



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 25 031 T2 2006.06.22**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 230 124 B1**

(51) Int Cl.⁸: **B64F 5/00 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 25 031.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB00/04374**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 976 160.2**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/036270**

(86) PCT-Anmeldetag: **16.11.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **25.05.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.08.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **21.12.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **22.06.2006**

(30) Unionspriorität:

9927235	17.11.1999	GB
0018617	28.07.2000	GB

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, ES, FR, GB, IT, SE

(73) Patentinhaber:

BAE SYSTEMS plc, Farnborough, Hampshire, GB

(72) Erfinder:

Scott, William Smith, Preston, Lancashire PR2 9FP, GB; Cheetham, Simon, Chorley, Lancashire PR6 8EY, GB; McKeown, Russell Patrick, Preston, Lancashire PR1 4TE, GB; Fowler, Kevin John, Thornton, Lancashire FY5 2RN, GB

(74) Vertreter:

Patentanwälte Wallach, Koch & Partner, 80339 München

(54) Bezeichnung: **FLUGZEUGMONTAGEWERKZEUG UND METHODE ZU DESSEN HERSTELLUNG**

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 Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines Flugzeugmontagewerkzeuges.

[0002] Flugzeugmontagewerkzeuge sind derart ausgebildet, dass sie Flugzeugkomponenten abstützen während diese bearbeitet werden, wobei verschiedene Komponenten in der richtigen Relativstellung während der Flugzeugmontage angeordnet werden. Traditionell erforderte jede der verschiedenen Montageverfahren wenigstens ein speziell angepasstes Montagewerkzeug, das speziell für eine gegebene Gruppe von Bauteilen erzeugt wird und so ausgebildet ist, dass der Bauteil in spezieller Weise so abgestützt wird, dass die Montageverfahren ohne Störung durch das Werkzeug durchgeführt werden können. Derartige Montagewerkzeuge mussten nach exakten Standards hergestellt werden.

[0003] Ein konventionelles Montagewerkzeug umfasste eine starre Metallvorrichtung, deren Rahmen aus verschweißten Stahlkasten-Querschnitten konstruiert war. Eine Vielzahl von Aufnahmevorrichtungen ist auf dem Rahmen angeordnet, um die Flugzeugbauteile während der Montage zu tragen, und diese sind wiederum aus verschweißten Stahlteilen hergestellt.

[0004] Jedes Montagewerkzeug muss speziell für den abzustützenden Bauteil ausgebildet sein, und die Forderung der Flugzeugindustrie nach Flugzeugbauteilen, die mit einem hohem Maß an Präzision abgestützt werden sollen, bedeutet, dass jede Konstruktionsstufe der herkömmlichen Vorrichtung mit einer hohen Genauigkeit durchgeführt werden muss. Dies macht die Herstellung derartiger Vorrichtungen zeitaufwändig und kostspielig und sie können nicht auf einfache Weise umfunktioniert werden, um andere Bauteile abzustützen oder sie können nicht auf einfache Weise repariert und eingestellt werden, um Abnutzung und Risse auszugleichen.

[0005] Es ist klar, dass eine derartige Anordnung beträchtliche Nachteile mit sich bringt von denen nicht der kleinste davon in den hohen Werkzeugkosten besteht, die aus der Forderung nach einer speziell angepassten Vorrichtung für jedes Flugzeugmontage-Verfahren herrühren, zusammen mit der erforderlichen Genauigkeit die zur Erzeugung einer jeden Vorrichtung benötigt wird. Geringfügige Abwandlungen in der Ausbildung von Flugzeugbauteilen bedeuten gewöhnlich, dass eine völlig neue Aufnahmevorrichtung oder Anordnung erzeugt werden muss, was weitere Werkzeugkosten verursacht und die Montage verzögert. Außerdem führt eine Abnutzung und ein Einreißen einer solchen Vorrichtung gewöhnlich zu der Notwendigkeit nach einem Ersatz, da Reparaturen und Einstellungen nicht in einfacher Weise durchgeführt werden können, wenn die notwendige Präzi-

sion und Integrität für den Rahmen und die Aufnahmevorrichtungen aufrecht erhalten wird.

[0006] Trotz dieser Nachteile, blieb die Konstruktion von Flugzeugmontagewerkzeugen über fast fünfzig Jahre lang unverändert.

[0007] Die US-5220718 beschreibt ein Montagesystem für die automatische Montage und Herstellung von Flugzeugbauteilen bestehend aus einem festen Tisch, der eine Festlegbasis besitzt, die beweglich auf gleitbaren Trägerarmen montiert ist. Mehrere Klemmeinrichtungen sind auf der festen Basis vorgesehen, und jede Klemmeinrichtung umfasst eine einstellbare Klemmenpositions-Einheit, die eine in Längsrichtung bewegliche Stange mit zwei Backen an einem Ende hiervon hält.

[0008] Die US-5026033 beschreibt ein universelles Abstütz- und Positionierungssystem für verschiedene Werkstücke. Gemäß diesem US-Patent, empfängt eine Plattform, die eine Matrix von Gewindelöchern enthält, mehrere unterschiedliche Ausrichtvorrichtungen, die in vorgewählten Löchern positioniert sind. Einige der Ausrichtvorrichtungen dienen zur Abstützung des Werkzeuges in Horizontalrichtung und andere dienen zum Aufkleben des Werkstücks auf die abstützenden Ausrichtvorrichtungen.

[0009] Auf einem der vorliegenden Erfindung ferner liegenden Gebiets beschreibt die US-4949944 eine Vorrichtung für ein Modell-Flugzeug, die so ausgebildet ist, dass das Modell-Flugzeug durch die Vorrichtung gehalten und in verschiedene Positionen und Orientierungen während der Reparatur bewegt werden kann. Zu diesem Zweck umfasst die Vorrichtung eine Basis mit einem vertikalen Pfosten, an dessen Spitze über ein Kugelgelenk ein Tragrahmen für das Modell-Flugzeug montiert ist. Der Tragrahmen besteht aus einem Hauptträger, der an einem Ende einen Querträger mit Vorderradklemmen aufweist und am anderen Ende eine L-förmige Stange mit einer Hinterradklemme besitzt. Um das Modell-Flugzeug auf der Vorrichtung zu Montieren, werden die Klemmen versetzt, bis sie den richtigen Abstand zueinander haben, und dann werden die Räder des Flugzeuges in Auflagern der Klemmen montiert und es wird eine weitere Einstellung bewirkt, um die Klemmen in ihrer Lage zu Positionieren.

[0010] In einem noch weiter Entfernt liegenden technischen Gebiet, beschreibt die US-5984287 ein Werkzeug zur Unterstützung der Konstruktion von Rahmen, die zum Beispiel zum Abstützen von Planen dienen sollen. Das in der US-5984287 beschriebene Werkzeug, umfasst einen vertikalen Pfosten, der eine Säule trägt, die relativ zu dem Pfosten in einer vertikalen Lage oder in verschiedenen im Winkel angestellten Positionen festgelegt werden kann. Die Säule trägt außerdem einen drehbaren und versetz-

baren Trägerarm, der eine weitere Klemme am anderen Ende fixiert aufweist.

[0011] Es besteht demgemäß ein erheblicher Bedarf nach einem Flugzeugmontagewerkzeugsystem, das in seiner Ausbildung mehr flexibel und mehr wirtschaftlich in Herstellung und Benutzung ist.

[0012] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Montagewerkzeuges zu schaffen, das vielseitiger ist als bekannte Anordnungen und bei welchem die Notwendigkeit einer Präzision auf nur einige Teile der Werkzeugproduktion begrenzt ist.

[0013] Gemäß der Erfindung betrifft diese ein Verfahren zur Herstellung eines Flugzeugmontagewerkzeuges zum Abstützen eines Flugzeugbauteils, gekennzeichnet durch die folgende Kombination:

- a) Es werden mehrere vorbestimmte Positionen und entsprechende Orientierungen im Raum berechnet, an denen der Flugzeugbauteil abgestützt werden soll;
- b) es wird ein Befestigungsrahmen konstruiert, der so ausgebildet ist, dass er den Flugzeugbauteil an vorbestimmten Stellen des Rahmens abstützt, die den jeweiligen vorbestimmten Positionen im Raum entsprechen;
- c) es wird der Befestigungsrahmen konstruiert, indem langgestreckte Glieder vorbestimmter Länge ausgewählt und diese durch lösbare Befestigungsmittel miteinander verbunden werden;
- d) es werden mehrere Aufnahmevorrichtungen vorgesehen, von denen jede ein Aufnahme-Element zum Abstützen des Bauteiles aufweist;
- e) jede Aufnahmevorrichtung umfasst mehrere weitere langgestreckte Glieder vorbestimmter Länge, und mehrere Klemmelemente zur gegenseitigen Verbindung der weiteren langgestreckten Glieder und zur Verbindung des Aufnahme-Elementes an einem der weiteren langgestreckten Glieder derart, dass selektiv eine Bewegung in wenigstens drei Freiheitsgraden des Aufnahme-Elementes längs wenigstens zweier senkrecht aufeinander stehender Achsen und um wenigstens eine dieser Achsen herum möglich wird;
- f) es wird jede Aufnahmevorrichtung an dem Befestigungsrahmen an jeweils einer der vorbestimmten Stellen festgelegt; und
- g) es wird das Montagewerkzeug zur Aufnahme eines Flugzeugbauteils konstruiert, indem jedes Aufnahme-Element längs der orthogonalen Achsen und um diese herum aufgebaut wird, bis das Aufnahme-Element bezüglich der vorbestimmten Position und der entsprechenden Orientierung im Raum ausgerichtet ist, die den vorbestimmten Stellen zugeordnet sind.

[0014] Der Befestigungsrahmen kann aus extrudierten Aluminiumprofilträgern konstruiert sein, wobei die

Befestigungsmittel die Träger miteinander verbinden. Beispielsweise kann der extrudierte Aluminiumträger mit in Längsrichtung versehenen Kanälen versehen sein, die längs ihrer Ränder mit Lippen ausgerüstet sind, und die Befestigungsmittel können Gewindeverbindungselemente aufweisen, die in einem Kanal eines Profilträgers aufgenommen sind und Gewindeaufnahmemittel aufweisen, die in einem Kanal eines anderen Profilträgers vorgesehen sind oder von diesem aufgenommen werden können.

[0015] Aus Gründen einer konstruktiven Genauigkeit und aus Gründen der Festigkeit und Starrheit des Befestigungsrahmens ist es zweckmäßig, dass die langgestreckten Glieder im Querschnitt rechteckig sind oder wenigstens eine im wesentlichen flache, ebene Oberfläche besitzen auf der die Aufnahmeeinrichtungen aufgeklemmt und falls erforderlich bewegt werden können, um beispielsweise eine Anpassung an unterschiedliche Bauteile zu bewirken. Es ist auch wichtig, dass diese ebenen Oberflächen der langgestreckten Glieder so ausgebildet sind, dass sie unverzerrt verbleiben, wenn eine Aufnahmevorrichtung darauf montiert wird, insbesondere wenn die Vorrichtung unter Belastung durch das Gewicht des Flugzeugbauteils steht. Dieses bevorzugte Ausführungsbeispiel hat den zusätzlichen Vorteil, dass eine schnelle Bewegung und/oder Wiederausrichtung/Wiederpositionierung der Aufnahmevorrichtungen möglich wird. Weil sich bei diesem Ausführungsbeispiel die Aufnahmevorrichtung längs einer ebenen Fläche bewegt, kann die Bewegung, die notwendig ist, um eine Anpassung an Abnutzung und Risse zu erzielen oder um unterschiedliche Komponenten zu adaptieren, leicht und genau im Computer als eine Bewegung in einer einzigen Dimension modelliert werden (längs der Achse der langgestreckten Glieder aber ohne jede Drehung darum), während sechs Freiheitsgrade der Einstellung für das Aufnahmeelement möglich sind. Wenn eine gewünschte Wieder-Lokalisierung der Aufnahmevorrichtung nicht erforderlich ist, beispielsweise in Folge der Position des langgestreckten Gliedes und/oder des begrenzten Einstellbereiches der Aufnahmeelemente, kann die erforderliche Wiederausrichtung bewerkstelligt werden, indem die Aufnahmevorrichtung entfernt und diese statt dessen an einer der anderen ebenen Oberflächen des langgestreckten Gliedes festgelegt wird. Demgemäß gewährleistet die Anordnung einer ebenen Fläche an den langgestreckten Gliedern, dass eine einfache Bewegung der Aufnahmevorrichtungen relativ zu den langgestreckten Gliedern auf eine Bewegung längs einer einzigen Achse begrenzt wird und keine Drehung dabei erfolgt: dies ist ein wesentlicher und vorteilhafter Unterschied gegenüber bekannten Konstruktionen.

[0016] Die Aufnahmevorrichtungen sind vorzugsweise von universeller Konstruktion.

[0017] Wie beschrieben, besitzt jede universelle Aufnahmevorrichtung vorteilhaft ein Montageelement, um die Vorrichtung auf dem Befestigungsrahmen zu montieren. Weiter umfasst die Vorrichtung das Aufnahmeelement zum Tragen des Flugzeugaufbaus und eine Kombination der langgestreckten Glieder und Klemmelemente, um eine Bewegung des Aufnahmeelementes in sechs Freiheitsgraden längs der drei orthogonalen Achsen und um diese herum zu ermöglichen.

[0018] Die Aufnahmevorrichtungen können ebenfalls aus Aluminium bestehen.

[0019] Das Verfahren zur Herstellung eines Flugzeugmontagewerkzeuges gemäß der Erfindung, ergibt eine Reihe von wichtigen Vorteilen.

[0020] Insbesondere schafft die Erfindung ein flexibles Montagewerkzeugsystem, das voll einstellbar und wieder benutzbar ist. Einstellungen und Alternativen für das Montagewerkzeug können auf einfache Weise bewirkt werden, um beispielsweise eine Anpassung an Modifikationen in der Ausbildung des Flugzeugbauteils zu erreichen. Dies kann einfach durch Ersatz einzelner Rahmenglieder und/oder Aufnahmevorrichtungen im Falle einer übermäßigen Abnutzung erfolgen, oder durch Wiederpositionierung der Rahmen und/oder der Aufnahmevorrichtungen, wenn eine Relativbewegung während der Zeit erfolgt ist. Außerdem können bestehende Montagewerkzeuge so geändert werden, dass sie an verschiedene Flugzeugbauteile angepasst werden nachdem eine spezielle Montage-Operation vollendet ist.

[0021] Vorzugsweise umfasst die Einstellung eines jeden Aufnahmeelementes das Einsetzen des Aufnahmeelementes ungefähr in seiner vorbestimmten Position und Orientierung, und in einer Iteration der Schritte der Messung, der tatsächlichen Position und Orientierung des Aufnahmeelementes und einer Bewegung des Aufnahmeelementes in die vorbestimmte Position und Orientierung, bis die vorbestimmte Position und Orientierung erreicht ist.

[0022] Vorzugsweise, werden die vorbestimmten Positionen und Orientierungen für die Aufnahmeelemente der Aufnahmevorrichtungen durch computergestützte Konstruktionsdaten für jedes Flugzeugbauteil bestimmt.

[0023] Vorzugsweise, wird die Ist-Position und Orientierung eines jeden Aufnahmeelementes durch ein Lasernachführ-Gerät gemessen.

[0024] Das erfindungsgemäße Verfahren, welches speziell zur Benutzung in der Flugzeugindustrie geschaffen wurde, kann in vorteilhafter Weise auch auf anderen Gebieten Anwendung finden, beispielsweise in der Automobilindustrie.

[0025] Nachstehend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung beschrieben, in der Zeichnung zeigen:

[0026] [Fig. 1](#) ist eine perspektivische Ansicht eines Flugzeugmontagewerkzeuges;

[0027] [Fig. 2](#) ist eine teilweise geschnittene Einzelheit aus [Fig. 1](#), in größerem Maßstab;

[0028] [Fig. 3](#) zeigt eine Modifikation der Anordnung gemäß [Fig. 2](#);

[0029] [Fig. 4](#) ist eine Teilansicht einer weiteren Modifikation der Anordnungen, gemäß der [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#);

[0030] [Fig. 5](#) ist eine perspektivische Ansicht eines Teils des Aufbaus nach [Fig. 1](#), wobei zwei Aufnahmevorrichtungen montiert auf einem Befestigungsrahmen des Werkzeugs dargestellt sind;

[0031] [Fig. 6](#) ist eine weitere perspektivische Ansicht, die die Montage einer jeweiligen Aufnahmevorrichtung auf dem Befestigungsrahmen zeigt; und

[0032] [Fig. 7](#) ist eine perspektivische Ansicht, eines weiteren Teils des Montagewerkzeugs, wobei eine weitere Aufnahmevorrichtung montiert auf dem Befestigungsrahmen gezeigt ist.

[0033] Zunächst wird auf [Fig. 1](#) Bezug genommen. Hier ist ein Flugzeugmontagewerkzeug **10** dargestellt. Das Montagewerkzeug **10**, weist einen Befestigungsrahmen **12** auf, der aus mehreren langgestreckten Gliedern **14**, quadratischen oder rechteckigen Querschnitts konstruiert ist, die miteinander verbunden sind, um ein im wesentlichen rechteckiges Gerüst **16** zu bilden. Die Mehrzahl der langgestreckten Glieder **14** ist rechtwinklig miteinander verbunden, um das Gerüst **16** zu bilden, aber einige dieser Glieder bilden diagonale Glieder **16**, die als Verstärkungsstreben dienen, um die Starrheit des Gerüsts **16** zu verbessern. Der Befestigungsrahmen **12**, dient zur Abstützung eines Flugzeugbauteils während der Montage.

[0034] Am Befestigungsrahmen **12**, sind mehrere Aufnahmevorrichtungen **20** montiert, die zur Halterung des Bauteils während der Montage dienen und die an vorbestimmten Stellen relativ zum Befestigungsrahmen **12** angeordnet sind, um das Bauteil zu erfassen und an vorbestimmten Tragepositionen des Bauteils zu Tragen.

[0035] Das Montagewerkzeug **10** gemäß [Fig. 1](#), ist in spezieller Weise ausgebildet für die Montage eines speziellen Flugzeugbauteils oder eines kleinen Bereiches von Bauteilen, und in diesem Fall dient die Vorrichtung zur Montage eines Flugzeugrumpfes: die

präzise Ausbildung des Befestigungsrahmens **12**, und die Stellen an denen die Aufnahmevorrichtungen **20** angeordnet sind und ihre Orientierung wäre für die Montage eines anderen Bauteils eines Flugzeugs unterschiedlich. Die Genauigkeit der Konstruktion des Befestigungsrahmens **12** und die Genauigkeit der Anordnung der Aufnahmevorrichtungen **20** in Bezug auf den Befestigungsrahmen **12** sind relativ unwichtig. Wichtig ist, dass die Positionen an denen die Aufnahmevorrichtungen **20** an dem Flugzeugbauteil angreifen und die Orientierung der Aufnahmevorrichtungen an diesen Stellen äußerst genau bestimmt sind, wie dies weiter unten beschrieben wird.

[0036] Die langgestreckten Glieder **14** sind aus extrudierten Aluminiumprofilen hergestellt, die auf vorbestimmte Längen geschnitten sind, die dem jeweiligen Befestigungsrahmen entsprechend gewählt sind. Die [Fig. 2](#), [Fig. 3](#), [Fig. 4](#) und [Fig. 6](#) zeigen unterschiedliche Profile für die extrudierten Glieder und diese sind jeweils quadratisch oder rechteckig. In Längsrichtung verlaufende Kanäle **22** sind längs der vier Längsflächen **24** der Glieder **14** ausgebildet und jeder Kanal wird auf beiden Seiten durch Lippen **26** flankiert.

[0037] Die in den [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) dargestellten Profile besitzen alle einen im wesentlichen massiven, zentralen axialen Abschnitt **28**, der mit einer zentralen Bohrung **30** versehen ist, während die Profile in [Fig. 5](#) einen offenen, zentralen axialen Abschnitt **28'** und Bohrungen **30'** in dem Metall aufweisen, die den offenen Abschnitt **28'** und den darunter liegenden Kanal **22** flankieren.

[0038] Die Verbindung zweier langgestreckter Glieder **14** rechtwinklig zueinander wird einfach durch Befestigungsmittel **32** bewirkt. Wie in [Fig. 2](#) dargestellt, können diese Befestigungsmittel **32** beispielsweise aus einem Gewindeverbindungselement **34** bestehen, das senkrecht durch den Mittelabschnitt **28** eines Gliedes **14** eingesetzt ist. Das Verbindungselement **34** weist einen in einem der Kanäle **22** des Gliedes **14** sitzenden Wiederlagerkopf **36** und einen Gewindeschaf **38** auf, der dann rechtwinklig von dem Glied **14** vorsteht.

[0039] Ein zweites langgestrecktes Glied **14** ist rechtwinklig zu dem ersten Glied derart eingepasst, dass seine Endfläche **40** an einer benachbarten Oberfläche **24** des ersten langgestreckten Gliedes **14** anstößt. Der vorstehende Schaf **38** des Gewindeverbindungselementes **34** kann auf diese Weise in die zentrale Bohrung **30** des zweiten langgestreckten Gliedes **14** in Form eines Gewindes eingeschnitten werden. Auf diese Weise kann eine sichere dauerhafte Verbindung hergestellt werden.

[0040] Wie in [Fig. 3](#) dargestellt, können die Befestigungsmittel **32** statt dessen ein Gewindeverbindungselement **52** aufweisen, das von einem Kanal **22**

eines ersten langgestreckten Gliedes **14** aufgenommen wird, wobei eine Fixierungshülse **54** in eine Aufnahme-Ausnehmung **56** eingesetzt wird, die in der zugeordneten Oberfläche **24** in der Nähe der Endfläche **40** dieses langgestreckten Gliedes **14** angeordnet ist.

[0041] Die Fixierungshülse **54** besitzt eine Bohrung **58**, die auf einen Kanal **22** eines zweiten senkrechten langgestreckten Gliedes **14** zwischen den zwei überhängenden Lippen **26** weist. Ein mit einem Innengewinde versehenes Aufnahmeelement **60** wird von diesem Kanal **22** aufgenommen und fest in diesem Kanal durch die beiden überhängenden Lippen **26** gehalten. Da das Verbindungselement **52** dicht in das Aufnahmeelement **60** eingeschraubt wird, können die beiden langgestreckten Glieder **14** rechtwinklig zueinander und fest miteinander verbunden werden.

[0042] Es ist klar, dass in diesem Fall ein zweites derartiges Verbindungselement **52** in der gleichen Weise auf der gegenüberliegenden Seite des ersten langgestreckten Gliedes **14** angeordnet wird. Dieses zweite Verbindungselement **52** erfasst dann ein zweites Aufnahmeelement **60** in dem gleichen Kanal **22** des zweiten langgestreckten Gliedes **14**, um eine sichere Verbindung zwischen den beiden Gliedern **14** zu gewährleisten.

[0043] Die [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) veranschaulichen ein einfaches, quadratisches, extrudiertes Profil der langgestreckten Glieder **14** aus Gründen der Übersichtlichkeit. In der Praxis können die langgestreckten Glieder **14** ein komplexeres Profil aufweisen, und es können mehrere Befestigungsmittel **32** gruppenweise benutzt werden. Ein im wesentlichen quadratischer oder rechteckiger Querschnitt ist vorteilhaft in Bezug auf Festigkeit und Starrheit.

[0044] Eine weitere Ausführungsform der Befestigungsmittel **32** ist aus [Fig. 4](#) ersichtlich. Diese Verbindung kann für einen hochfesten Anschluss benutzt werden. In diesem Fall können die Befestigungsmittel **32** zwei Gewindebolzen **42** aufweisen, deren jeweiliger Kopf **44** von einer strukturellen Platte **46** abgestützt ist, und jeder der Bolzen erstreckt sich rechtwinklig durch ein querverlaufendes Zwischenloch **48** in einem langgestreckten Glied **14** quadratischen Querschnitts. Der Schaf **50** eines jeden Bolzens **42** greift in eine Gewindebohrung innerhalb einer entsprechenden Fixierungshülse **54** ein, die in einer Aufnahme-Ausnehmung **56** des anderen langgestreckten Gliedes **14** angeordnet ist, die bei diesem Ausführungsbeispiel einen rechteckigen Querschnitt hat wie dies in [Fig. 3](#) dargestellt ist. Die Belastung wird dann über das erste langgestreckte Glied **14** durch die Platte **46** übertragen.

[0045] Sämtliche senkrechten Verbindungen innerhalb des Befestigungsrahmens **12** werden durch Be-

festigungseinrichtungen bewirkt, wie diese in den [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) beschrieben sind.

[0046] Wenn, wie vorstehend erwähnt, die Starrheit des Gerüsts **16** weiter verbessert werden muss, dann kann eine Anzahl diagonaler Versteifungsstreben **18** vorgesehen werden, die ähnlich wie die extrudierten Aluminium-Profile gestaltet sind. Derartige Streben werden durch Paare von Gelenkelementen **62**, **64** verbunden, die jeweils zwischen den Enden der diagonalen Verstärkungsstreben **18** und benachbarten Abschnitten des Rahmens **16** angeordnet sind, wie dies beispielsweise in den [Fig. 1](#) und [Fig. 7](#) dargestellt ist.

[0047] Nunmehr wird auf die [Fig. 5](#) bis [Fig. 7](#) Bezug genommen, diese zeigen im einzelnen jeweils Aufnahmevorrichtungen **20**. Wie dargestellt, umfasst jede Aufnahmevorrichtung **20** eine Anordnung von Rohren **66** und Klemmelementen **68**, die damit verbunden sind, um eine Bewegung in wenigstens drei, vorzugsweise aber sechs Freiheitsgraden zu ermöglichen.

[0048] Im einzelnen weist jede Aufnahmevorrichtung **20** ein Montageelement **70** auf, um die Aufnahmevorrichtung **20** am Befestigungsrahmen **12** beispielsweise mittels Bolzen **72** festzulegen, die mit (nicht gezeigten) Muttern in den Kanälen **22** der zugeordneten langgestreckten Glieder **14** zusammenwirken. Das Montageelement **70** besitzt eine im wesentlichen flache planare Oberfläche, die so angeordnet ist, dass sie mit einer benachbarten flachen planaren Oberfläche des Gliedes **14** derart zusammen wirkt, dass die Aufnahmevorrichtung **20** leicht längs der Oberfläche des Gliedes **14** bewegt werden kann, um eine Lokalisierung oder Einstellung vorzunehmen, bevor durch Bolzen eine sichere Festlegung an dieser Stelle erfolgt.

[0049] Ein erstes Klemmelement **68a** ist am Montageelement **70** unter Benutzung der Bolzen **72** festgelegt. Von dem ersten Klemmelement **68a** erstreckt sich ein erstes Rohr **66a**, das in einem zweiten Klemmelement **68b** endet, wie dies in der Zeichnung dargestellt ist. Ein zweites Rohr **66b**, das senkrecht zu dem ersten Rohr **66a** verläuft, erstreckt sich zwischen dem Klemmelement **68b** und einem weiteren Klemmelement **68c**. In gleicherweise ist ein drittes Rohr **66c** rechtwinklig zu dem zweiten Rohr **66b** angeordnet, und dieses erstreckt sich zwischen dem Klemmelement **68c** und einem weiteren Klemmelement **68d**. Schließlich ist das Klemmelement **68d** mittels Bolzen **74** mit einem Aufnahmeelement **76** verbunden, das im Betrieb das Flugzeugbauteil erfasst und hält.

[0050] Die Rohre **66** und die Klemmelemente **68** sind auch aus Aluminium hergestellt. Im einzelnen besteht jedes Klemmelement **68** aus einem Block **78**

aus Aluminium, der mit einer zylindrischen Öffnung **80** versehen ist, um drehbar und gleitbar die Rohre **66** aufzunehmen. Im Block **78** ist ein entsprechender Schlitz **82** längs einer Seite einer jeden zylindrischen Öffnung **80** vorgesehen um einen Spalt zu bilden, der durch weitere Bolzen **84** geschlossen werden kann um zu gewährleisten, dass das Klemmelement **78** das jeweilige Rohr **66** in der erforderlichen Stellung fest erfasst und sichert.

[0051] Es ist ersichtlich, dass durch diese Anordnung die Rohre **66** relativ zueinander gedreht und/oder relativ zueinander längs dreier senkrecht aufeinander stehender Achsen versetzt werden können.

[0052] Infolgedessen kann eine Einstellung der Aufnahmevorrichtungen **20**, sowohl bezüglich der Lokalisierung der Aufnahmevorrichtungen **20** relativ zum Befestigungsrahmen, als auch bezüglich der Positionierung und Orientierung des Aufnahmeelementes **76** im Raum leicht bewerkstelligt werden, um folgende Anordnungen zu treffen: a) kleine Veränderungen in den Positionen der Aufnahmevorrichtungen **20**; und b) Bewegungen des Befestigungsrahmens **12**, die während einer Zeitdauer infolge von Faktoren wie Abnutzung und Rissebildung und wegen einer thermischen Expansion und Kontraktion auftreten. In gleicher Weise kann die Aufnahmevorrichtung **20** leicht an kleinen Konstruktionsmodifikationen des Flugzeugbauteils selbst angepasst werden, und zwar einfach durch Änderung der Lokalisierung der bestehenden Aufnahmevorrichtung **20** relativ zum Befestigungsrahmen **12** und dadurch, dass die Position und/oder Orientierung der Aufnahmeelemente **76** geändert wird, oder indem stattdessen eine zusätzliche Aufnahmevorrichtung **20** eingeschaltet wird. Außerdem ist es möglich nach Vollendung eines jeweiligen Montageprozesses das Montagewerkzeug **10** abzubauen und in einer völlig anderen Konfiguration wieder aufzubauen, um die Montage eines anderen Flugzeugbauteils vornehmen zu können.

[0053] Das Verfahren zur Erzeugung des dargestellten Montagewerkzeuges **10** wird wie nachstehend erläutert durchgeführt:

Zunächst, werden die Konstruktionserfordernisse für das jeweilige Montagewerkzeug **10** einschließlich sowohl des Befestigungsrahmens **12** als auch der Aufnahmevorrichtungen **20** aus Daten bestimmt, die von einem bekannten computergestützten Konstruktionsystem für das jeweilige Flugzeugbauteil abgenommen werden. Von diesen Daten werden mehrere Punkte, an denen der Bauteil abgestützt werden soll und die erforderliche Richtung der Abstützung in jedem Falle ausgearbeitet. Die Konstruktion des Befestigungsrahmens **12** und die Zahl der Stellen, der Aufnahmevorrichtungen **20** zusammen mit der Positionierung und der Orientierung der Aufnahmeelemente **76** werden dann berechnet.

[0054] Als nächstes werden die Teile für den Befestigungsrahmen **12** erzeugt, indem bestimmte Längen der extrudierten Aluminiumprofile auf die erforderlichen Dimensionen zugeschnitten werden, um die langgestreckten Glieder **14** zu erzeugen. Derartige langgestreckte Glieder **14** werden durch Befestigungsmittel **32**, wie oben erwähnt, miteinander verbunden, und danach werden die zusätzlichen langgestreckten Glieder **14**, die die Versteifungsstreben **18** bilden, mit dem Gerüst **16**, wie oben beschrieben verbunden.

[0055] Nachdem auf diese Weise der Befestigungsrahmen **12** hergestellt ist, werden die Aufnahmevorrichtungen **20** gewählt und am Befestigungsrahmen **12** an vorbestimmten Stellen montiert.

[0056] Obgleich es möglich ist, mehrere unterschiedliche Aufnahmevorrichtungen **20** herzustellen, von denen jede eine Anzahl von Rohren **66** aufweist, die entsprechend den Erfordernissen auf verschiedene Längen zugeschnitten sind, so ist es gemäß der vorliegenden Erfindung jedoch zu bevorzugen, eine einheitliche universale Konstruktion einer Aufnahmevorrichtung **20** zu benutzen und diese jeweils vorrätig zu halten. In diesem Fall würde jede Aufnahmevorrichtung **20** aus vorbestimmten Längen von Rohren hergestellt, die durch gleiche Klemmelemente verbunden sind.

[0057] Demgemäß umfasst der nächste Schritt des Herstellungsverfahrens einfach die Wahl der erforderlichen Zahl von Aufnahmevorrichtungen **20** und die Anordnung dieser Aufnahmevorrichtungen am Befestigungsrahmen **12** an Stellen, die durch die computergestützten Konstruktionsdaten vorbestimmt sind.

[0058] Insoweit kann das Herstellungsverfahren ohne besondere Genauigkeiten hergestellt werden, wobei Standardtoleranzen zulässig sind. Die folgenden Stufen des Herstellungsverfahrens erfordern jedoch ein weitaus höheres Maß an Genauigkeit, innerhalb sehr feiner Toleranzen:

Nachdem die Aufnahmevorrichtungen **20** am Befestigungsrahmen **12** montiert sind, müssen sie in die erforderliche Orientierung gebracht werden, um das Flugzeugbauteil an präzise vorbestimmten Punkten der Struktur und in einer vorbestimmten präzisen Richtung zu halten. Um jede Aufnahmevorrichtung **20** in geeigneter Weise und mit der notwendigen Präzision einzustellen, wird ein Lasernachführ-Gerät oder eine andere Messvorrichtung benutzt.

[0059] Insbesondere weist das Lasernachführ-Gerät ein computergesteuertes Laser-Messgerät auf, in das die Daten bezüglich der vorbestimmten Position und Orientierung des Aufnahmeelementes **76** einer jeden Aufnahmevorrichtung **20** vorprogrammiert sind. Die Aufnahmevorrichtung **20** wird zunächst grob an der erforderlichen Position und in der erforderlichen

Orientierung am Befestigungsrahmen **12** montiert, und dann wird das Lasernachführ-Gerät benutzt, um die Anfangsposition und Orientierung des Aufnahmeelementes **76** zu messen und diese Position mit der erforderlichen Position zu vergleichen. Die Ergebnisse des Vergleichs führen zu Einstelldaten, und unter Benutzung dieser Daten wird die Aufnahmevorrichtung **20** entsprechend eingestellt, um das Aufnahmeelement **76** in die neue Position und Orientierung zu überführen. Das Lasernachführ-Gerät führt eine weitere Messung des gegenwärtigen Zustandes durch und vergleicht diese mit den vorbestimmten Erfordernissen. Dies führt zu weiteren Einstelldaten, und es wird eine weitere Einstellung vorgenommen, bis demgemäß die entsprechende Position und Orientierung innerhalb der erforderlichen feinen Toleranzen erreicht ist. Demgemäß umfasst die Einstellung der Aufnahmeelemente **76**, der Aufnahmevorrichtung **20** wiederholte Mess-Schritte der gegenwärtigen Position und Orientierung und einen Vergleich der gegenwärtigen Positionierung und Orientierung mit der vorbestimmten Position und Orientierung, und es wird eine Einstellung bewirkt, um den Fehler zwischen den beiden zu vermindern.

[0060] Gemäß [Fig. 7](#), wird das Verfahren der Einstellung einer jeden Aufnahmevorrichtung **20** in zwei Stufen im einzelnen beschrieben.

[0061] In Stufe 1, werden die Fläche **86** des Aufnahmeelementes **76** und ein Loch **88** innerhalb dieser Fläche in vorbestimmte Positionen und Orientierungen eingestellt.

[0062] Zunächst, wird die Fläche **86** des Aufnahmeelementes **76** im Winkel zu einer erforderlichen Ebene im Raum eingestellt, indem die Rohre **66a**, **66b** und **66c** relativ zu jeder Achse X, Y und Z nacheinander gedreht werden. Nach jeder Drehung wird eine Messung über der Fläche **86** durch das Lasernachführ-Gerät vorgenommen und es wird ein Vergleich mit der vorbestimmten Orientierung bewirkt.

[0063] Zweitens, wird das Loch **88** in der Fläche **86** des Aufnahmeelementes in die erforderliche Position bewegt, indem aufeinander folgende Verschiebungen längs der Achsen X, Y und Z nacheinander vorgenommen werden, und indem die Klemmelemente **68b**, **68c** und **68d** längs der Rohre **66a**, **66b** und **66c** verschoben werden. Wiederum werden Messungen durch das Lasernachführ-Gerät nach jedem Verschiebe-Vorgang durchgeführt, und es wird ein Vergleich mit der vorbestimmten Position vorgenommen.

[0064] In Stufe 2, wird eine Profilplatte **90** in einer vorbestimmten Position und Orientierung relativ zum Aufnahmeelement **76** montiert.

[0065] Zunächst, wird die Profilplatte **90** in eine vorbestimmte Position relativ zur Oberfläche **86** des Auf-

nahmeelementes **76**, unter Benutzung des Lasernachführ-Gerätes bewegt. Die Profilplatte **98** wird dann drehbar am Aufnahmeelement **76** festgelegt, indem ein Stift durch ein Loch **92** in der Profilplatte **90** und ein entsprechendes (nicht gezeigt) Loch in der Fläche **86** gesteckt wird.

[0066] Als nächstes wird ein zweites Loch **94** in der Profilplatte **90** unter zu Hilfenahme des Lasernachführ-Gerätes durch wiederholte Dreheinstellung der Platte **90** positioniert, und nach jeder Positionierung wird die gegenwärtige Position des Loches **94** gemessen und mit der vorbestimmten Position verglichen. Dadurch wird ein Lokalisierungsrand **96** der Profilplatte **90** in eine vorbestimmte Position überführt, und zu diesem Zeitpunkt wird die Profilplatte am Aufnahmeelement **76** festgelegt.

[0067] Schließlich werden Greiferfinger **98** an der Profilplatte **90** und demgemäß am Aufnahmeelement **76** festgelegt.

[0068] Hierbei werden die Einstellungen der Teile, der Aufnahmevorrichtung **20** während der zwei Schritte des Einstellverfahrens manuell durchgeführt. Es ist jedoch in gleicher Weise möglich, diese Einstellungen automatisch unter der Steuerung des Lasernachführ-Gerätes vorzunehmen.

[0069] Es sind auch noch andere Modifikationen des beschriebenen Verfahrens möglich: Beispielsweise wurde bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel angenommen, dass die Aufnahmevorrichtung so ausgebildet ist, dass das Aufnahmeelement mit sechs Freiheitsgraden längs von und um drei orthogonale Achsen beweglich ist. Jedoch wäre wenigstens in gewissen Fällen auch eine Bewegung in nur drei Freiheitsgraden möglich, nämlich längs wenigstens zweier orthogonaler Achsen und um wenigstens eine dieser Achsen herum.

[0070] Das beschriebene Verfahren der Erzeugung eines Flugzeugmontagewerkzeuges ermöglicht ein hohes Ausmaß an Genauigkeit bei der Erzeugung des Werkzeuges innerhalb enger notwendiger Toleranzen bei einer einfachen Einstellung.

[0071] Das Verfahren zur Herstellung des Montagewerkzeuges ist anpassungsfähig und führt zu einem wirtschaftlichen und flexiblen Werkzeugsystem.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Flugzeugmontagewerkzeuges zum Abstützen eines Flugzeugbauteils, gekennzeichnet durch die folgende Kombination:

a) Es werden mehrere vorbestimmte Positionen und entsprechende Orientierungen im Raum berechnet, an denen der Flugzeugbauteil abgestützt werden

soll;

b) es wird ein Befestigungsrahmen (**12**) konstruiert, der so ausgebildet ist, dass er den Flugzeugbauteil an vorbestimmten Stellen des Rahmens abstützt, die den jeweiligen vorbestimmten Positionen im Raum entsprechen;

c) es wird der Befestigungsrahmen konstruiert, indem langgestreckte Glieder (**14**) vorbestimmter Länge ausgewählt und diese durch lösbare Befestigungsmittel (**32**) miteinander verbunden werden;

d) es werden mehrere Aufnahmevorrichtungen (**20**) vorgesehen, von denen jede ein Aufnahme-Element (**76**) zum Abstützen des Bauteiles aufweist;

e) jede Aufnahmevorrichtung umfasst mehrere weitere langgestreckte Glieder (**66**) vorbestimmter Länge, und mehrere Klemmelemente (**68**) zur gegenseitigen Verbindung der weiteren langgestreckten Glieder und zur Verbindung des Aufnahme-Elementes an einem der weiteren langgestreckten Glieder derart, dass selektiv eine Bewegung in wenigstens drei Freiheitsgraden des Aufnahme-Elementes längs wenigstens zweier senkrecht aufeinander stehender Achsen und um wenigstens eine dieser Achsen herum möglich wird;

f) es wird jede Aufnahmevorrichtung an dem Befestigungsrahmen an jeweils einer der vorbestimmten Stellen festgelegt; und

g) es wird das Montagewerkzeug zur Aufnahme eines Flugzeugbauteils konstruiert, indem jedes Aufnahme-Element längs der orthogonalen Achsen und um diese herum aufgebaut wird, bis das Aufnahme-Element bezüglich der vorbestimmten Position und der entsprechenden Orientierung im Raum ausgerichtet ist, die den vorbestimmten Stellen zugeordnet sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt g) die Einstellung eines entsprechenden Aufnahme-Elementes etwa in der vorbestimmten Lage und entsprechenden Orientierung aufweist und die Ist-Position und die Ist-Orientierung des Aufnahme-Elementes gemessen werden und das Aufnahme-Element in die vorbestimmte Position und entsprechende Orientierung überführt wird und die Schritte der Messung und der Bewegung wiederholt werden bis das Aufnahme-Element die vorbestimmte Stelle erreicht.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Klemmelemente derart ausgebildet sind, dass selektiv sechs Freiheitsgrade der Bewegung längs der drei orthogonalen Achsen und um diese herum erhalten werden wobei der Schritt g) die Bewegung eines jeden Aufnahme-Elementes längs der drei orthogonalen Achsen und um diese herum umfasst.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die vorbestimmten Positionen und die entsprechenden Orientierungen

durch computergestützte Konstruktionsdaten für einen zugeordneten Flugzeugbauteil bestimmt werden.

5. Verfahren nach Ansprüchen 2 oder 3 und 4 in Abhängigkeit von Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Ist-Position und die Ist-Orientierung eines jeden Aufnahme-Elementes gemessen und mit der vorbestimmten Position und der entsprechenden Orientierung verglichen werden, die durch die computergestützten Konstruktionsdaten für einen zugeordneten Flugzeugbauteil bestimmt sind.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Ist-Position und die Ist-Orientierung eines jeden Aufnahme-Elementes mittels einer Lasernachführvorrichtung gemessen werden.

7. Flugzeugmontage-Verfahren gekennzeichnet durch die nachstehenden Merkmale:

- a) Es wird ein Montagewerkzeug gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 hergestellt,
- b) es wird wenigstens ein Flugzeugbauteil auf dem Montagewerkzeug montiert, und
- c) es wird eine Montageoperation auf dem wenigstens einem Flugzeugbauteil durchgeführt

8. Montageverfahren nach Anspruch 7, welches weiter gekennzeichnet ist durch eine Rekonfigurierung des Montagewerkzeugs nach Vollendung der Montageoperation und durch Montage von wenigstens einem Flugzeugbauteil auf dem rekonfigurierten Montagewerkzeug und durch Durchführung einer weiteren Montageoperation.

9. Montageverfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Rekonfigurierung des Montagewerkzeugs eine Einstellung der Relativbeziehung der jeweiligen langgestreckten Glieder des Befestigungsrahmens und/oder die Einstellung der Lage der jeweiligen Aufnahmevorrichtungen bezüglich des Befestigungsrahmens aufweist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

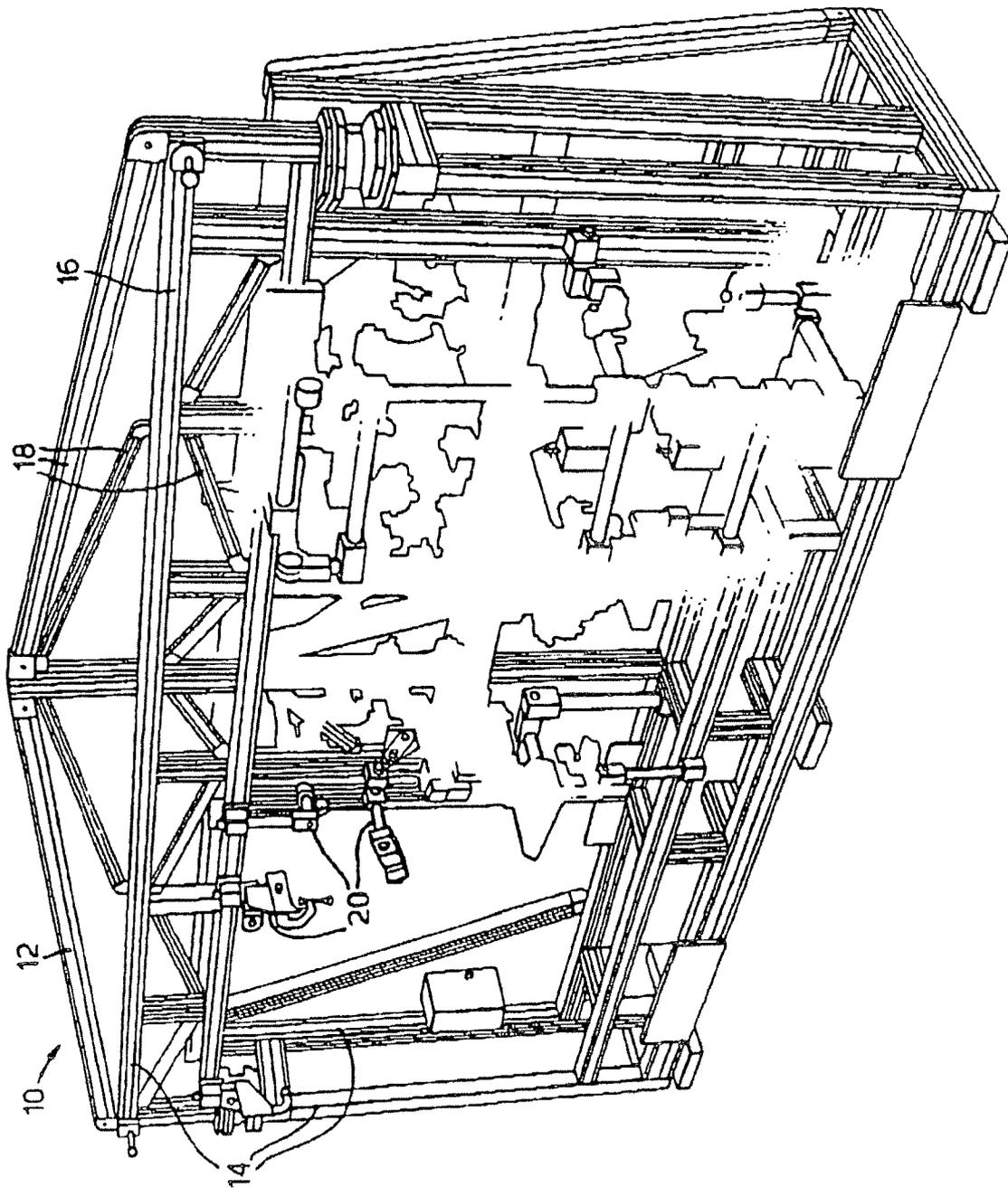


Fig.1.

Fig.2.

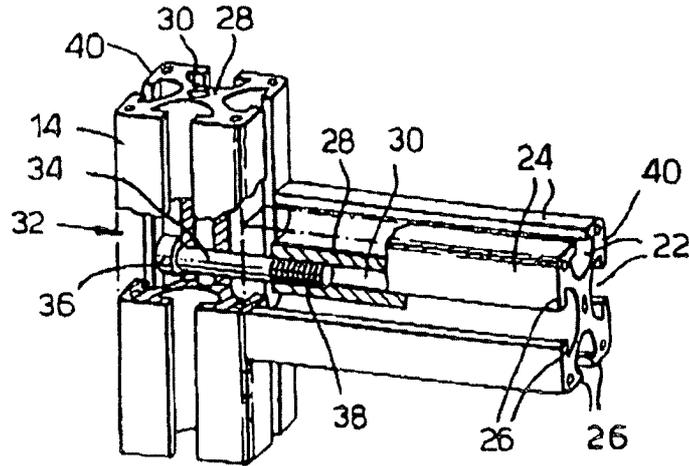


Fig.3.

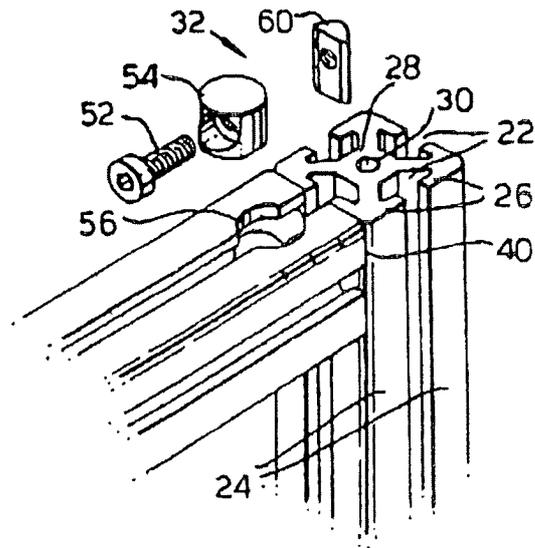


Fig.4.

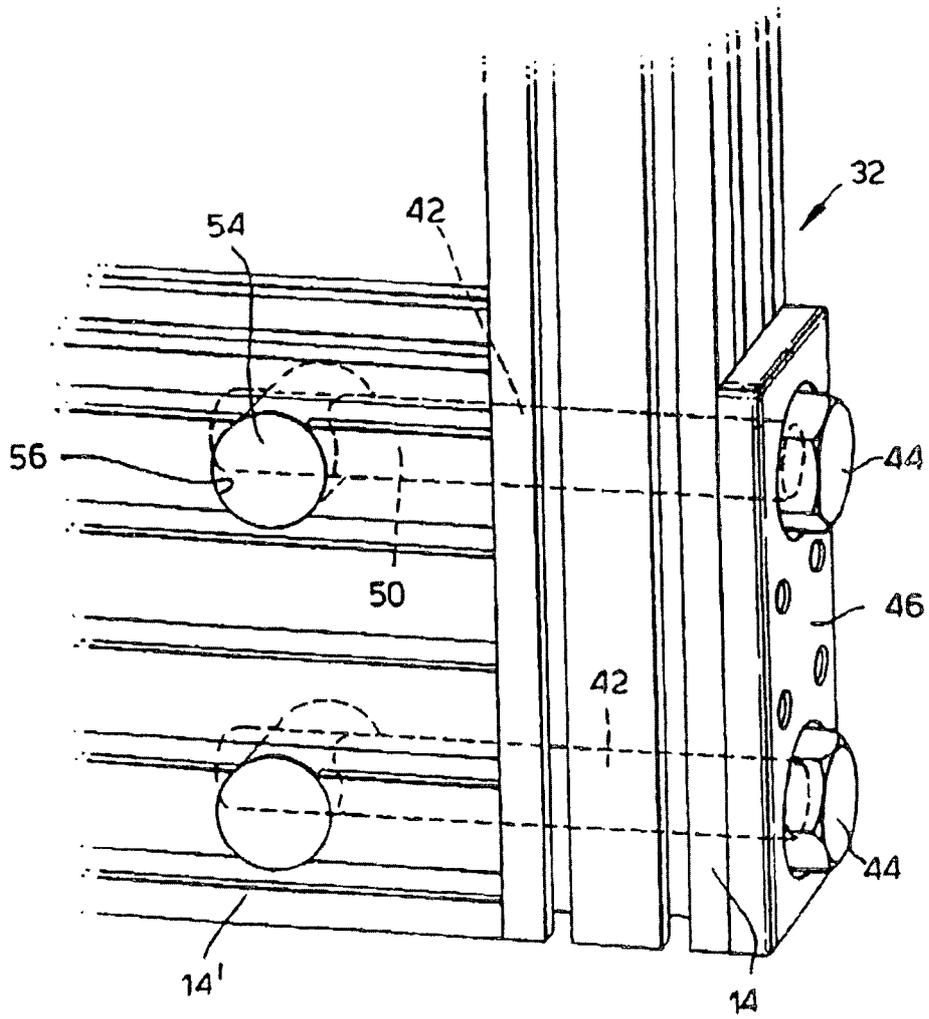


Fig.6.

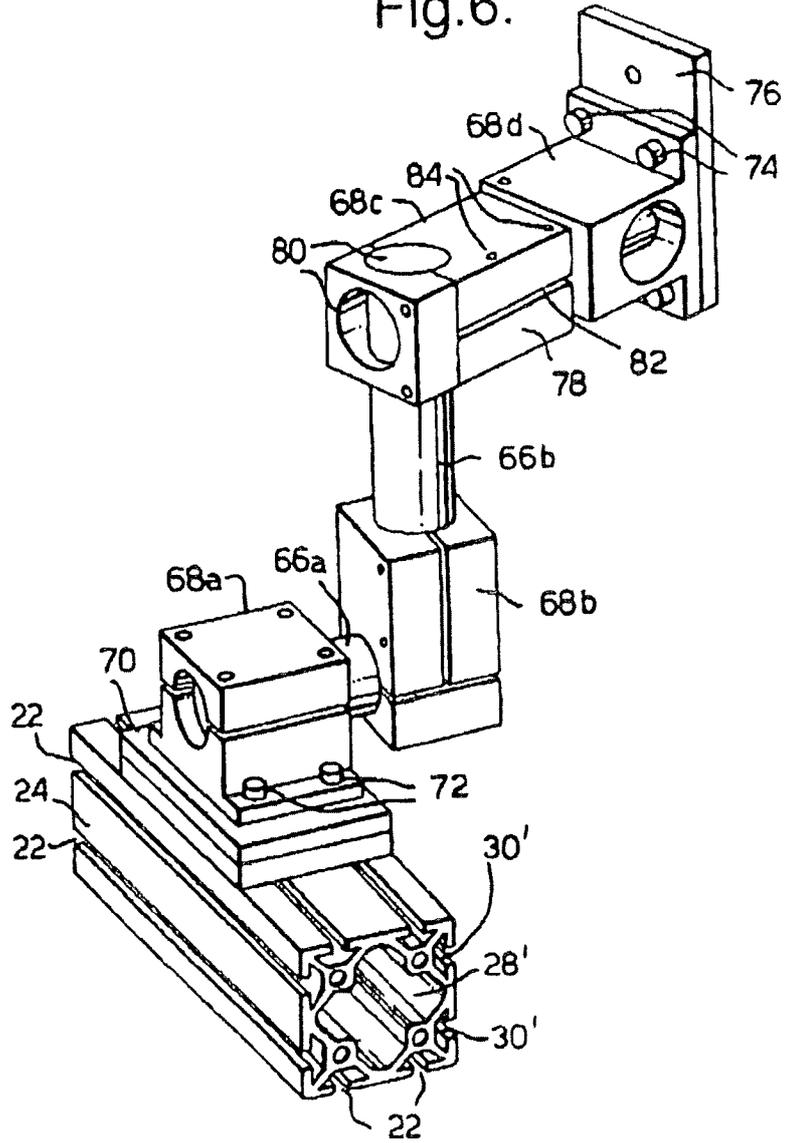


Fig.7.

