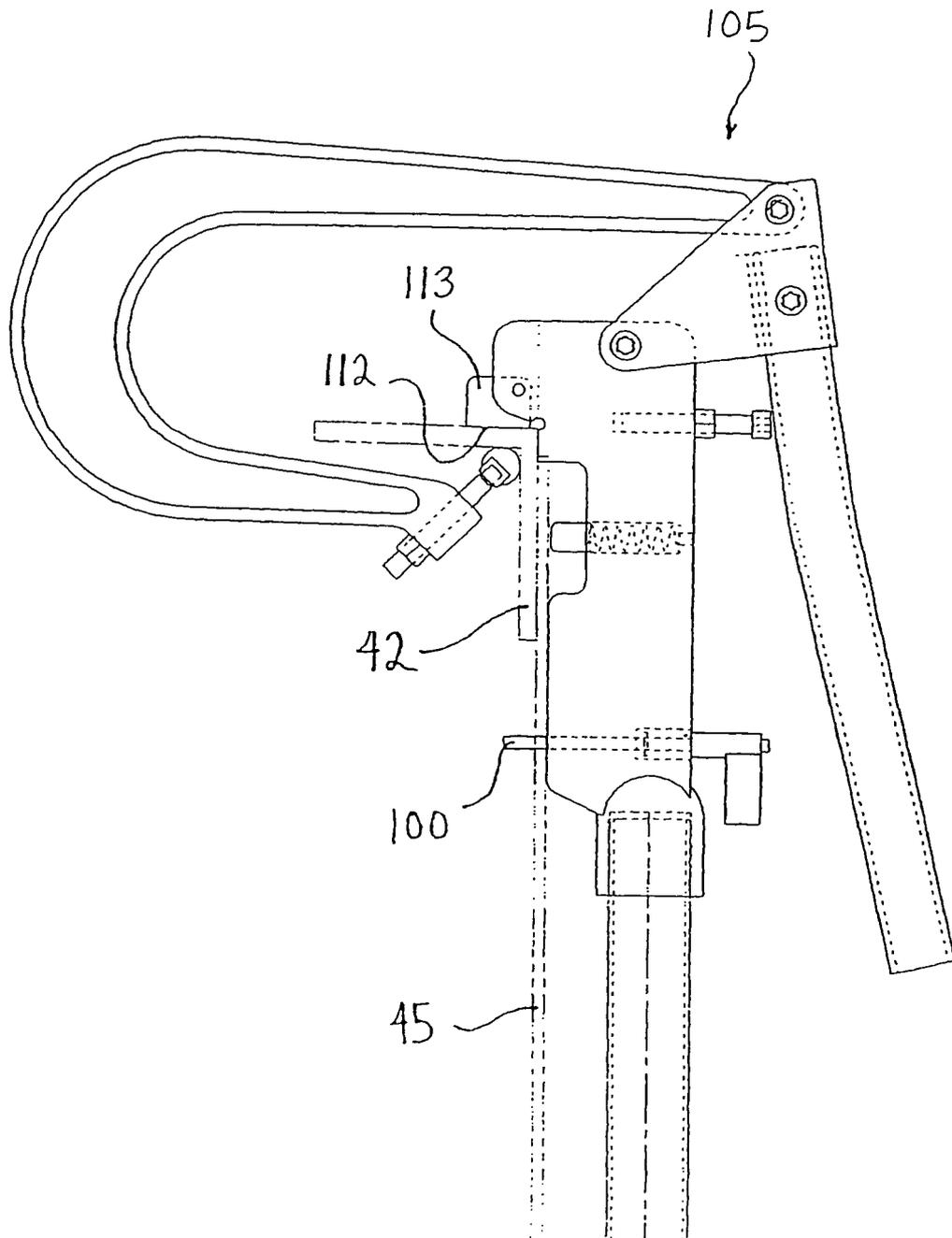


Fig. 23

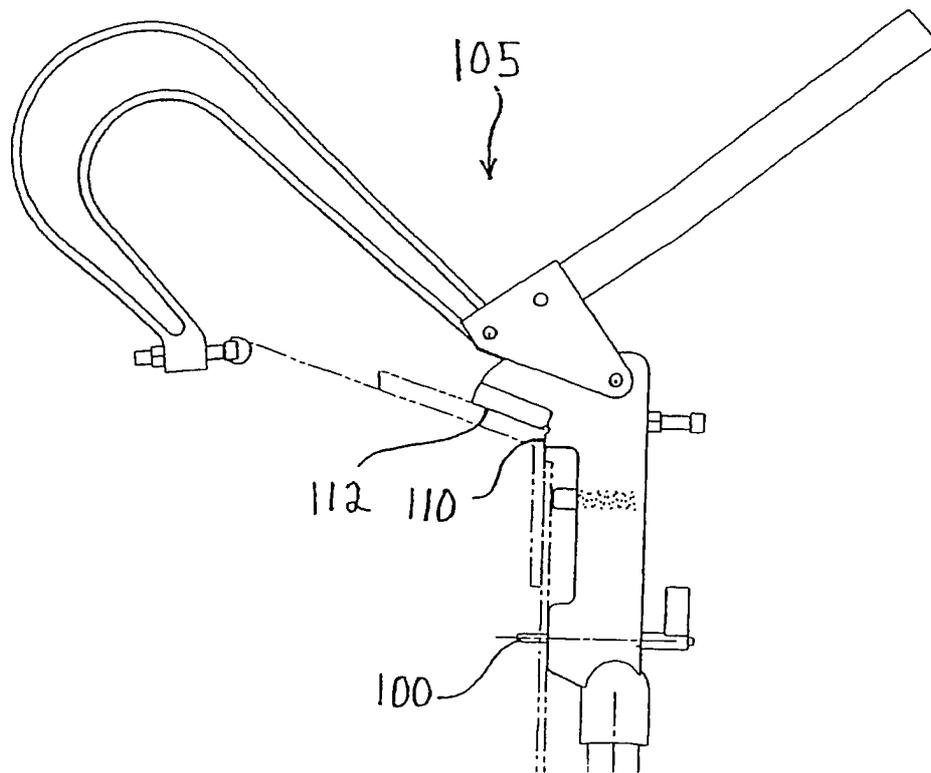


Fig. 24

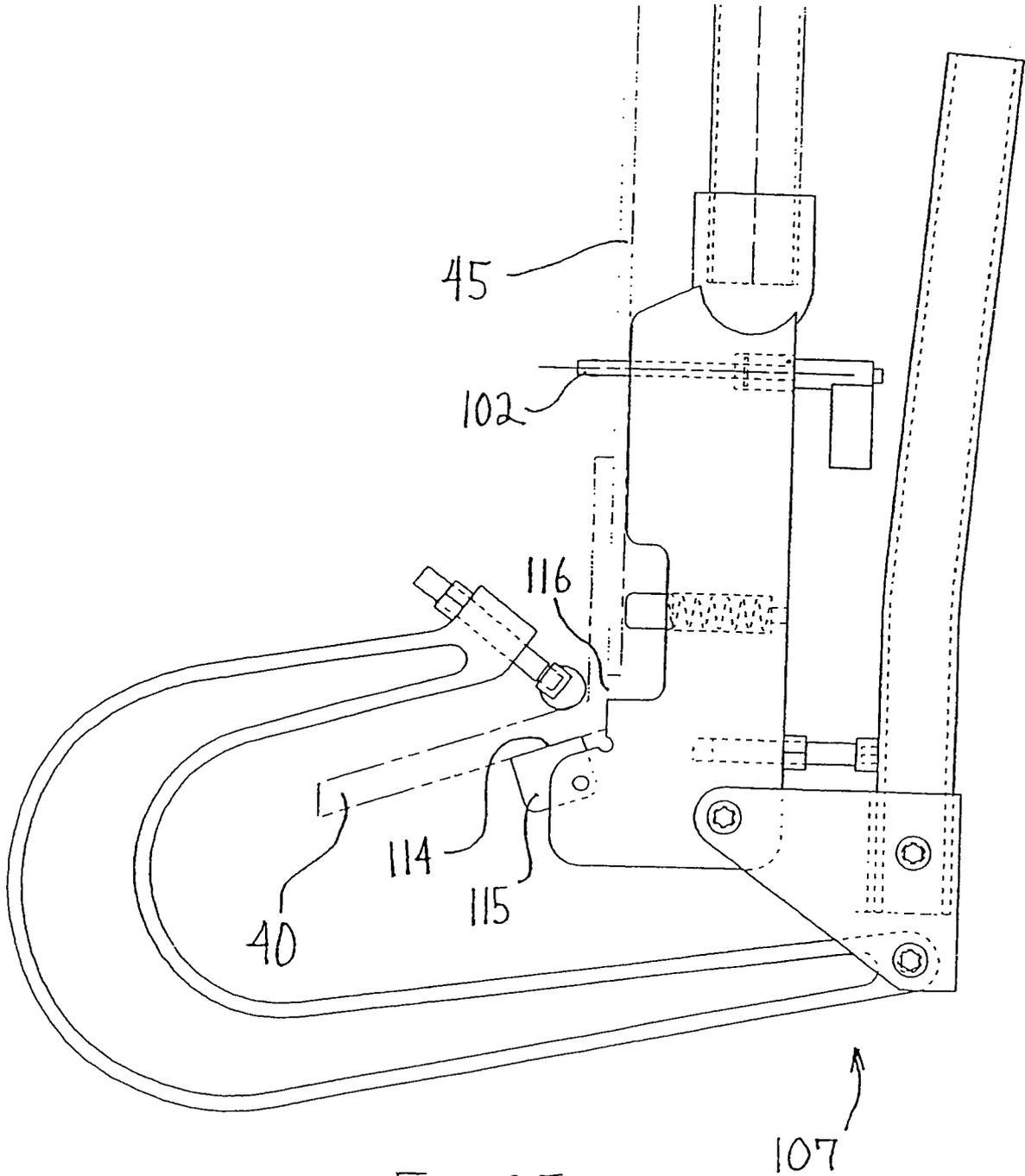


Fig. 25

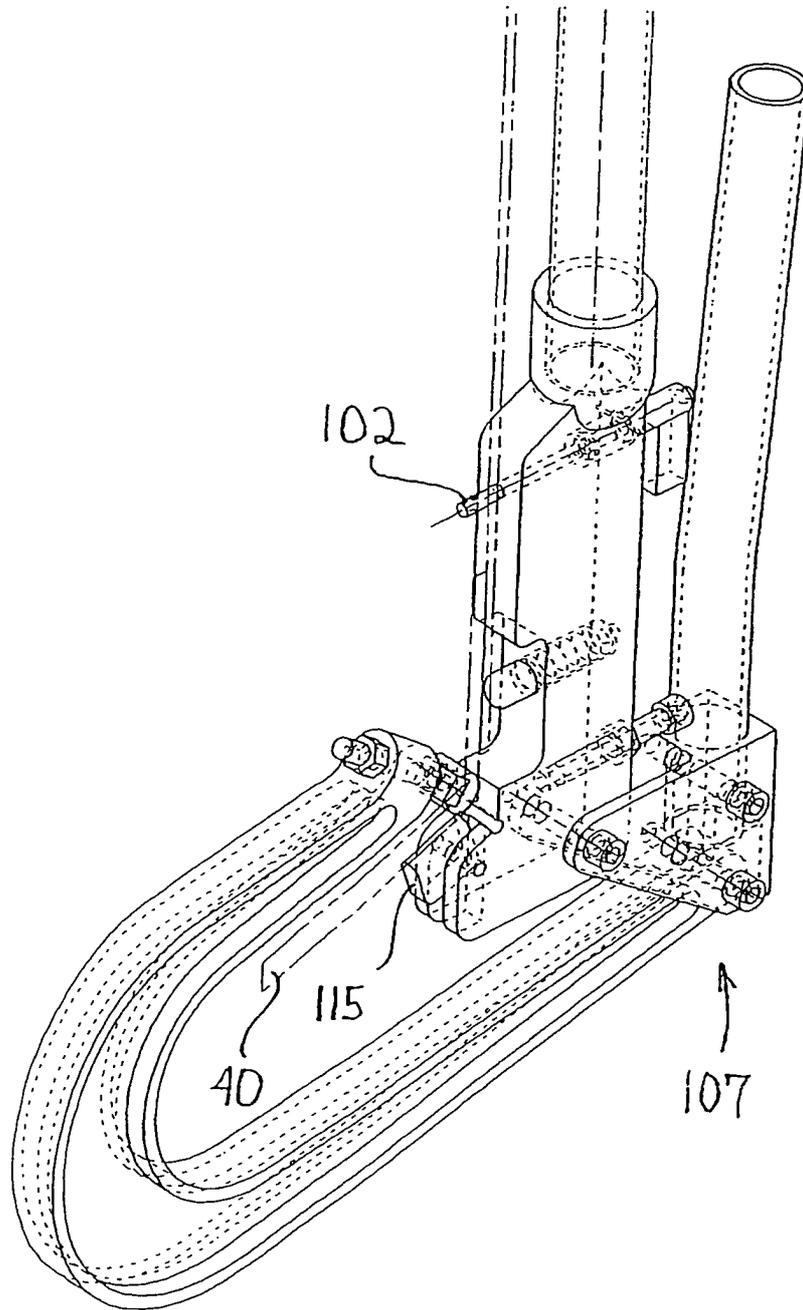


Fig. 26

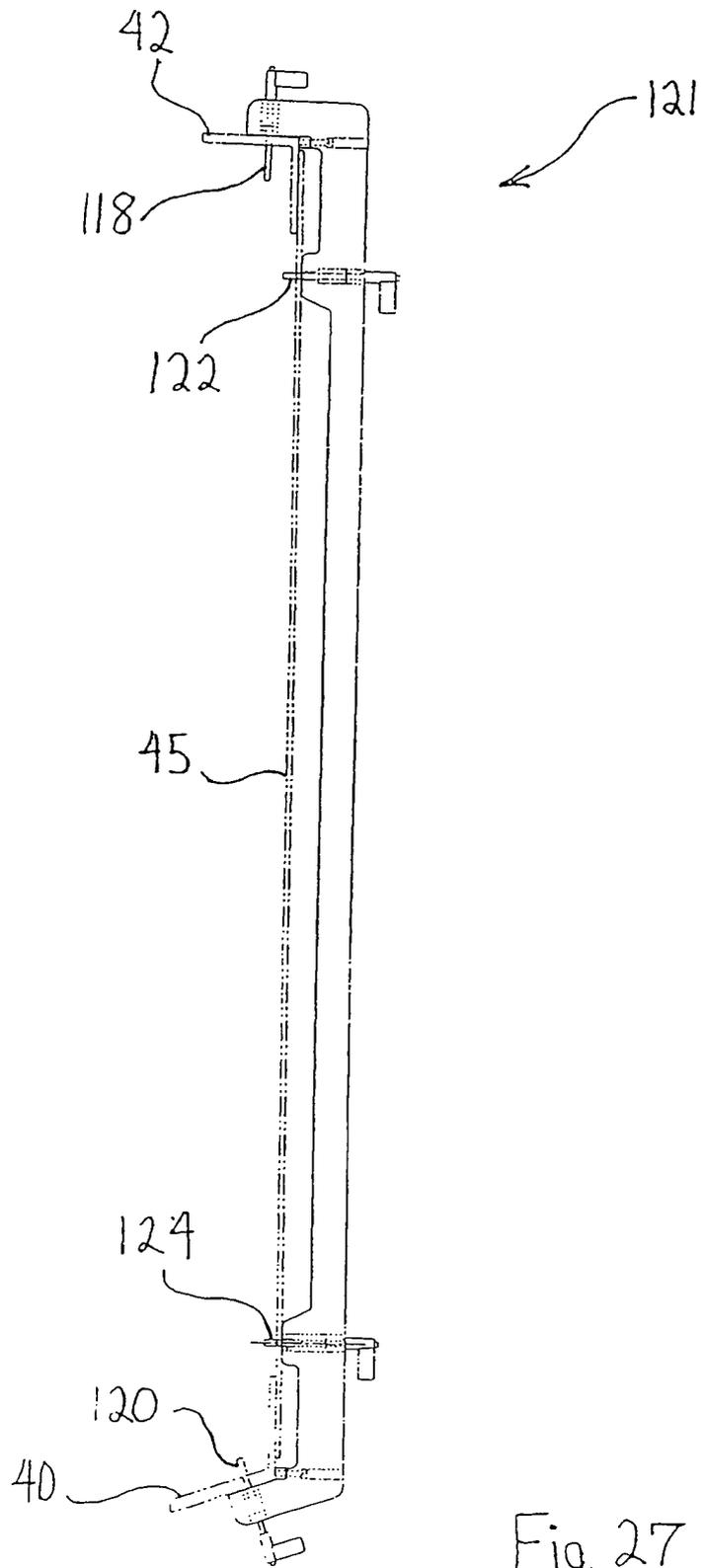


Fig. 27

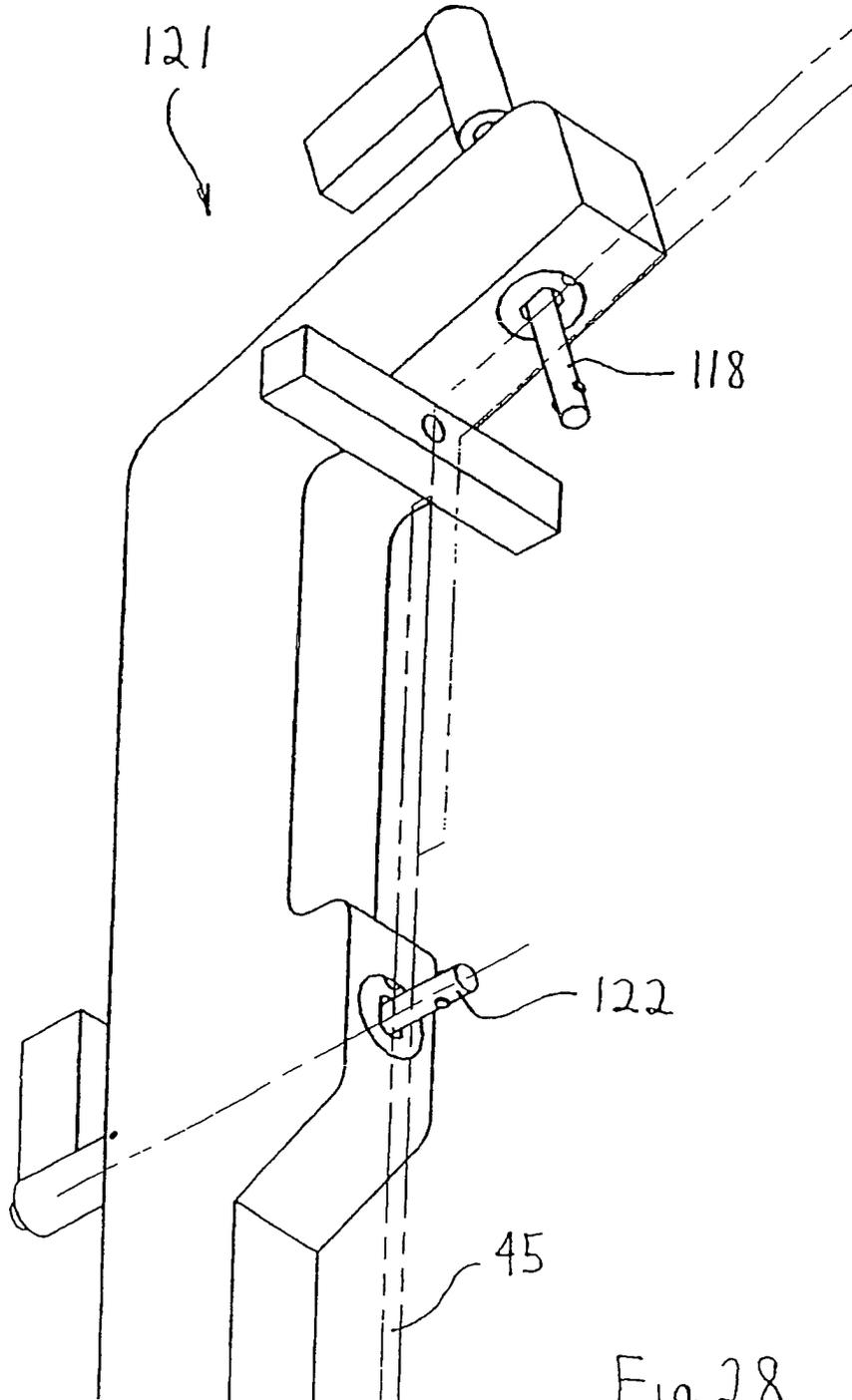


Fig. 28

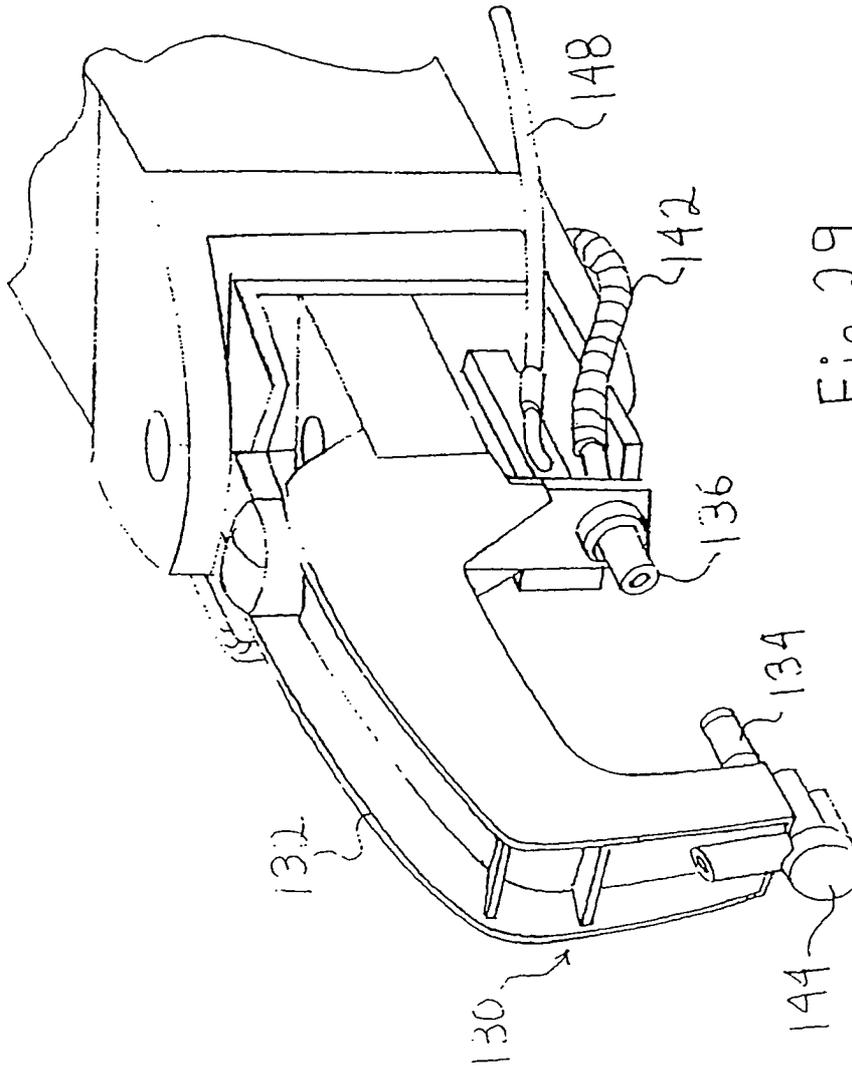
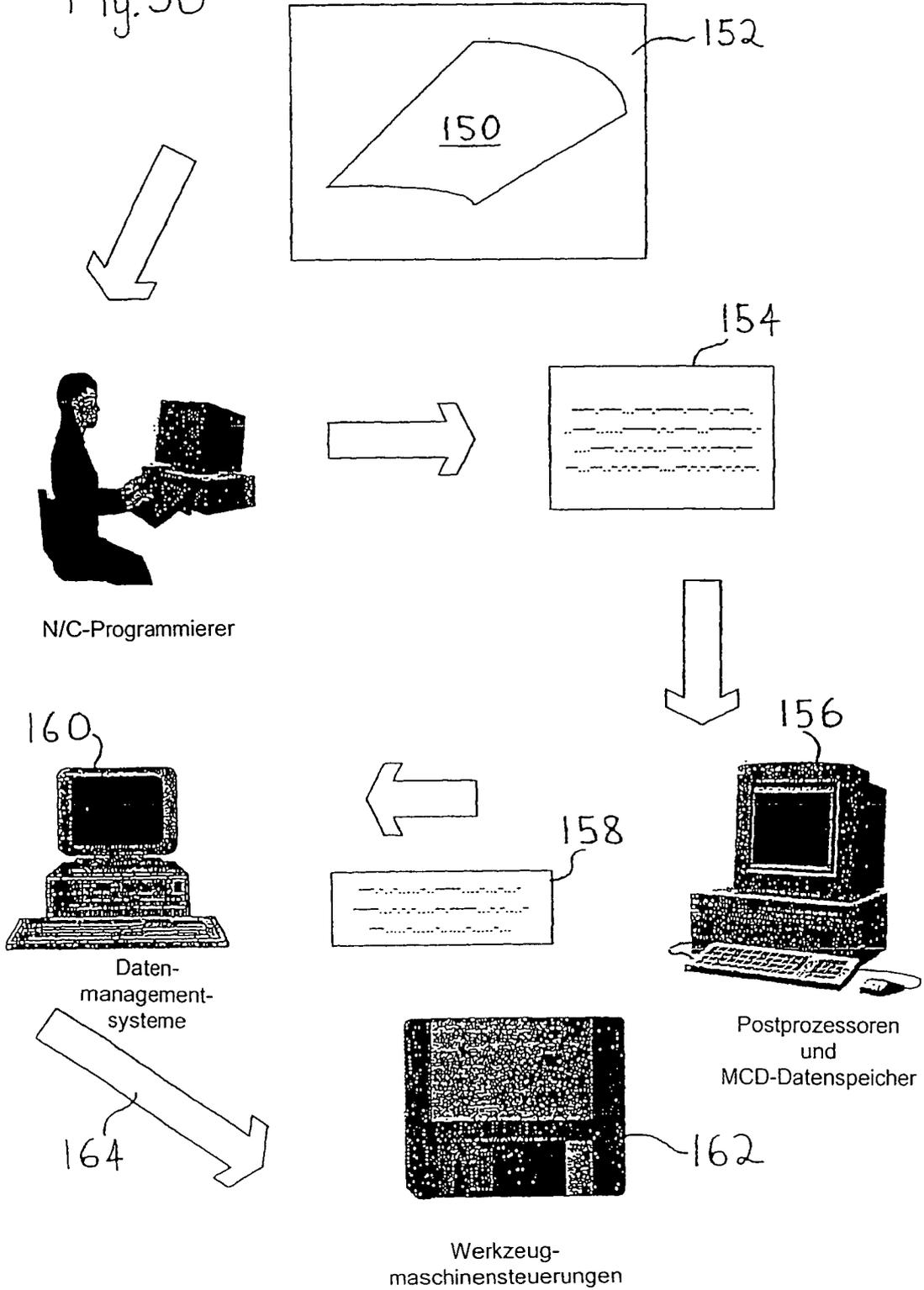


Fig. 29

Fig.30



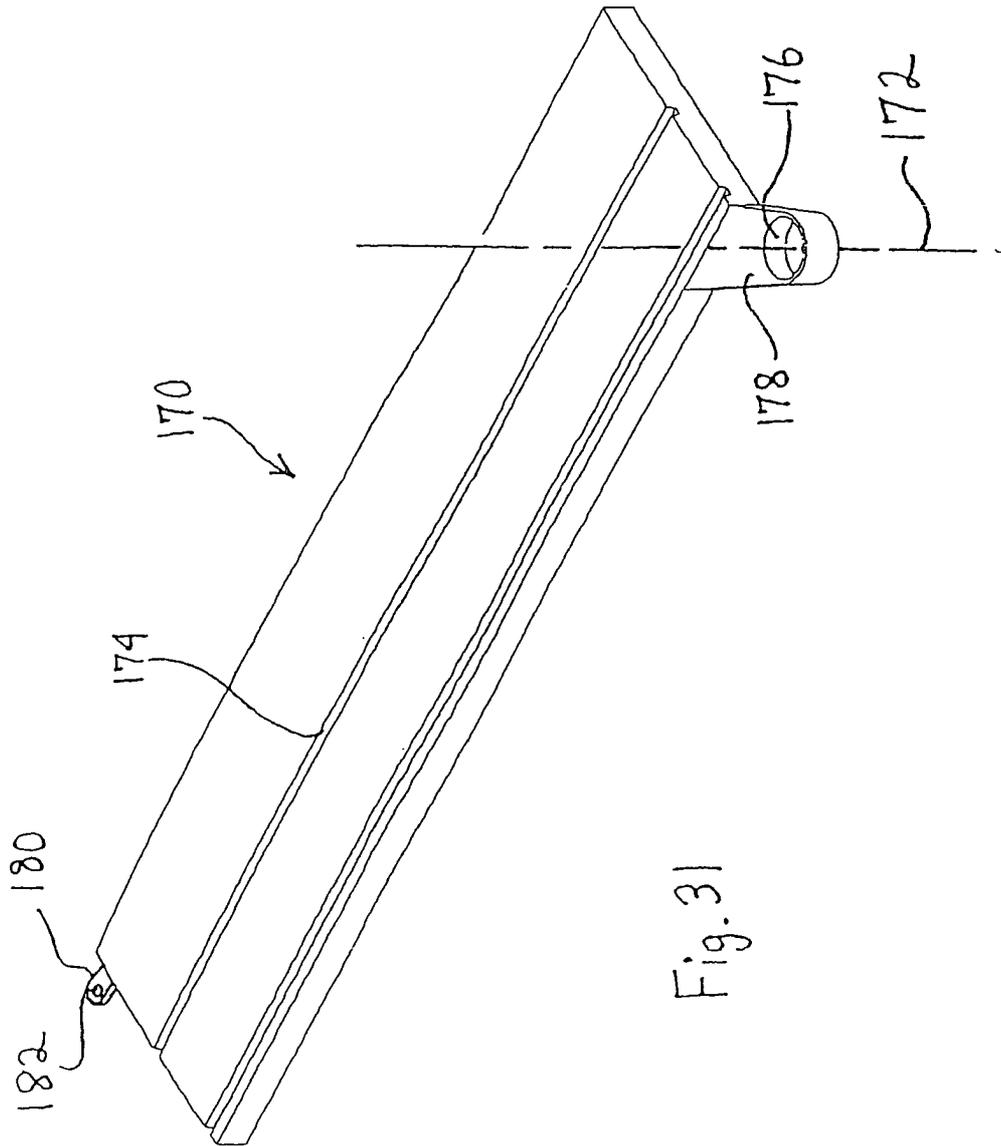


Fig. 31

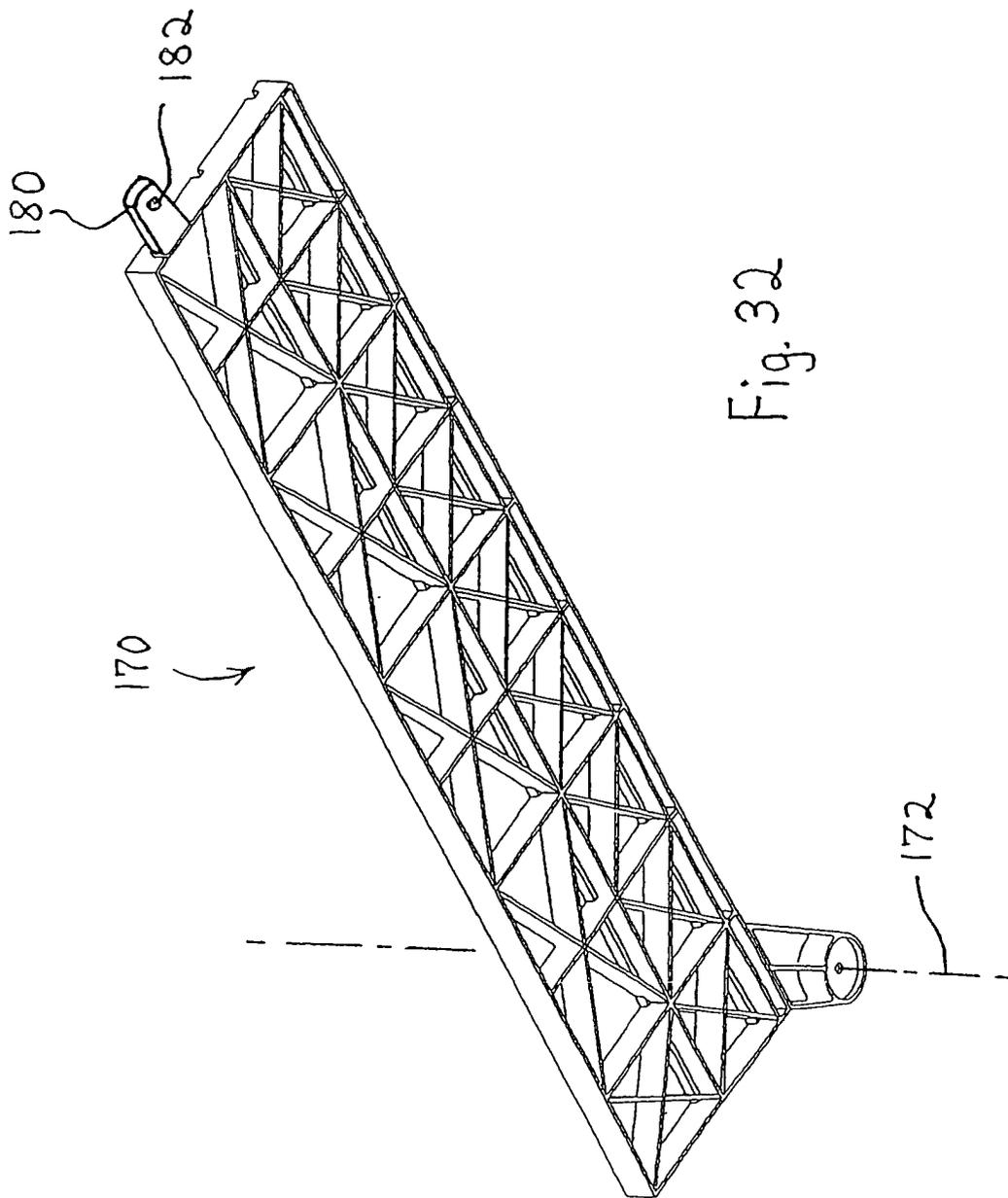


Fig. 32

