



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 03 786 T2** 2005.07.14

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 129 813 B1**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **B23P 6/00**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 03 786.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 301 358.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **16.02.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **05.09.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **16.06.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **14.07.2005**

(30) Unionspriorität:

**517020                      02.03.2000                      US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB, IT, SE, TR**

(73) Patentinhaber:

**General Electric Co., Schenectady, N.Y., US**

(72) Erfinder:

**Randolph, Jr., James Edward, Mason, Ohio 45040,  
US; Ehling, David Edward, Morrow, Ohio 45152,  
US; Brunck, Michael Jay, Cincinnati, Ohio 45240,  
US**

(74) Vertreter:

**Voigt, R., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 65239 Hochheim**

(54) Bezeichnung: **Bearbeitung mit Verschiebung der nominellen Positionsbestimmungen**

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 allgemein auf die Fertigung und spezieller auf die Bearbeitung einzelner Werkstücke. Sie bezieht sich auf ein Verfahren zur Nachbearbeitung eines im vorbearbeiteten Werkstückes, siehe beispielsweise US 5, 288, 209 und auf ein Verfahren zum Reparieren eines Werkstückes, siehe beispielsweise US 5, 285, 572.

**[0002]** Ein Verdichter von einem Gasturbinentriebwerk enthält eine Reihe von Verdichterrotorschaukeln oder stromlinienförmigen Abschnitten, die sich von einer tragenden Scheibe radial nach außen erstrecken. Jede Schaufel kann einen einstückigen Schwalbenschwanz aufweisen zum lösbaren Befestigen der Schaufel an dem Umfang von einer Scheibe, die eine komplementäre schwalbenschwanzförmige Nut darin aufweist. Oder die Schaufeln können integral mit der Scheibe in einer einstückigen oder einheitlichen, mit Schaufeln versehenen Scheibenanordnung geformt sein, die üblicherweise als eine Blisk (bladed disk bzw. mit Schaufeln versehene Scheibe) bezeichnet wird.

**[0003]** Jede Schaufel hat eine stromlinienförmige Konfiguration mit einer im allgemeinen konkaven Druckseite und einer gegenüberliegenden im allgemeinen konvexen Saugseite, die sich in radialer Richtung vom Fuß bis zur Spitze spannen zwischen axial im Abstand angeordneten Vorder- und Hinterkanten. Der stromlinienförmige Abschnitt hat eine komplexe dreidimensionale (3D) Konfiguration und ist üblicherweise um seine radiale Stapelachse verdreht.

**[0004]** Scheibenschaufeln oder Bliskschaufeln können auf verschiedene Arten und mit einem unterschiedlichen Grad an Schwierigkeit und Kosten gefertigt werden. In jedem Fall muß Material von einem anfänglichen Werkstück entfernt werden, um die gewünschte Konfiguration von dem stromlinienförmigen Abschnitt gemäß seiner Designspezifikation zu erzielen.

**[0005]** Die Konfiguration von jedem stromlinienförmigen Abschnitt wird üblicherweise durch eine geeignete Anzahl von Oberflächenpunkten in einem dreidimensionalen Koordinatensystem definiert. Die nominale Konfiguration von jeder Schaufel spezifiziert ihre gewünschte aerodynamische Form und relative Position von ihren Merkmalen.

**[0006]** Da alle Fertigungsverfahren zufälligen Änderungen in der Materialentfernung ausgesetzt sind, ist die nominale Konfiguration durch geeignet kleine Toleranzen von größeren und kleineren Änderungen in den Dimensionen begrenzt, die für ein bestimmtes Design akzeptabel sind. Beispielsweise können die Abmessungen von einem bestimmten Kompo-

nentendesign bis zu wenigen hundertstel Millimeter (Mil) größer als oder kleiner als die nominale Abmessung für die gewünschte Konfiguration variieren.

**[0007]** Dementsprechend ist während der Fertigung der einzelnen Schaufeln deren Endkonfiguration niemals exakt die gleiche wie die nominale Konfiguration, sondern ändert sich innerhalb der zulässigen Toleranzen über der gesamten äußeren Oberfläche von der Komponente. Da eine gegebene Rotorstufe eine beträchtliche Anzahl von Schaufeln um den Umfang der tragenden Scheibe herum aufweist, sind keine zwei Schaufeln identisch gleich, obwohl alle Schaufeln innerhalb der zulässigen Toleranzen der nominalen Konfiguration geformt werden.

**[0008]** Zufällige Änderungen in der Endkonfiguration der Schaufeln treten unabhängig von dem jeweiligen Verfahren zum Formen der Schaufeln auf. Beispielsweise erodiert elektrochemische Bearbeitung (ECM von electrochemical machining) Material von einem Stück, wobei zwei Kathodenelektroden verwendet werden, die Konturen komplementär zu den gewünschten Seitenkonturen der Schaufel haben.

**[0009]** Einzelne Schaufeln können auch unter Verwendung einer numerisch gesteuerten Fräsmaschine geformt werden, in der die nominale Konfiguration der Schaufel in einem geeigneten Koordinatensystem gespeichert ist, und das Schneidwerkzeug folgt einer entsprechenden Schneidbahn um das Werkstück herum, um dessen Endkonfiguration zu formen.

**[0010]** In beiden oben beschriebenen Beispielen sind die einzelnen Schaufeln, die unter Verwendung ihrer nominalen Konfiguration geformt werden, den zulässigen Toleranzen oder Änderungen in den endgültigen Oberflächenabmessungen ausgesetzt.

**[0011]** Schaufeln eines Gasturbinentriebwerkes werden üblicherweise aus hochfesten Materialien mit einem hohen Grad an Genauigkeit gefertigt, der durch relativ kleine Fertigungstoleranzen reflektiert wird, und somit sind die Herstellungskosten relativ hoch. Eine Schaufel kann während des Fertigungsprozesses oder während der Benutzung in dem Gasturbinentriebwerk beschädigt werden, und es ist deshalb erwünscht, diese Schaufel zu reparieren, um ihre verlustreiche Verschrottung zu verhindern.

**[0012]** Für eine Rotorscheibe mit lösbaren Schaufeln ist dies ein kleineres Problem, da eine einzelne Schaufel entfernt von der Schaufel einfacher repariert werden kann oder einfach gegen eine andere Schaufel ersetzt wird. Jedoch muß für eine mit Schaufeln versehene Scheibe bzw. Blisk mit einstückigen Schaufeln eine beschädigte Schaufel an Ort und Stelle repariert werden, da anderenfalls die gesamte Blisk einschließlich ihrer vielen Schaufeln zum

Ausschuß gegeben werden müßte.

**[0013]** In einem kürzlichen Entwicklungsprogramm ist die Schweißreparatur von Titan-Blisks für eine Anwendung in einem Verdichter von einem Gasturbinentriebwerk untersucht worden. Eine Beschädigung an den relativ dünnen Vorder- oder Hinterkanten von einer einzelnen Schaufel kann repariert werden, indem der beschädigte Abschnitt entfernt und eine Schweißreparatur an dem verbleibenden Ausschnitt vorgenommen wird. Entweder kann Schweißmaterial in dem Ausschnitt aufgebaut werden oder es kann ein geeigneter Späneinsatz darin eingeschweißt werden.

**[0014]** In jedem Fall wird die Schweißreparatur absichtlich größer gemacht als die nominale Konfiguration der Schaufel, so daß die Reparaturstelle anschließend an die ursprüngliche Schaufelkontur angepasst werden muß. Da die Schaufel eine aerodynamische Komponente ist, ist eine glatte Oberfläche von ihr ohne Stufen oder Diskontinuitäten erforderlich, die das aerodynamische Leistungsvermögen nachteilig beeinflussen würden. Die Schweißreparatur kann manuell in Form gebracht werden, wobei beispielsweise eine Schleifmaschine verwendet wird, aber sie ist entsprechenden Ungenauigkeiten ausgesetzt.

**[0015]** Eine maschinelle Überarbeitung der Schweißreparatur ist erwünscht, aber die von Natur aus auftretende Abweichung der Konfiguration einer einzelnen Schaufel von der nominalen Konfiguration führt eine zusätzliche Ungewissheit in den Bearbeitungsprozess ein, der entweder eine unzureichende oder übermäßige Bearbeitung an der Schweißreparatur relativ zu den unbeschädigten benachbarten Oberflächen und entstehende Diskontinuitäten oder Stufen dazwischen bewirkt.

**[0016]** Dementsprechend ist es erwünscht, ein Verfahren zum Nachbearbeiten eines vorbearbeiteten Werkstückes auf eine nominale Konfiguration innerhalb der ursprünglichen spezifizierten Toleranzen dafür bereitzustellen.

**[0017]** Die Erfindung stellt ein Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstückes bereit, bei dem die nominale Konfiguration von einem Werkstück in einer numerisch gesteuerten Vielachsen-Maschine gespeichert ist. Das Werkstück wird in der Maschine geprüft, um eine Versetzung von der nominalen Konfiguration zu ermitteln. Das Werkstück wird dann um die Versetzung verschoben, um der nominalen Konfiguration zu entsprechen. Das Werkstück wird dann gemäß der nominalen Konfiguration bearbeitet, während die Versetzung beibehalten wird. Ein Verfahren zum Reparieren eines Werkstückes gemäß Anspruch 8 wird ebenfalls bereitgestellt.

**[0018]** Die Erfindung wird nun anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen zusammen mit ihren weiteren Aufgaben und Vorteilen in der folgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den beige-fügten Zeichnungen näher beschrieben, in denen:

**[0019]** [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung von einer Fräsmaschine ist, die für eine Bearbeitung eines Werkstückes gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung konfiguriert ist;

**[0020]** [Fig. 2](#) eine vergrößerte perspektivische Ansicht von einem Teil der in [Fig. 1](#) dargestellten Maschine ist, in der als Beispiel ein Blisk-Werkstück angebracht ist;

**[0021]** [Fig. 3](#) ein vergrößerter Abschnitt von der in [Fig. 2](#) dargestellten Blisk und eine entsprechende Fließbilddarstellung von einem Verfahren zu ihrer Reparatur gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist;

**[0022]** [Fig. 4](#) eine vergrößerte perspektivische Ansicht von einem Ausführungsbeispiel der in [Fig. 3](#) dargestellten Bliskschaufeln ist und deren Prüfung darstellt;

**[0023]** [Fig. 5](#) eine schematische Darstellung von der in [Fig. 4](#) dargestellten geprüften Schaufel und eine entsprechende Fließbilddarstellung von ihrer Prüfung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist.

**[0024]** In [Fig. 1](#) ist schematisch eine numerisch gesteuerte Vielachsen-Maschine **10** dargestellt, die gemäß der Erfindung aufgebaut ist, zum Bearbeiten eines Werkstückes **12** in der Form von einer mit Schaufeln versehenen Scheibe (Blisk) eines Verdichters von einem Gasturbinentriebwerk. Die Maschine selbst kann irgend eine übliche Konfiguration haben, wie beispielsweise eine Fünfachsen-Fräsmaschine in der Form eines T30 Machining Center, das von der Cincinnati Machine Company in Ohio handelsmäßig erhältlich ist.

**[0025]** Die Maschine enthält einen Dreh-Leistungskopf oder eine -spindel **14**, die ein geeignetes Bearbeitungswerkzeug oder ein Schneidwerkzeug **16** darin aufnimmt. Die Spindel **14** ist an einer Höhenverstellvorrichtung (Elevator) schwenkbar angebracht, um eine Dreh-Bewegungsachse A auszubilden. Der Elevator **18** ist an einem entsprechenden Rahmen angebracht und sorgt für eine zweite Achse einer vertikalen Translationsbewegung Y.

**[0026]** Der Rahmen ist an einem Wagen **20** angebracht, der für eine horizontale Translations-Bewegungsachse X senkrecht zu der vertikalen Translationsachse Y sorgt. Auf diese Weise kann der Ort des Schneidwerkzeuges **16** durch die drei Bewegungs-

achsen X, Y, A gesteuert werden.

**[0027]** Das Werkstück **12** ist auf einem Drehtisch **22** angebracht oder fixiert, der eine Drehbewegung B des Werkstückes **12** um eine vertikale Drehachse **24** einführt, um die das Werkstück koaxial ausgerichtet ist. Der Drehtisch **22** sitzt auf einem weiteren Translationswagen **26**, der für eine dritte Translationsachse der Bewegung Z sorgt, die senkrecht zu den horizontalen und vertikalen Bewegungsachsen X, Y ist.

**[0028]** Die Maschine wird operativ gesteuert durch eine numerische Steuerung **28**, in der Bearbeitungsoperationen programmiert und gespeichert sind zum Steuern der Bahn des Schneidwerkzeuges **16** im 3D Raum, wobei die Kombination der fünf Bearbeitungsachsen X, Y, Z, A, B in einer üblichen Weise verwendet wird.

**[0029]** Das Blisk-Werkstück **12** ist genauer in [Fig. 2](#) dargestellt, wie es in der Maschine angebracht ist. Es wird eine geeignete Halterung **30** verwendet, um die Blisk **12** mit ihrer Mittellinie koinzident mit ihrer Drehachse **24** des Drehtisches **22** anzubringen. Die Blisk enthält eine Stützscheibe **12a** mit mehreren auf dem Umfang im Abstand angeordneten Schaufeln oder stromlinienförmigen Abschnitten **12b**, die sich in einer einheitlichen oder einteiligen Anordnung von ihrem Umfang radial nach außen erstrecken.

**[0030]** Die Blisk selbst kann zunächst in einer üblichen Weise gefertigt werden, wie beispielsweise durch elektrochemische Bearbeitung oder spanabhebende Bearbeitung auf ihre nominale Konfiguration innerhalb geeigneter Toleranzen, wie es oben beschrieben ist. Beispielsweise kann die Fräsmaschine zunächst in einer üblichen Art und Weise betrieben werden, in der die nominale Konfiguration der Blisk in einem Speicher gespeichert ist mit einer entsprechenden Bearbeitungsbahn für das Schneidwerkzeug, um Material von einem ursprünglichen Werkstück-Rohling zu entfernen, um die einzelnen Schaufeln **12d** ihrerseits zu formen.

**[0031]** Wie oben angegeben ist, kann die nominale Konfiguration der gewünschten Endform und Position der einzelnen Schaufeln **12b**, die durch die Scheibe **12a** gehalten sind, durch eine geeignet große Anzahl von einzelnen Punkten über der äußeren Kontur von den einzelnen Schaufeln definiert werden, wie sie durch die entsprechenden Koordinaten der Maschine dargestellt werden. Für die Fünfachsen-Maschine, die in [Fig. 2](#) dargestellt ist, wird jeder Punkt der nominalen Konfiguration von jeder Werkstück-Schaukel **12b** durch die fünf Koordinaten X, Y, Z, A, B definiert.

**[0032]** Die nominale Konfiguration wird in geeigneter Weise in dem Speicher der Maschinensteuerung **28** zusammen mit der gewünschten Schneidbahn ge-

speichert, die für das Schneidwerkzeug **16** erforderlich ist, um der nominalen Konfiguration, die im Speicher gespeichert ist, zu folgen. Wie oben angegeben ist, ist die Vielachsen-Fräsmaschine üblich und kann in üblicher Weise betätigt werden zur Verwendung bei der Anfangsbearbeitung aller Schaufeln **12b** der Blisk auf ihre Endform und -position innerhalb der zulässigen Bearbeitungstoleranzen.

**[0033]** Die üblichen Bearbeitungsabweichungen verhindern, daß die vielen Schaufeln in ihrer Konfiguration untereinander identisch sind, obwohl sie innerhalb der zulässigen Toleranzen im Wesentlichen identisch sind. Die zulässigen Toleranzabweichungen in den Endabmessungen der einzelnen Schaufeln haben zur Folge, daß verschiedene Abschnitte von ihnen entweder eine Untergröße oder Übergröße haben, die üblicherweise von Schaufel zu Schaufel unterschiedlich sind.

**[0034]** [Fig. 3](#) stellt einen Abschnitt von der Werkstück-Blisk **12** mit vier repräsentativen Schaufeln **12b** dar, die zunächst auf die endgültige Konfiguration bearbeitet wurden, aber eine Beschädigung erfahren haben, die gemäß der Erfindung repariert wird. Genauer gesagt, die zweite in [Fig. 3](#) dargestellte Schaufel ist mit einem Beispiel einer Beschädigung **32** in der Form von einer Biegung an ihrer Vorderkante gezeigt, die durch eine Fremdkörper-Beschädigung während der Benutzung des Triebwerkes aufgetreten ist. Es ist erwünscht, die Beschädigung zu reparieren und die beschädigte Schaufel in eine nahezu originale Konfiguration innerhalb der zulässigen Toleranzen von der nominalen Konfiguration zurückzubringen.

**[0035]** Wie zunächst in [Fig. 3](#) gezeigt ist, enthält jede Schaufel eine im allgemeinen konkave Druckseite oder Oberfläche **34** und eine gegenüberliegende im allgemeinen konvexe Saugseite oder Oberfläche **36**. Die zwei Seiten verlaufen von einem mit der Scheibe **12a** einstückigen Fuß **38** zu einer radial äußeren Spitze **40**. Weiterhin verlaufen die zwei Seiten axial zwischen radial verlaufenden Vorder- und Hinterkanten **42, 44**.

**[0036]** Wie oben ausgeführt wurde, kann die in [Fig. 3](#) dargestellte Originalblisk **12** zunächst gefertigt werden, indem ihre nominale Konfiguration in der Fräsmaschine gespeichert wird und dann das Blisk-Werkstück bearbeitet oder vorbearbeitet wird gemäß dieser nominalen Konfiguration, um das Endprodukt zu bilden. Wie in [Fig. 3](#) gezeigt ist, kann die endgültige Blisk eine Schaufelbeschädigung unterschiedlicher Arten erfahren, einschließlich beispielsweise der Biegebeschädigung **32** an der Vorderkante **42**.

**[0037]** Die Blisk kann repariert werden, indem zunächst die Beschädigung beseitigt wird, indem die Biegebeschädigung **32** weggeschnitten und ein Aus-

schnitt **46** entlang der Vorderkante zurückgelassen wird, die an unbeschädigtem Material der Originalschaufel endet, wie es für die dritte Schaufel gezeigt ist. Der Ausschnitt kann dann entweder mit Schweißmaterial alleine oder mit einem metallischen ausgeschnittenen Einsatz gefüllt werden, der eingeschweißt wird, um eine Schweiß-Reparaturstelle **48** zu bilden, die in geeigneter Weise größer ist als die dortige nominale Konfiguration der Schaufel, wie es durch die vierte Schaufel gezeigt ist.

**[0038]** Für eine klare Darstellung stellt [Fig. 3](#) eine Schaufel mit der Biegebeschädigung **32**, eine andere Schaufeln mit dem Ausschnitt **46** und eine weitere Schaufel mit der Schweiß-Reparaturstelle **48** dar. [Fig. 3](#) stellt noch eine weitere, erste Schaufel dar, in der die Schweiß-Reparaturstelle auf die dortige nominale Konfiguration gemäß der Erfindung bearbeitet worden ist, um einen Schweißreparatur-Übergang bzw. -Verschmelzung **48b** zu erzeugen, die mit der Oberflächenkontur des benachbarten Schaufelmateri als innerhalb der zulässigen Toleranzen von der nominalen Konfiguration zusammenzupassen, um irgendwelche stufenförmigen Diskontinuitäten dazwischen zu eliminieren oder wesentlich zu minimieren.

**[0039]** Um durch maschinelle Bearbeitung einen Übergang bzw. eine Verschmelzung der Schweißreparatur **48** mit der nominalen Originalkonfiguration der Schaufel innerhalb der ursprünglichen Toleranzen bereitzustellen, wird die einzelne Schaufel erfindungsgemäß geprüft, um zunächst die Versetzung der tatsächlichen Konfiguration der Schaufeloberfläche von der nominalen Konfiguration aufgrund des ursprünglichen Bearbeitungsvorganges zu ermitteln. [Fig. 4](#) stellt schematisch dar, wie diese Prüfung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ausgeführt werden kann.

**[0040]** Eine übliche Sonde **50** ist in der Spindel **14** von der Vielachsen-Maschine angebracht, um deren Koordinatenmessvermögen zu benutzen, um die Oberfläche von der Werkstück-Schaukel **12b** zu prüfen. Obwohl die nominale Konfiguration von dem Werkstück in der Maschine gespeichert ist, weicht die tatsächliche Konfiguration der vorbearbeiteten Schaufel **12b** in zufälliger Weise innerhalb der zulässigen ursprünglichen Toleranzen davon ab. Jeder Versuch, die Schweiß-Reparaturstelle **48** einfach auf der Basis der nominalen Konfiguration alleine zu bearbeiten, wobei die Blisk in üblicher Weise zu der Maschine in Bezug gesetzt wird, würde zur Folge haben, daß entweder zuwenig oder zuviel Material an der Reparaturstelle entfernt wird und eine entsprechende Stufe mit dem unbeschädigten Material ausgebildet wird, da die tatsächliche Position von dem benachbarten Material aufgrund der ursprünglich ausgebildeten zufälligen Abweichungen unbekannt ist.

**[0041]** Indem also zunächst das Werkstück geprüft

wird, das in der Maschine selbst fixiert ist, kann die Versetzung des Werkstückes von der nominalen Konfiguration, die in dem Maschinenspeicher gespeichert ist, ermittelt werden. Wie in [Fig. 1](#) gezeigt ist, kann das Werkstück dann durch die so ermittelte Versetzung in seiner Position in der Maschine verschoben werden, um der nominalen Konfiguration, die in der Maschine gespeichert ist, zu entsprechen.

**[0042]** Auf diese Weise kann die tatsächliche, geprüfte Konfiguration der unbeschädigten Schaufel ermittelt und am besten angepaßt werden mit der gespeicherten nominalen Konfiguration, so daß die Bearbeitung der Schweiß-Reparaturstelle entsprechend der gespeicherten nominalen Konfiguration besser an die tatsächliche Konfiguration der einzelnen Schaufel besser angepaßt ist, um einen Bearbeitungsübergang mit wenig oder gar keiner Stufe zu benachbartem unbeschädigtem Material innerhalb der ursprünglichen Fertigungstoleranzen herbeizuführen. Das verschobene Werkstück kann dann in üblicher Weise bearbeitet werden gemäß der gespeicherten nominalen Konfiguration zum Entfernen des überschüssigen Materials an der Schweiß-Reparaturstelle und um für einen relativ glatten Bearbeitungsübergang zu angrenzendem Ursprungsmaterial zu sorgen.

**[0043]** Wie in [Fig. 4](#) schematisch gezeigt ist, kann die nominale Konfiguration der Schaufel **12b** durch Koordinaten definiert werden, die den verfügbaren vielen Achsen der speziellen Maschine entsprechen, wie beispielsweise Koordinaten, die die Bewegungsachsen X, Y, Z, A, B darstellen. Obwohl alle fünf Koordinaten bei der Ermittlung der Versetzung der tatsächlichen Schaufelkonfiguration von der gespeicherten nominalen Konfiguration verwendet werden können, gestattet die Untersuchung der bestimmten Werkstück-Geometrie und das Testen eine Prüfung des Werkstückes in weniger als allen verfügbaren vielen Achsen, um die Versetzung ausreichend zu bestimmen, um die Stufendiskontinuität an der Verbindungsstelle von der Schweiß-Reparaturstelle und dem ursprünglichen Material nach der Übergangsbildung durch Bearbeitung möglichst klein zu machen.

**[0044]** Da beispielsweise die in [Fig. 2](#) dargestellten einzelnen Schaufeln **12b** von der tragenden Scheibe **12a** auskragen und sich von der Drehachse **24** des Drehtisches **22** radial nach außen erstrecken, kann die Prüfung der Werkstück-Schaukel in der Maschine ausgeführt werden, um eine Neigungsversetzung der Schaufel von der nominalen Konfiguration entsprechend der Drehachse **24** des Drehtisches **22** der Maschine zu ermitteln. Wie in [Fig. 3](#) dargestellt ist, können die einzelnen Schaufeln **12b** eine verdrehte oder geneigte Konfiguration um entsprechende radiale Stapelachsen der Scheibe **12a** haben, die der Translationsachse Z entsprechen, wenn sie fluchtend damit ausgerichtet ist. Dementsprechend können die



Schaufeln **12b** zusätzlich oder alternativ in der Maschine geprüft werden, um eine Lateral- oder Translations-Versetzung der Schaufel von der nominalen Konfiguration entsprechend einer linearen Translationsachse zu ermitteln, wie beispielsweise entweder der Maschinenachse X oder Y, entlang der das Schneidwerkzeug während der Bearbeitung verschoben wird.

[0045] Die auskragenden Schaufeln **12b**, die in [Fig. 3](#) dargestellt sind, sind einer elastischen Auslenkung während der ursprünglichen Bearbeitung ausgesetzt, die eine Abweichung in ihrer tatsächlichen bearbeiteten Konfiguration entlang den drei Koordinatenachsen X, Y, Z bewirkt. Indem die Anfangs-Referenzposition der Blisk **12** verschoben wird, um die geprüfte Versetzung zwischen der tatsächlichen Konfiguration jeder Schaufel und ihrer nominalen Konfiguration zu kompensieren, paßt die Bearbeitungsbahn des Schneidwerkzeugs, die in der Maschine programmiert ist, um der nominalen Konfiguration zu entsprechen, mit der tatsächlichen Konfiguration von jeder Schaufel besser zusammen, die vor der Bearbeitung geprüft worden ist, um die Schweiß-Reparaturstelle innerhalb der ursprünglichen Toleranzen von der nominalen Konfiguration zu bearbeiten.

[0046] [Fig. 4](#) stellt schematisch als Beispiel eine Art der Prüfung der Werkstück-Schaukel **12b** dar. Die dargestellte Schaufel **12b** hat eine vorbearbeitete tatsächliche Konfiguration, die in ausgezogenen Linien gezeigt ist, und die als Beispiel gezeigte Schweiß-Reparaturstelle **48** entlang dem äußeren Spannenabschnitt von der Vorderkante **42**. In gestrichelten Linien und die Schaufel umgebend ist eine Hülle **52** gezeigt, die die nominale Konfiguration des stromlinienförmigen Abschnitts und die maximale positive Toleranz, die dafür gestattet ist, dargestellt. Die positive Toleranz ist üblicherweise wenige hundertstel Millimeter (Mil) größer als die Abmessungen der nominalen Konfiguration. Die minimale oder negative Toleranz gestattet Untergrößen-Abmessungen, die durch Oberflächenkonturen innerhalb der in ausgezogener Linie gezeigten Kontur der dargestellten Schaufel dargestellt sind.

[0047] Um die tatsächliche Schaufel **12b** in der Maschine in geeigneter Weise zu der gespeicherten nominalen Konfiguration für die Schaufel in Beziehung zu setzen, wird die Schaufel an einem oder mehreren im Abstand angeordneten Prüfpunkten P1–12 geprüft. Da nur die Schweiß-Reparaturstelle **48** eine Bearbeitung benötigt, sind die Prüfpunkte vorzugsweise eng neben der Grenze der Reparaturstelle **48** auf dem ursprünglichen Ausgangsmaterial der Schaufel **12b** angeordnet, das keine Reparatur durchlaufen hat.

[0048] [Fig. 5](#) stellt schematisch Beispiele von Verfahren zum Prüfen der Schaufel **12b** dar, die in einem

entsprechenden Schnitt entlang den als Beispiel gezeigten zwölf Prüfpunkten in einer stark vergrößerten Konfiguration für eine klarere Darstellung gezeigt ist. In gestrichelten Linien ist an der linken Seite von [Fig. 5](#) ein Abschnitt von der nominalen Konfiguration **54** gezeigt, die in dem Maschinenspeicher gespeichert ist und nach der die ursprüngliche Schaufel **12b** bearbeitet wurde. Die nominale Konfiguration **54** hat üblicherweise eine Mittellinie, die mit der radialen Achse **56** der Schaufel ausgerichtet ist, die sich von der axialen Mittelachse der Rotorscheibe radial nach außen erstreckt, die koaxial mit der Drehachse **24** des tragenden Drehtisches angebracht ist. Die in [Fig. 5](#) dargestellte nominale Konfiguration **54** stellt dar, wie die Maschine die darin angebrachte tatsächliche Schaufel **12b** sieht. Wie jedoch oben ausgeführt wurde, variiert die Schaufel aufgrund der ursprünglichen Bearbeitungsabweichungen der Schaufel in einer zufälligen Art und Weise von der nominalen Konfiguration.

[0049] [Fig. 5](#) stellt auch auf der linken Seite eine vergrößerte Schwenk-Versetzung der Schaufel relativ zu der nominalen Konfiguration dar, und diese ist durch einen Schwenkwinkel T dargestellt, der relativ zur radialen Achse **56** gemessen sein kann. Um die Schwenk-Versetzung T zwischen der tatsächlichen Schaufel und der nominalen Konfiguration zu ermitteln, wird die Schaufel vorzugsweise an zwei oder mehr Punkten geprüft.

[0050] Da die Schaufel auf ihren gegenüberliegenden Seiten **34**, **36** Bearbeitungsabweichungen ausgesetzt ist, wird die Schaufel vorzugsweise an zwei radial im Abstand angeordneten Punkten P1, 6 und P7, 12 auf jeder der zwei Seiten geprüft, um dort die Neigung des Werkstückes zu ermitteln.

[0051] Da die Schaufel **12b** in der Maschine für eine Rotation um die Drehachse **24** gehalten ist, sind die Prüfpunkte zur Ermittlung der Neigungsversetzung vorzugsweise im Abstand radial entlang der radialen Achse **56** angeordnet und radial außen von der Drehachse **24**. Die Prüfpunkte P1, 7 sind nahe der Schaufelspitze **40** auf der unbeschädigten Ursprungsfläche eng neben der Grenze von der Schweiß-Reparaturstelle **48** angeordnet, wie es zusätzlich in [Fig. 4](#) dargestellt ist. Die Prüfpunkte P6, 12 sind radial innen davon, nahe der innersten Grenze der Schweiß-Reparaturstelle **48** angeordnet.

[0052] Die äußeren zwei Prüfpunkte P1, 7 sind vorzugsweise einander gegenüberliegend entlang der Spanne der Schaufel angeordnet, und die inneren Prüfpunkte P6, 12 sind vorzugsweise ebenfalls einander gegenüberliegend nahe der Unterseite der Schaufel angeordnet. Die Sonde **50** wird dann zu jedem der vier Prüfpunkte P1, 6, 7, 12 bewegt, um deren tatsächlichen Koordinaten zu ermitteln, wobei das der Maschine innewohnende Koordinatenmess-

vermögen verwendet wird.

**[0053]** Die verschiedenen Prüfpunkte entsprechen vorzugsweise ähnlichen Punkten, die die nominale Konfiguration der Schaufel definieren. Demzufolge können die Mittelpunkte zwischen den äußeren Prüfpunkten P1, 7 und den inneren Prüfpunkten P6, 12 berechnet werden, um eine Linie dazwischen zu definieren. Die Orientierung dieser Mittellinie kann dann mit der entsprechenden Orientierung der ähnlichen Mittellinie verglichen werden, die aus den entsprechenden vier Punkten der nominalen Konfiguration berechnet ist. Auf diese Weise kann die relative Schwenk-Versetzung T dazwischen ermittelt werden und ist in [Fig. 5](#) dargestellt.

**[0054]** Diese relative Schwenk-Versetzung T zwischen der tatsächlichen Schaufel, die in der Maschine gehalten ist, und der nominalen Konfiguration, die darin gespeichert ist, kann korrigiert werden, wobei das in der Maschine gefundene B Versetzungsmerkmal verwendet wird. Nach dem Prüfen der Schaufel zum Ermitteln der Schwenk-Versetzung T kann der die Blisk tragende Drehtisch gedreht werden, um die geprüfte Schaufel um den gleichen Betrag der Versetzung T zu verschieben, um der nominalen Schwenk-Konfiguration zu entsprechen, die in dem Maschinenspeicher gespeichert ist, und die tatsächliche Schaufel mit der nominalen Konfiguration radial auszurichten. Dies ist in [Fig. 5](#) gezeigt, wo die tatsächliche Schaufel **12b** an der linken Seite nach rechts verschoben werden kann, um die B Dreh-Versetzung, die die Größe der geprüften Schwenk-Versetzung T hat. Diese Drehverschiebung oder Indexierung von der Schaufel positioniert effektiv die Schaufel parallel zu der in der Maschine gespeicherten nominalen Konfiguration und verkleinert oder eliminiert die geprüfte Schwenk-Versetzung.

**[0055]** Da die Schaufel **12b** auch einer lateralen Abweichung in der Konfiguration relativ zu der nominalen Konfiguration **54** ausgesetzt ist, wird die Schaufel vorzugsweise auch an einem der Prüfpunkte auf wenigstens einer der zwei Seiten **34**, **36** geprüft, um dort die laterale Versetzung L zu ermitteln. Wenn die Schweißreparatur allein auf einer der zwei Seiten gemacht wird, dann braucht die laterale Prüfung nur auf dieser Seite ausgeführt zu werden.

**[0056]** Da jedoch die als Beispiel gezeigte Schweißreparatur, wie sie in [Fig. 4](#) dargestellt ist, auf beiden Seiten der Schaufel ausgeführt wird, wird die Schaufel vorzugsweise an zwei gegenüber liegenden Prüfpunkten auf gegenüber liegenden Seiten der Schaufel geprüft, um dort eine mittlere laterale Versetzung der Schaufel zu ermitteln. Da jede Seite der Schaufel einer Bearbeitungsabweichung innerhalb der spezifizierten Konfigurations-Toleranzen ausgesetzt ist, wird eine laterale Prüfung auf beiden Seiten bevorzugt. Indem die laterale Versetzung auf beiden Seiten

der Schaufel mit entsprechenden Punkten der nominalen Konfiguration gemittelt wird, kann die Schaufel für eine beste Passung in der Maschine zentriert werden, um der gespeicherten nominalen Konfiguration zu entsprechen.

**[0057]** Die laterale Versetzung L, wie sie in [Fig. 5](#) dargestellt ist, kann in die Maschine implementiert werden, indem das übliche Querachsen-X-Versetzungsmerkmal verwendet wird, das darin bereitgestellt wird und eine Größe hat, die gleich der geprüften lateralen Versetzung L ist. Die laterale Verschiebung oder Indexierung der Schaufel reduziert oder eliminiert die geprüfte laterale Versetzung. Die Bearbeitung der Schweißreparatur kann dann genauer gemäß der ursprünglichen, gespeicherten Nominalkonfiguration innerhalb ihrer spezifizierten Toleranzen ausgeführt werden.

**[0058]** In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die Schaufel an mehreren Prüfpunkten auf jeder der zwei gegenüber liegenden Seiten geprüft, wobei die dortigen Punkte auf entsprechende Weise einander gegenüberliegend sind, um dort eine mittlere laterale Versetzung des Werkstückes zu ermitteln. [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) stellen 12 Prüfpunkte P1–12 als Beispiel dar, die in gegenüber liegenden Gruppen von sechs Punkten entlang der Grenze der Schweißreparatur **48** angeordnet sind.

**[0059]** Da jeder der Prüfpunkte einen entsprechenden Punkt in der nominalen Konfiguration der Schaufel hat, kann das Koordinaten-Messvermögen der Maschine verwendet werden, um die laterale Versetzung entlang beispielsweise der in [Fig. 5](#) dargestellten Translationsachse X zwischen jedem Prüfpunkt und seinem nominalen Gegenstück zu ermitteln. Indem die lateralen Versetzungen der zwölf Prüfpunkte gemittelt werden, kann eine durchschnittliche laterale Versetzung L dafür ermittelt werden. Die X-Quer Versetzung der in [Fig. 1](#) dargestellten Maschine kann dann verwendet werden, um die geprüfte laterale Versetzung L entlang der X-Achse zu bewirken, um die Werkstück-Schaukel um die laterale Versetzung L zu verschieben, damit sie der nominalen Konfiguration entlang dieser Achse entspricht.

**[0060]** Dementsprechend kann die in [Fig. 5](#) dargestellte Schaufel **12b** in der B-Versetzungsrotation entsprechend der geprüften Schwenk-Versetzung T und in der X-Versetzungs-Translation entsprechend der lateralen Versetzung L verschoben werden, die dann in einer besten Anpassung die tatsächliche geprüfte Konfiguration der Schaufel mit der in der Maschine gespeicherten nominalen Konfiguration ausrichtet. Die Maschine kann dann betätigt werden, um die Schweißreparatur auf die nominale Konfiguration dafür zu bearbeiten, um die bearbeitete Anpassung **48b** zu erhalten, die in [Fig. 3](#) gezeigt ist. Der Übergang der bearbeiteten Anpassung **48b** auf das ur-

sprüngliche benachbarte Schaufelmaterial wird innerhalb der ursprünglichen Toleranzen für die nominale Konfiguration herbeigeführt und minimiert oder eliminiert dort jede diskontinuierliche Stufe. Auf diese Weise kann eine anschließende manuelle Anpassung der Schweißreparatur minimiert oder eliminiert werden.

**[0061]** Für das Beispiel der radial verlaufenden Schweißreparatur **48**, wie sie in [Fig. 4](#) dargestellt ist, haben Tests gezeigt, daß zwölf Prüfpunkte, die in Gruppen von sechs Stück auf gegenüber liegenden Seiten der Schaufel gleichmäßig verteilt sind, für eine optimale beste Anpassung der tatsächlichen Schaufel an die nominale Konfiguration sorgen, um eine entstehende stufenförmige Diskontinuität an der Verbindungsstelle von der Schweißreparatur und dem Ausgangsmaterial zu minimieren. Wesentlich mehr als zwölf Prüfpunkte wurden ebenfalls untersucht und erzeugten keine bessere Anpassung und sind somit unerwünscht in Anbetracht der zusätzlichen Inspektionszeit, die dafür erforderlich ist. Es wurden auch weniger als zwölf Prüfpunkte getestet und hatten eine weniger genaue Anpassung der Schaufel an die nominale Konfiguration zur Folge.

**[0062]** Die Anzahl der Prüfpunkte, die zur Ermittlung der Schwenk-Versetzung T verwendet werden, ist vorzugsweise kleiner als die lateralen Prüfpunkte, und sie beträgt vorzugsweise vier Prüfpunkte, wie es oben angegeben ist, zur Ermittlung der Schwenk-Versetzung, wobei beide Seiten der Schaufel verwendet werden. Es könnten jedoch nur zwei Schwenk-Prüfpunkte für eine einseitige Reparatur verwendet werden, wenn dies gewünscht wird.

**[0063]** In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel, das in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellt ist, wird die Schwenk-Versetzung T zunächst in der Maschine ermittelt, und dann wird die Schaufel um die so ermittelte Schwenk-Versetzung verschoben, wobei das B-Dreh-Versetzungsmerkmal verwendet wird. Die in Drehrichtung verschobene Schaufel wird dann lateral geprüft zum Ermitteln der lateralen Versetzung L, und dann wird sie um die so ermittelte laterale Versetzung L weiter verschoben, wobei die X-Translationsversetzung verwendet wird. Die Bearbeitung der so versetzten Schaufel **12b** kann dann in üblicher Weise in dem Bereich ausgeführt werden, der auf die Schweißreparatur beschränkt ist, um diesen Bereich auf die nominale Konfiguration innerhalb der dafür spezifizierten Toleranzen zurückzubringen.

**[0064]** Die Schwenk- und Lateralprüfung des Werkstückes, gefolgt von einer entsprechenden Verschiebung dafür, ist üblicherweise in einer einzelnen Sequenz ausreichend für eine beste Anpassung der Schaufel an die nominale Konfiguration und zum Erzielen einer genauen Maschinenanpassung an die Schweißreparatur innerhalb der spezifizierten Tole-

ranzen. Allerdings kann vor der tatsächlichen Bearbeitung die Schwenk- und Lateralprüfung noch einmal in einer zweiten Betriebssequenz durchgeführt werden, um entweder die erforderlichen Dreh- und Lateralversetzungen zu verfeinern oder die zunächst ermittelten Werte zu bestätigen. Tests haben gezeigt, daß eine einzelne Sequenz ausreichend ist. Jedoch kann in anderen Werkstück-Konfigurationen eine iterative Prüfung wünschenswert sein, um die Genauigkeit der nachfolgenden Bearbeitung auf die ursprüngliche nominale Konfiguration zu verbessern.

**[0065]** In dem in [Fig. 2](#) dargestellten Ausführungsbeispiel ist das Werkstück, das eine Bearbeitung durchläuft, eine von mehreren im allgemeinen identischen Schaufeln, die von der tragenden Scheibe **12a** der Blisk sich radial nach außen erstrecken. In der Praxis ist nicht jede der Schaufeln identisch in ihrer Konfiguration, sondern ist der zufälligen Abweichung und Konfiguration aufgrund des ursprünglichen Fertigungsprozesses dafür ausgesetzt.

**[0066]** Da die Scheibe in der Maschine für eine Rotation um die Drehachse **24** gehalten ist, kann der gleiche Prüfprozeß für jede Schaufel wiederholt werden, die eine Reparatur benötigt. Da jede Schaufel in der Konfiguration von der nominalen Konfiguration in zufälliger Weise unterschiedlich ist, wird jede Schaufel, die eine Reparatur benötigt, vorzugsweise an den gewünschten Prüfpunkten geprüft, die radial im Abstand zueinander von der Drehachse **24** angeordnet sind. Eine Prüfung der einen Schaufel wird mit größter Wahrscheinlichkeit andere Schwenk- und Lateral-Versetzungen gegenüber denjenigen zur Folge haben, die für eine der anderen Schaufeln verantwortlich sind, die eine Reparatur benötigen.

**[0067]** Jedoch kann der Prüfvorgang selbst in die Steuerung **28** einprogrammiert sein, um den Vorgang zu automatisieren und automatisch die erforderlichen B und X Versetzungen zu ermitteln, die beim Bearbeiten einer gegebenen Schaufel verwendet werden. Die nominale Konfiguration des Werkstückes bleibt in der Maschine unverändert, und stattdessen werden die entsprechenden Versetzungen herbeigeführt, indem zunächst eine einzelne Schaufel in der Maschine in Beziehung gesetzt wird.

**[0068]** Da das in [Fig. 1](#) dargestellte Schneidwerkzeug **16** in der Spindel **14** angebracht wird für eine Translation in zwei Achsen X, Y und auch angebracht wird für eine Schwenkung in einer Drehachse A, kann die in [Fig. 5](#) dargestellte laterale Versetzung L entlang jeder der zwei Translationsachsen X, Y ermittelt werden.

**[0069]** Wie in [Fig. 3](#) dargestellt ist, enthält jede Schaufel Verdrehungen entlang ihrer radialen Spannenachse und ist somit schräg gegenüber beiden Translationsachsen X, Y und deshalb treten Ferti-



gungsabweichungen in der Konfiguration der Schaufel üblicherweise entlang beiden Achsen X, Y auf. Die laterale Versetzung L kann deshalb entlang jeder der beiden Achsen X, Y ermittelt werden, aber in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird sie entlang der horizontalen Translationsachse X ermittelt, die sich im allgemeinen tangential zum Umfang der Scheibe erstreckt, von der sich die Schaufeln radial nach außen erstrecken.

**[0070]** Da beide Seiten von jeder Schaufel einer ursprünglichen Bearbeitungsabweichung entlang den X und Y Achsen ausgesetzt sind, wird jede Schaufel vorzugsweise auf ihren beiden Seiten geprüft zum getrennten Ermitteln der erforderlichen Schwenk-Versetzung T von der nominalen Konfiguration entsprechend der Drehachse **24** entlang der Mittellinie der Scheibe und der lateralen Versetzung L von der nominalen Konfiguration entsprechend der linearen Translationsachse X, die senkrecht zur radialen Achse **56** ist.

**[0071]** Das oben beschriebene Reparaturverfahren ist besonders brauchbar zum Reparieren teurer einheitlicher, beschauelter Scheiben bzw. Blisks, die eine Beschädigung an den Vorder- oder Hinterkanten von einer oder mehreren ihrer Schaufeln haben. Der lokal beschädigte Bereich der Schaufel wird weggeschnitten und eine Schweißreparatur wird verwendet, um den ausgeschnittenen Bereich größer als die dortige nominale Konfiguration wieder aufzubauen. Die Schweißreparatur muß dann erneut bearbeitet werden, um sie zurück auf ihre nominale Konfiguration innerhalb spezifizierter Toleranzen zu bringen, wobei nur eine kleine oder gar keine stufenförmige Diskontinuität an der Grenzfläche zwischen der Schweißreparatur und dem originalen Schaufelmaterial zurückbleiben soll.

**[0072]** Durch Prüfen der reparierten Schaufel eng neben der Schweißreparatur kann die Versetzung zwischen der tatsächlichen Konfiguration und der nominalen Konfiguration, die in der Maschine gespeichert ist, präzise ermittelt werden. Die geprüften Versetzungen können dann für die beste Anpassung der Schaufel an die nominale Konfiguration verwendet werden, wobei die verfügbaren Versetzungs-Koordinaten der Maschine benutzt werden, was die nominale Konfiguration und entsprechend die numerisch gesteuerte Bahn des Schneidwerkzeuges der speziellen Schaufel entsprechend verschiebt, die für die Reparaturbearbeitung präsentiert ist. Die daraus resultierende Bearbeitung der Schweißreparatur kann innerhalb der spezifizierten Toleranzen von der nominalen Konfiguration herbeigeführt werden.

**[0073]** Testteile sind nachbearbeitet worden auf weniger als etwa zwei hundertstel Millimeter (Mils) innerhalb der nominalen Konfiguration für die Schaufel an allen Stellen entlang der Ausdehnung der

Schweißreparatur. Die maschinelle Anpassung von zwei hundertstel Millimeter (Mils) Zoll liegt gut innerhalb des Vermögens von manuellem Handpolieren, um die Anpassung der Schweißreparatur zu vollenden, wenn dies gewünscht wird.

**[0074]** Obwohl das oben beschriebene Verfahren besondere Anwendbarkeit zur Bearbeitung von reparierten stromlinienförmigen Abschnitten von beschauelten Scheiben hat, kann es für jeden Typ eines vorbereiteten Teils verwendet werden, das eine anschließende Bearbeitung auf die nominale Konfiguration dafür erfordert. Jedes Werkstück, das aus seiner Halterung in einer numerisch gesteuerten Maschine herausgenommen wird, verliert notwendigerweise seine ursprüngliche Bezugnahme auf die nominale Konfiguration, die in der Maschine gespeichert ist. Der ursprüngliche Bezug für ein Werkstück ist nützlich während der ersten Bearbeitung des Werkstückes, er ist aber überflüssig gemacht, wenn die Bearbeitung abgeschlossen ist und die zufälligen Abweichungen der Konfiguration von der nominalen Konfiguration gemacht sind. Weiterhin sind alle anfänglichen Versetzungen, die für eine anfängliche Bezugnahme auf ein Werkstück verwendet werden, nach Abschluß der ersten Bearbeitung der Komponente überflüssig gemacht.

**[0075]** Die Ausführungsbeispiele der oben beschriebenen Prüfung gestatten, daß die verfügbaren Versetzungs-Fähigkeiten von einer Maschine benutzt werden können, um ein Werkstück in einer am besten passenden Näherung zu der ursprünglichen nominalen Konfiguration dafür neu zu positionieren. Auf diese Weise kann eine Nachbearbeitung des gleichen Werkstückes herbeigeführt werden, wobei die ursprüngliche nominale Konfiguration des Werkstückes verwendet und die tatsächliche Konfiguration im 3D Raum von dem neu gehaltenen Werkstück eingestellt wird, um dieser am besten zu entsprechen. Eine Nachbearbeitung des ursprünglichen Werkstückes, beispielsweise am Ort einer Schweißreparatur, kann dann in einer anderen üblichen Weise mit dem Vorteil der präzisen Entsprechung zwischen den tatsächlichen und nominalen Konfigurationen der Komponente ausgeführt werden, so daß sie innerhalb der ursprünglichen Fertigungstoleranzen nachbearbeitet werden kann.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Nacharbeiten eines vorbereiteten Werkstückes (**12b**), wie beispielsweise einer einheitlichen mit Schaufeln versehenen Scheibeneinrichtung, in einer vielachsigen numerisch gesteuerten Maschine (**10**), enthaltend:

Speichern in der Maschine (**10**) einer nominalen Konfiguration von dem Werkstück, die durch Koordinaten der vielen Achsen definiert ist,  
Prüfen des Werkstückes in der Maschine, um eine

Versetzung (T, L) des Werkstückes von der nominalen Konfiguration zu ermitteln,  
 Verschieben des Werkstückes um die Versetzung, um der nominalen Konfiguration zu entsprechen, und Bearbeiten des verschobenen Werkstückes gemäss der nominalen Konfiguration, während die Versetzung beibehalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Prüfschritt enthält, daß das Werkstück (**12b**) in der Maschine (**10**) geprüft wird, um eine Schwenk- bzw. Neigungsversetzung des Werkstückes aus der nominalen Konfiguration entsprechend einer Drehachse (**24**) der Maschine zu ermitteln.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Werkstück (**12b**) gegenüber liegende Seiten (**34, 36**) aufweist und an zwei im Abstand angeordneten Punkten P1, 6, 7, 12 auf jeder der Seiten geprüft wird, um die Neigungsversetzung zu ermitteln.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Prüfschritt enthält, daß das Werkstück (**12b**) in der Maschine (**10**) geprüft wird, um eine laterale Versetzung des Werkstückes aus der nominalen Konfiguration entsprechend einer linearen Achse der Maschine zu ermitteln.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Werkstück (**12b**) gegenüber liegende Seiten (**34, 36**) aufweist und an einem Punkt P1-12 auf wenigstens einer der Seiten geprüft wird, um die laterale Versetzung zu ermitteln.

6. Verfahren nach Anspruch 1, ferner enthaltend: Prüfen des Werkstückes (**12b**) in der Maschine (**10**), um die Neigungsversetzung des Werkstückes aus der nominalen Versetzung entsprechend einer Drehachse (**24**) der Maschine zu ermitteln, und Prüfen des Werkstückes (**12b**) in der Maschine (**10**), um die laterale Versetzung des Werkstückes aus der nominalen Versetzung entsprechend einer linearen Achse der Maschine zu ermitteln.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Werkstück gegenüber liegende Seiten (**34, 36**) aufweist und an einer Anzahl von Punkten P1-12 auf jeder der gegenüber liegenden Seiten geprüft wird, um die laterale Versetzung zu ermitteln, und es ferner an weniger als den lateralen Prüfpunkten geprüft wird, um die Neigungsversetzung zu ermitteln.

8. Verfahren zum Reparieren eines Werkstückes (**12b**), wie beispielsweise einer einheitlichen mit Schaufeln versehenen Scheibeneinrichtung, in einer vielachsigen numerisch gesteuerten Maschine (**10**), enthaltend:  
 Speichern in der Maschine (**10**) einer nominalen Konfiguration von dem Werkstück, die durch Koordinaten der vielen Achsen definiert ist,

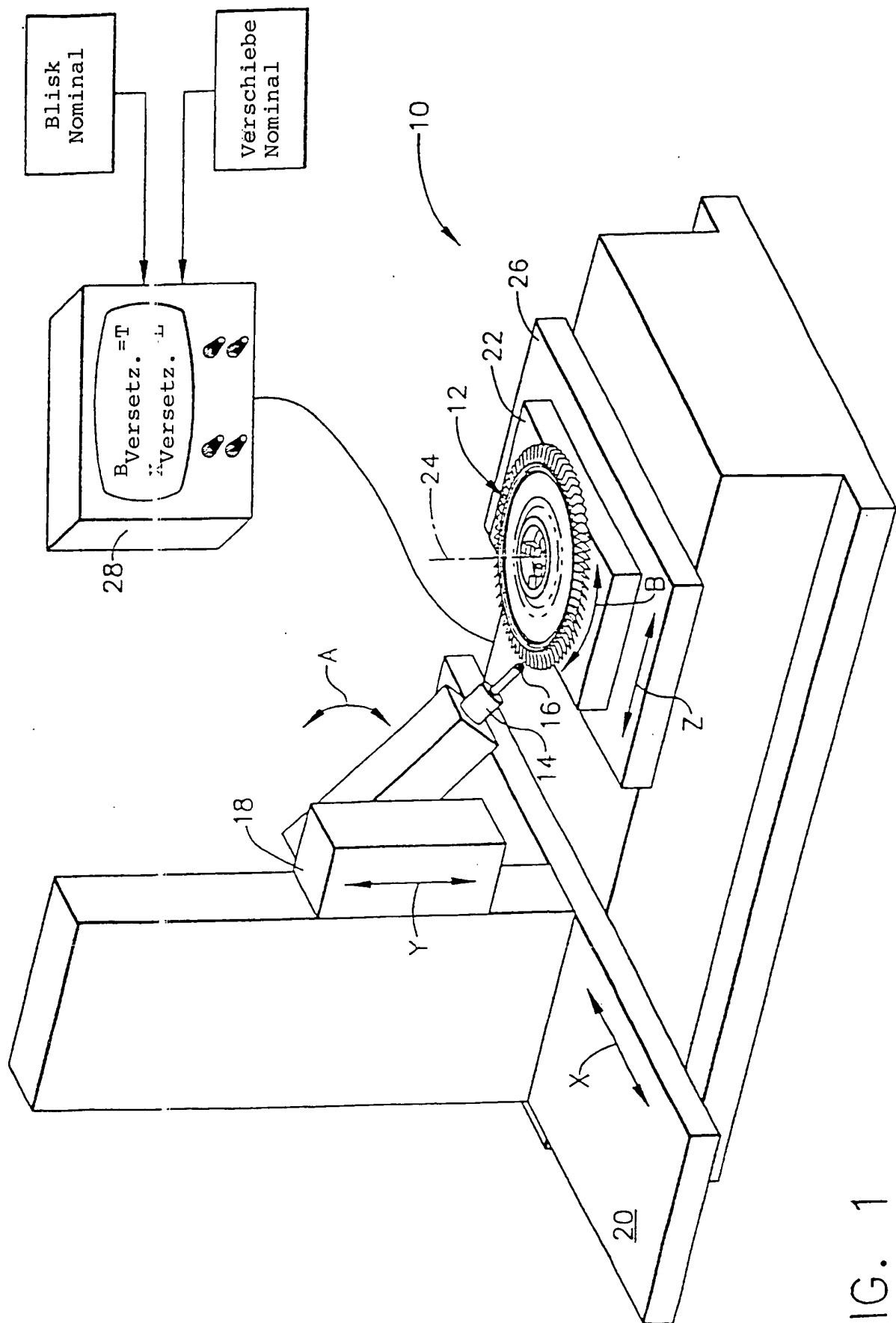
Vorbearbeiten des Werkstückes gemäss der nominalen Konfiguration,  
 Reparieren des Werkstückes mit einer Reparaturstelle (**48**), die grösser als die nominale Konfiguration ist,  
 Prüfen des Werkstückes in der Maschine, um eine Versetzung des Werkstückes aus der nominalen Konfiguration zu ermitteln,  
 Verschieben des Werkstückes um die Versetzung, um der nominalen Konfiguration zu entsprechen, und Bearbeiten des verschobenen Werkstückes an der Reparaturstelle gemäss der nominalen Konfiguration, während die Versetzung beibehalten wird.

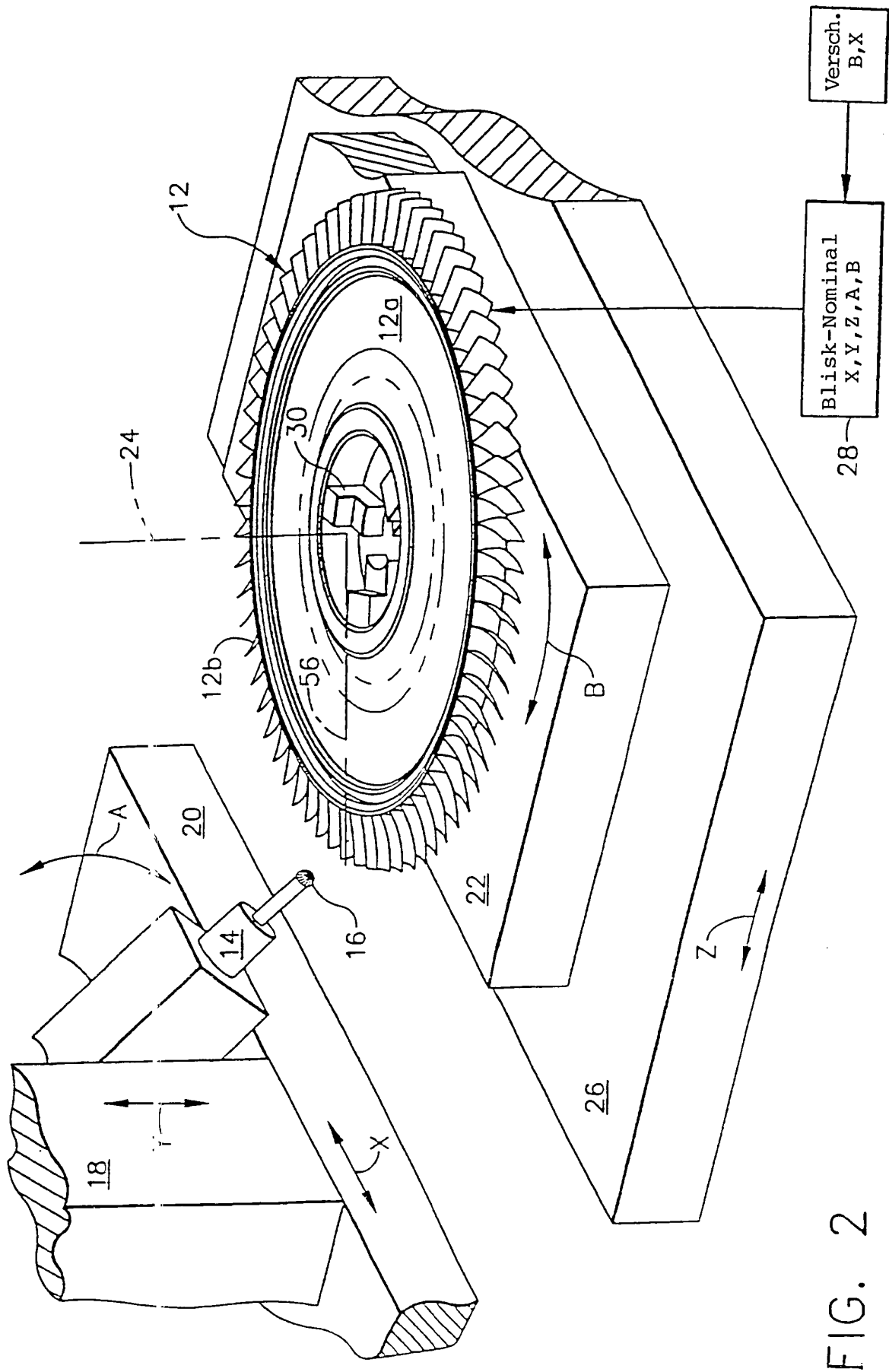
9. Verfahren nach Anspruch 8, ferner enthaltend: Befestigen des Werkstückes (**12b**) in der Maschine für eine Rotation um eine Drehachse (**24**) und Prüfen des Werkstückes an einer Anzahl von Punkten P1-12, die radial im Abstand von der Drehachse angeordnet sind.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das Werkstück gegenüber liegende Seiten (**34, 36**) mit den Prüfpunkten aufweist und auf seinen beiden Seiten geprüft wird, um getrennt eine Neigungsversetzung aus der nominalen Konfiguration entsprechend der Drehachse und eine laterale Versetzung aus der nominalen Konfiguration entsprechend einer linearen Achse senkrecht zu einer radialen Achse von der Drehachse zu ermitteln.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





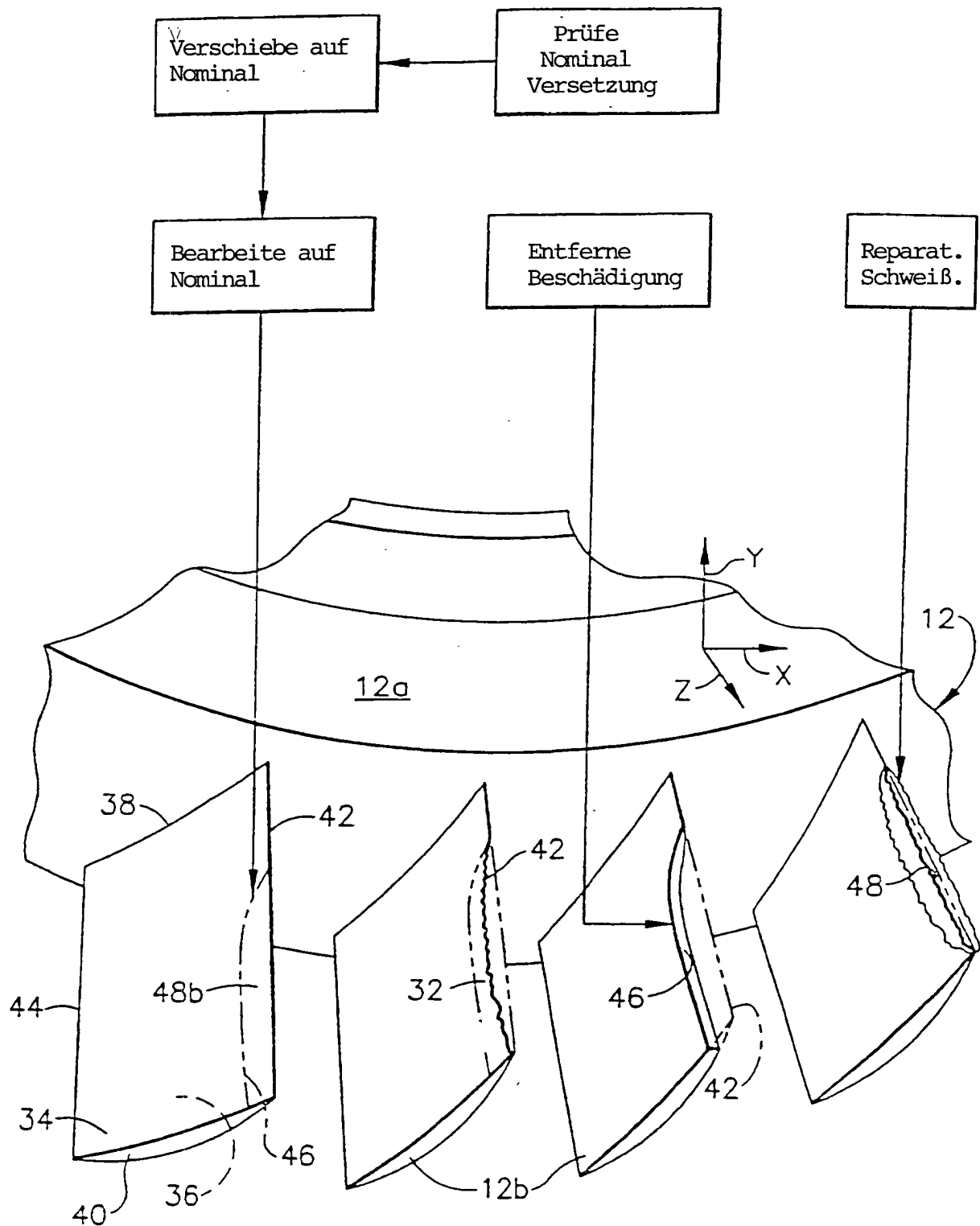


FIG. 3



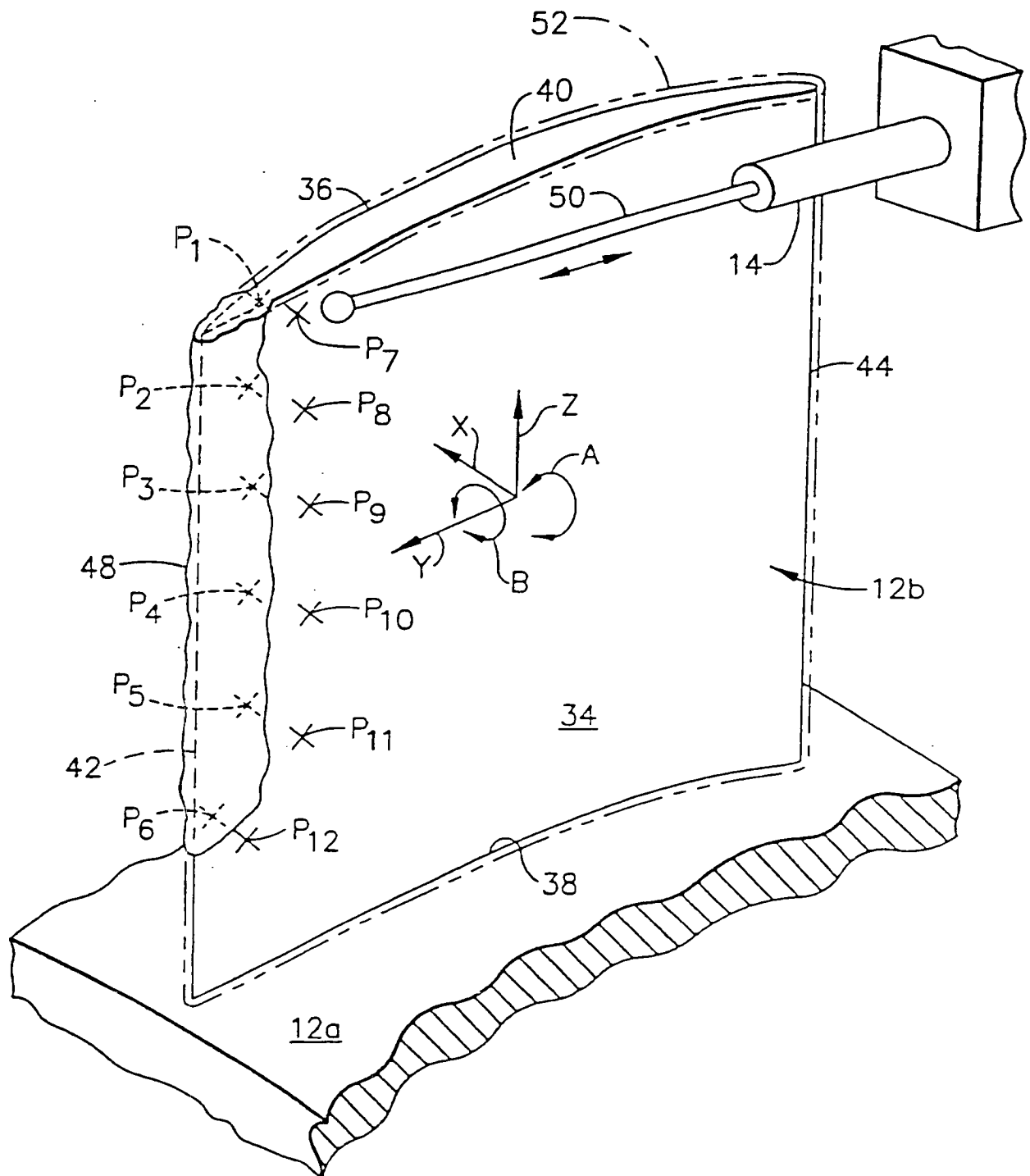


FIG. 4

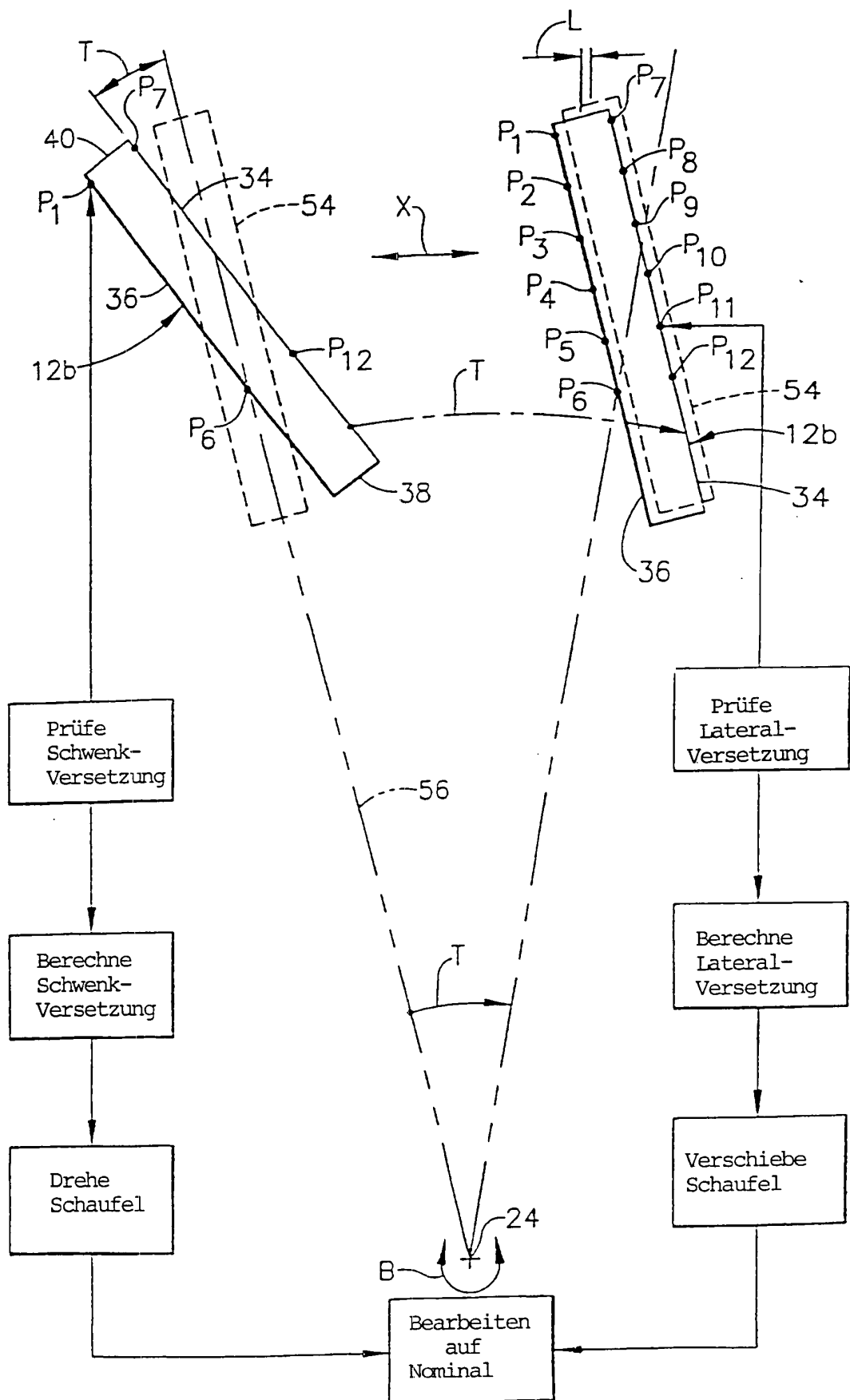


FIG. 5