



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 055 842 A1** 2008.11.13

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 055 842.4**

(22) Anmeldetag: **17.12.2007**

(43) Offenlegungstag: **13.11.2008**

(51) Int Cl.⁸: **B23C 3/28** (2006.01)
B23C 5/12 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2007-126054 10.05.2007 JP

(74) Vertreter:
TBK-Patent, 80336 München

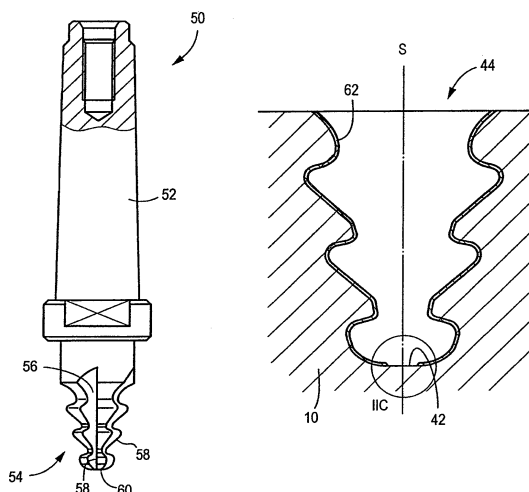
(71) Anmelder:
OSG Corp., Toyokawa, Aichi, JP

(72) Erfinder:
Tsuzuki, Kiyoshi, Toyokawa, Aichi, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Nutbearbeitungsprozess und ausgebildetes Drehschneidwerkzeug**

(57) Zusammenfassung: Auf einer Bodenfläche 43 des groben Schnitts ist eine Nut 44, die durch eine geformte schrumpfende Drehschneideinrichtung 30 geschnitten ist, mit einer Vertiefung 42 versehen, die durch eine Schneidkante 40 von dieser geschnitten ist. Wenn ein geformtes schlichtendes Drehschneidwerkzeug 50 einen Schlichtschritt ausführt, schlichtet eine Schneidkante 60 von diesem nicht den Bodenabschnitt. Daher wird ein Schneidmoment reduziert, das zum Schlichten der grob geschnittenen Nut durch das geformte schlichtende Drehschneidwerkzeug erforderlich ist, so dass die Nut durch die erhöhte Schneidgeschwindigkeit und die Vorschubrate mit einer hohen Effizienz bearbeitet wird, wobei die Nutneigung innerhalb eines zulässigen Bereichs beibehalten wird.



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

Bereich der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Nutbearbeitungsprozess und ein geformtes Drehschneidwerkzeug, und insbesondere auf Techniken zum Reduzieren eines Schneidmoments, das beim Schlichten einer grob bearbeiteten Nut erfordert ist, um dadurch die Nutbearbeitung bei einer hohen Effizienz auszuführen.

Erörterung des Stands der Technik

[0002] [Fig. 7](#) zeigt eine Anordnung zum Befestigen eines Turbinenrads, wie z. B. einer Gasturbine, an eine Drehwelle **10**. In dieser Anordnung ist eine Vielzahl von Schaufeln **14** in eine entsprechende Vielzahl von baumförmigen Nuten **12** eingepasst, die in einem Umfang der Drehwelle **10** ausgebildet sind. [Fig. 8](#) ist eine vergrößerte Ansicht im Querschnitt, die eine der baumförmigen Nuten **12** zeigt. Wie in [Fig. 8](#) offensichtlich ist, hat die Nut **12** in ihrem Querschnitt eine umgedrehte Christbaumform, die seitensymmetrisch (Links-Rechts-Richtung) mit Hinblick auf ihre Nutmittellinie **S**. Die Breite der Nut **12** verringert sich mit einer gleichmäßigen Zunahme/Abnahme in einer Nuttieferichtung von einer äußeren Umfangsfläche in Richtung einer Achse der Drehwelle **10**, das heißt, in der nach unten gehenden Richtung in [Fig. 8](#). Auf den gegenüberliegenden Seitenflächen **16a**, **16b** der Nut **12** sind eine Vielzahl von vertieften Abschnitten **18** und eine Vielzahl von vorragenden Abschnitten **20** wechselweise und stetig ausgebildet.

[0003] Zum Bearbeiten, das heißt, zum Schneiden der baumförmigen Nut **12** auf der Drehwelle **10**, wird zuerst ein Schruppschritt ausgeführt, um eine grob bearbeitete Nut oder grob geschnittene Nut **22** zu schneiden, die sich der baumförmigen Nut **12** annähert, unter Verwendung eines geformten Drehschneidwerkzeugs für ein grobes Schneiden, das heißt schrappen. Die geformte Drehschneideinrichtung (z. B. Fräser) zum Schrappen, das heißt, die geformte schrappende Drehschneideinrichtung, wird in der Richtung senkrecht zu deren Achse drehend um deren Achse bewegt.

[0004] Dann wird eine Endbearbeitungsschritt bzw. Schlichtschritt ausgeführt, um eine Oberflächenschicht als eine Schlichtmaterialschicht bzw. ein Schlichtmaterial **24** zu entfernen, zum Schlichten der schrappend geschnittenen Nut **22**, um die vorgegebene baumförmige Nut **12** zu erhalten, unter Verwendung eines geformten Drehschneidwerkzeugs zum schlichtenden Schneiden, d. h. schlichten. Die geformte Drehschneideinrichtung (z. B. Fräser) zum Schrappen, d. h. die schrappende Drehschneidein-

richtung, wird in der Richtung senkrecht zu ihrer Achse (die gleiche Richtung wie die geformte schrappende Drehschneideinrichtung) um ihre Achse in der Nut gedreht bewegt. JP-2000-326133 A (japanische Patentoffenlegungsschrift) offenbart solch einen Bearbeitungsprozess der baumförmigen Nut. In dem offenbarten Nutbearbeitungsprozess wird die schrappend geschnittene Nut **22** unter Verwendung der geformten schrappenden Drehschneideinrichtung geschnitten.

[0005] Jedoch wird in dem vorangehend erwähnten konventionellen Schlichtschritt ein gesamter Bereich der schrappend geschnittenen Nut einschließlich gegenüberliegenden Seitenflächen und einer Bodenfläche um eine vorbestimmte Stärke als die Schlichtmaterialschicht geschnitten. Ein großes Schneidmoment (Schneidwiderstand) wird auf das Schneidwerkzeug aufgebracht, was dazu neigt, eine Neigung, das heißt, eine Schräge der Nut, zu erzeugen. Dies macht es schwierig, die Nutbearbeitung mit einer hohen Effizienz durch eine erhöhte Schneidgeschwindigkeit und Vorschubrate auszuführen.

[0006] Die „Neigung einer Nut“ oder Nutneigung ist ein Phänomen, dass eine Bodenseite der Nut sich in eine vorbestimmte Richtung neigt, wenn die schrappend geschnittene Nut dem Schlichtschritt unterzogen wird. Das heißt, eine und die andere der gegenüberliegenden Seiten werden bei dem Schlichten einem Überschneiden und einem Unterschneiden unterzogen, so dass verschiedene Stärken der Schneidwiderstände erzeugt werden. Aus diesem Grund, wie durch Strichlinien in [Fig. 5](#) gezeigt ist, neigt sich die Bodenseite der Nut in Richtung der überschneidenden Seite (linke Seite). Hier zeigt [Fig. 5](#) einen Zustand, wenn die Nut durch ein Drehen des Schneidwerkzeugs im Uhrzeigersinn ausgebildet wird, die von der Schaftseite (die obere Seite in [Fig. 5](#)) gesehen wird, in dem die baumförmige Nut in einer vereinfachten Art und Weise dargestellt ist.

[0007] Dem vorangehend erwähnten Problem wird begegnet, zusätzlich zu dem Bearbeiten der baumförmigen Nut, mit dem Bearbeiten der Nut unter Verwendung verschiedener geformter Drehschneidwerkzeuge mit einer Umfangsschneidkante, deren Nasendurchmesser sich in Richtung eines distalen Werkzeugendes ändert.

Zusammenfassung der Erfindung

[0008] Die vorliegende Erfindung wurde in Anbetracht der vorangehend erwähnten diskutierten Situation gemacht, und hat ein Ziel, ein Schneidmoment (Schneidwiderstand) zu reduzieren, das in dem Schlichtschritt zum Schlichten der grob geschnittenen Nut erforderlich ist, um dadurch die Schneidgeschwindigkeit und die Vorschubrate zum Ausführen der Nutbearbeitung mit hoher Effizienz zu erhöhen,

bei einem Beibehalten der Nutneigung innerhalb eines zulässigen Bereichs.

[0009] Der erste Aspekt dieser vorliegenden Erfindung sieht einen Nutbearbeitungsprozess zum Schneiden einer Nut von vorbestimmter Form in ein Werkstück durch Verwenden eines geformten schrumpfenden Drehschneidwerkzeugs und eines geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs vor, wobei der Nutbearbeitungsprozess (i) einen Schruppschritt zum Schneiden einer grob bearbeiteten Nut in das Werkstück durch Bewegen des geformten schrumpfenden Drehschneidwerkzeugs in einer Richtung senkrecht zu dessen Achse relativ zu dem Werkstück bei einem Drehen des geformten schrumpfenden Drehschneidwerkzeugs um dessen Achse, und (ii) einen Schlichtschritt zum Schlichten der grob bearbeiteten Nut in dem Werkstück aufweist, durch Bewegen des geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs in eine Richtung senkrecht zu dessen Achse relativ zu dem Werkstück, bei einem Drehen des geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs um dessen Achse, dadurch gekennzeichnet, dass das geformte schlichtende Drehschneidwerkzeug eine Bodenfläche der grob bearbeiteten Nut in dem Schlichtschritt nicht schlichtet.

[0010] Insbesondere ist eine Beziehung zwischen dem Schrubbereich in dem Schruppschritt und dem Schlichtbereich in dem Schlichtschritt, das heißt, eine Beziehung zwischen der Schneidklinge des geformten schrumpfenden Drehschneidwerkzeugs und der Schneidklinge des geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs gewählt, um die vorangehend erwähnte Bedingung zu erfüllen.

[0011] Gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung hat das geformte schrumpfende Drehschneidwerkzeug in dem ersten Aspekt eine Schrubbearbeitungsendkante, die axial weiter als eine Schlichtbearbeitungsendkante des geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs vorragt, so dass eine Vertiefung an dem Bodenabschnitt, d. h. eine Bodenfläche der grob bearbeiteten Nut, in dem Schruppschritt ausgebildet wird, um eine Berührung des Bodenabschnitts mit der Schlichtbearbeitungsendkante in dem Schlichtschritt zu vermeiden.

[0012] Der dritte Aspekt dieser vorliegenden Erfindung sieht einen Satz von geformten Drehschneidwerkzeugen zum Schneiden einer Nut einer vorbestimmten Form in ein Werkstück vor, wobei der Satz von geformten Drehschneidwerkzeugen (i) ein geformtes schrumpfendes Drehschneidwerkzeug zum Schneiden einer grob bearbeiteten Nut in das Werkstück durch ein Bewegen in einer Richtung senkrecht zu dessen Achse relativ zu dem Werkstück drehend um dessen Achse, und (ii) ein geformtes schlichtendes Drehschneidwerkzeug zum Schlichten der grob bearbeiteten Nut in dem Werkstück hat, durch ein Be-

wegen in einer Richtung senkrecht zu dessen Achse relativ zu dem Werkstück drehend um dessen Achse, dadurch gekennzeichnet, dass das geformte schrumpfende Drehschneidwerkzeug eine Schrubbearbeitungsendkante hat, das heißt, eine Schneidkante, die axial weiter als eine Schlichtbearbeitungsendkante, das heißt eine Schneidkante des geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs, vorragt.

[0013] Der Vorsprungsbetrag der Schrubbearbeitungsendkante und jener der Schlichtbearbeitungsendkante werden basierend auf der gemeinsamen Position verglichen, zum Beispiel der Zielposition der geschichteten Fläche des Werkstücks, oder dem Teil auf der Umfangsschneidkante, der der Endschneidkante am nächsten ist.

[0014] Der vierte Aspekt dieser vorliegenden Erfindung sieht ein geformtes schrumpfendes Drehschneidwerkzeug vor, das eine Schrubbearbeitungsumfangskante, d. h. Schneidkante, und eine Schrubbearbeitungsendkante, d. h. Schneidkante, hat und drehend um dessen Achse in einer Richtung senkrecht zu dessen Achse relativ zu dem Werkstück bewegt wird, um einer grob bearbeiteten Nut von vorbestimmter Form zu bearbeiten, das heißt zu schneiden, dadurch gekennzeichnet, dass die Schrubbearbeitungsendkante axial weiter vorragt als eine Schlichtbearbeitungsendkante eines geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs, das zum Schlichten der grob bearbeiteten Nut verwendet wird.

[0015] Gemäß dem fünften Aspekt der vorliegenden Erfindung in dem vierten Aspekt hat die Schrubbearbeitungsendkante einen Vorsprungsabschnitt, der axial vorragt und sich innerhalb einer Begrenzung zwischen einer Schlichtbearbeitungsendkante und einer Schlichtbearbeitungsumfangskante des geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs befindet. Hier befindet sich der Vorsprungsabschnitt radial innerhalb der Begrenzung. Die Position der Schrubbearbeitungsendkante und die der Begrenzung zwischen der Schlichtbearbeitungsumfangskante und der Schneidkante werden unter der Annahme verglichen, dass sie sich in dem Raum überlappen, oder basierend auf der gemeinsamen Position auf dem Werkstück.

[0016] Gemäß dem sechsten Aspekt der vorliegenden Erfindung in dem vierten oder fünften Aspekt ist eine Vorsprungsabmessung der Schrubbearbeitungsendkante von der Schlichtbearbeitungsendkante basierend auf einer Zielposition der Schlichtbearbeitungsendkante größer gewählt als eine zulässige Abmessungstoleranz der Schlichtbearbeitungsendkante und ist kleiner als eine Summe der zulässigen Abmessungstoleranz und 0.1 mm.

[0017] Gemäß dem siebten Aspekt der vorliegenden Erfindung in irgendeinem von dem vierten bis

sechsten Aspekt hat die Schruppbearbeitungsaußenumfangskante konvexe Abschnitte und konkave Abschnitte, deren Nasendurchmesser in Richtung einem distalen Werkzeugende zunimmt und abnimmt.

[0018] Gemäß dem achten Aspekt der vorliegenden Erfindung in dem siebten Aspekt ist die Schruppbearbeitungsaußenumfangskante gestaltet, um in einem Durchmesser in Richtung des distalen Werkzeugendes zum Schneiden einer baumförmigen Nut, die eine umgekehrte Christbaumform hat, geringer zu werden.

[0019] In dem Nutbearbeitungsprozess, der in dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung definiert ist, wird der Schlichtschritt ohne ein Schneiden der Bodenfläche der grob geschnittenen Nut durch das schlichtende Drehschneidwerkzeug ausgeführt. Ein Schneidmoment (Schneidwiderstand), das in dem Schlichtschritt zum Schlichten der grob geschnittenen Nut erforderlich ist, ist verringert, so dass die Nutbearbeitung mit der erhöhten Schneidgeschwindigkeit und der Vorschubrate mit einer hohen Effizienz ausgeführt wird, mit einem Beibehalten der Nutneigung innerhalb eines zulässigen Bereichs.

[0020] Ein Schneidtest, der von dem Erfinder ausgeführt wurde, zeigte, dass der vorliegende Nutbearbeitungsprozess das Schneidmoment auf den Betrag reduziert, der ungefähr einem Zehntel von dem entspricht, was in einem konventionellen Prozess erfahren wird, und erhöht die Vorschubrate auf einen Betrag, der ungefähr einem 7,5-fachen von dem des konventionellen Prozesses entspricht. Daher erhöht der vorliegende Nutbearbeitungsprozess bemerkenswerterweise die Effizienz in dem Schlichtschritt.

[0021] In dem Nutbearbeitungsprozess, der in dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung definiert ist, ragt die Schruppschneidkante des geformten schruppenden Drehschneidwerkzeugs axial mehr als die Schlichtschneidkante des geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs vor. Der grob geschnittenen Nut, die von dem geformten schruppenden Drehschneidwerkzeug geschnitten wird, wird die Vertiefung in der Bodenfläche von dieser in dem Schruppschritt gegeben, so dass die Bodenfläche nicht in Kontakt mit dem geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeug ist. In dem vorliegenden Nutbearbeitungsprozess kann das konventionelle geformte schlichtende Drehschneidwerkzeug verwendet werden, so wie es ist.

[0022] Die Schruppschneidkante ragt axial weiter als die Schlichtschneidkante vor. Dies erhöht den Schneidbetrag (Material) durch das geformte schruppende Drehschneidwerkzeug, um dadurch die darauf aufgebrachte Last zu erhöhen. Jedoch sieht dies keinen wesentlichen Nachteil vor, da die Stärke des zu schneidenden Materials in dem Schrupp-

schrift grundsätzlich groß ist.

[0023] Der dritte und vierte Aspekt der vorliegenden Erfindung bezieht sich auf den Satz von geformten Drehschneidwerkzeugen oder das geformte schruppende Drehschneidwerkzeug, das vorteilhaft in dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung verwendet wird. Sie bringen im Wesentlichen die gleichen technischen Vorteile, wie der zweite Aspekt der vorliegenden Erfindung.

[0024] In dem fünften Aspekt der vorliegenden Erfindung hat die Schruppschneidkante den Vorsprungsabschnitt, der axial vorragt und sich radial innerhalb der Begrenzung zwischen der Schlichtschneidkante und der Schlichtschneidumfangskante befindet. Das heißt, die Schruppschneidkante ragt axial in einem ganzen Bereich von dieser vor, der einer Gesamtheit der Schlichtschneidkante entspricht. Die Schlichtschneidkante schneidet nicht die grob geschnittene Nut, was darin resultiert, dass das Schneidmoment effektiv verringert ist.

[0025] In dem sechsten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist die Vorsprungsabmessung d der Schruppschneidkante größer als die zulässige Abmessungstoleranz A der Schlichtschneidkante gewählt. Diese Anordnung stellt sicher, dass die Schruppschneidkante mehr als die Schlichtschneidkante axial vorragt, ungeachtet des Abmessungsfehlers der Schlichtschneidkante. Der vorangehend erwähnten technischen Vorteile, wie z. B. eine Verringerung des Schneidmoments und eine Erhöhung der Schneideffizienz, sind konstant und dauerhaft sichergestellt, welche durch ein Fernbleiben eines Schneidens durch die Schlichtschneidkante erbracht werden. Der Vorsprungsabstand d , der kleiner als die Summe der zulässigen Abmessungstoleranz und $0,1$ mm ist, kann einen Einfluss auf eine Nutbodenabmessung (Nuttiefe) minimieren, und kann eine Festigkeit des Werkstücks geeignet beibehalten, in das die Nut geschnitten ist.

[0026] In dem siebten Aspekt der vorliegenden Erfindung hat die Schruppschneidumfangskante konvexe Abschnitte und konkave Abschnitte, deren Nasendurchmesser in Richtung eines distalen Werkzeugendes zunimmt und abnimmt. In dem achten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist die Schruppschneidumfangskante gestaltet, um in dem Nasendurchmesser in Richtung des distalen Werkzeugendes zum Schneiden einer baumförmigen Nut mit einer umgedrehten Christbaumform geringer zu werden.

[0027] In beiden Nuten, die durch das geformte schruppende Drehschneidwerkzeug bearbeitet sind, die in sowohl dem siebten als auch achten Aspekt definiert sind, sind konvexe Abschnitte, das heißt vorragende Abschnitte, und die konkaven Abschnitte, das

heißt vertiefte Abschnitte, an beiden Seiten von diesem ausgebildet. Eingreifende Körper, wie z. B. das Turbinenrad, gelangen in Eingriff mit den vertieften Abschnitten und vorragenden Abschnitten, um relativ zu der Nut positioniert zu werden. Aufgrund eines Spalts, der in dem Nutboden zurückbleibt, ist die Nutbodenabmessung (Nuttiefe) ausreichend größer als die vorbestimmte Abmessung, was bedeutet, dass eine kleine Variation der Nutbodenabmessung erlaubt ist, was aus einem Vorsprung der geformten schrumpfenden Drehschneidkante resultiert.

[0028] Die vorliegende Erfindung wird worteilig auf den Fall angewendet, der in dem siebten Aspekt der vorliegenden Erfindung definiert ist, wobei die Schruppschneidumfangskante konvexe Abschnitte und konkave Abschnitte hat, deren Nasendurchmesser in Richtung eines distalen Werkzeugendes zunimmt und abnimmt, oder dem Fall, wie in dem achten Aspekt der vorliegenden Erfindung definiert ist, wobei die Schruppschneidumfangskante gestaltet ist, um in dem Nasendurchmesser in Richtung des distalen Werkzeugendes zum Schneiden der baumförmigen Nut mit einer umgekehrten Christbaumform geringer zu werden.

[0029] Jedoch kann die vorliegende Erfindung auf ein anderes Drehschneidwerkzeug angewendet werden, wie z. B. einem konischen Langlochfräser mit dem Nasendurchmesser, der durch die Umfangsschneidkante definiert ist, die sich bei einer konstanten Rate in der axialen Richtung ändert, und auf einen Nutbearbeitungsprozess, der solch ein geformtes Drehschneidwerkzeug verwendet. In dem siebten Aspekt der vorliegenden Erfindung kann der konkave Abschnitt durch einen Abschnitt der Umfangsschneidkante vorgesehen sein, an dem sich der kleine Nasendurchmesser zu dem großen Nasendurchmesser ändert, und der konvexe Abschnitt kann durch einen Abschnitt der Umfangsschneidkante vorgesehen sein, an dem sich der große Nasendurchmesser zu dem kleinen Nasendurchmesser ändert.

[0030] Die Bedingungen der Schruppschneidumfangskante und der Schruppschneidkante, und der Schlichtschneidumfangskante und der Schlichtschneidkante werden erläutert werden. Sie werden verwendet, um lediglich die Schneidkanten des geformten schrumpfenden Drehschneidwerkzeugs und jene des geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs zu unterscheiden. Daher sei vermerkt, dass die Schruppschneidumfangskante und die Schlichtschneidumfangskante in einer Form nicht verschieden sein müssen, und die Schruppschneidkante und die Schlichtschneidkante in einer Form nicht unterschiedlich sein müssen.

[0031] Wie jedoch in einem gewöhnlichen Fall gibt es einen Unterschied zwischen den Schneidkanten zum Schruppen und Schneidkanten zum Schlichten

in dem Spanwinkel, Freiwinkel und Schrägungswinkel der Spanentfernungsnut, aufgrund eines Unterschieds in einem erwarteten Verhalten. Ferner können die Schneidkanten zum Schruppen je nach Bedarf mit Kerben oder einer geriffelten Form versehen sein.

[0032] Das schrumpfende Drehschneidwerkzeug wird zum Schneiden der grob geschnittenen Nut verwendet, die sich einer gewünschten Nutform annähert. Ein einzelnes geformtes schrumpfendes Drehschneidwerkzeug oder eine Vielzahl von geformten Drehschneidwerkzeugen werden verwendet zum Schneiden der grob geschnittenen Nut. Wenn die grob geschnittene Nut in der Vielzahl von Schlichtschritten geschnitten wird, wird die vorliegende Erfindung auf das geformte schrumpfende Drehschneidwerkzeug angewendet, das zum Schneiden der Bodenfläche der grob geschnittenen Nut in dem letzten Schritt des Schruppens verwendet wird.

[0033] Andererseits wird das geformte schlichtende Drehschneidwerkzeug verwendet zum Schlichten der grob geschnittenen Nut durch ein Schneiden einer Oberflächenschicht der grob geschnittenen Nut um einen vorbestimmten Betrag des Schlichtmaterials (z. B. ungefähr 0,1 bis 1,0 mm) zu der Nut der gewünschten Form mit einer hohen Abmessungsgenauigkeit.

[0034] In dem Nutbearbeitungsprozess, der in dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung definiert ist, wird der Schlichtschritt ausreichend ausgeführt, so dass das geformte schlichtende Drehschneidwerkzeug nicht die Bodenfläche der grob geschnittenen Nut schneidet. Die Schruppschneidkante ist wünschenswert gestaltet, um axial weiter als die Schlichtschneidkante vorzuragen. Die durch das geformte schrumpfende Drehschneidwerkzeug geschnittene grob geschnittene Nut hat die Vertiefung, die in deren Bodenfläche ausgebildet ist, um nicht mit der Schlichtschneidkante in dem Schlichtschritt in Berührung zu kommen. Zu diesem Zweck kann die Schlichtschneidkante gestaltet sein, um konkav zu sein, oder um weggelassen zu werden. Der Schlichtschritt wird wünschenswert derart ausgeführt, dass die Bodenfläche der grob geschnittenen Nut in ihrer Gesamtheit nicht durch das geformte schlichtende Drehschneidwerkzeug geschnitten wird.

[0035] Jedoch ist es für die Bodenfläche der grob geschnittenen Nut ausreichend, dass wenigstens ein Teil von dieser nicht durch das geformte schlichtende Drehschneidwerkzeug geschnitten wird. Ein Teil der Seitenfläche der grob geschnittenen Nut kann in dem nicht zu schneidenden Teil enthalten sein.

[0036] Die Schruppschneidkante ragt axial weiter als die Schlichtschneidkante vor, um die Ver-

tiefung an der Bodenfläche der grob geschnittenen Nut auszubilden. Damit wird in dem Schlichtschritt eine Berührung der Schlichtschneidkante mit der Bodenfläche der grob geschnittenen Nut vermieden. In diesem Fall kann das konventionelle geformte schlichtende Drehschneidwerkzeug als das geformte schlichtende Drehschneidwerkzeug der vorliegenden Erfindung verwendet werden. Jedoch kann das geformte schlichtende Drehschneidwerkzeug je nach Bedarf verschieden modifiziert werden. Zum Beispiel ist die Schlichtschneidkante gestaltet, um einen größeren Konkavitätswinkel bzw. Wölbungswinkel zu haben, um einen Kontakt mit der Bodenfläche mit der grob geschnittenen Nut verlässlicher zu verhindern.

[0037] Wenn das geformte schrumpfende Drehschneidwerkzeug senkrecht zu der Achse in dem Schruppschritt bewegt wird, kann es entlang einer geraden Linie oder einer gebogenen Linie bewegt werden. Wenn das geformte schlichtende Drehschneidwerkzeug senkrecht zu der Achse in dem Schlichtschritt bewegt wird, wird es eigentlich in der grob geschnittenen Nut entlang einer verlängerten Richtung von dieser bewegt.

[0038] In dem fünften Aspekt der vorliegenden Erfindung hat die Schruppschneidkante einen Vorsprungsabschnitt, der axial vorragt und sich radial innerhalb einer Begrenzung zwischen der Schlichtschneidkante und der Schlichtschneidumfangskante des geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs befindet. Damit führt die Schlichtschneidkante das Schlichten nicht in dem gesamten Bereich der Schlichtschneidkante aus.

[0039] Jedoch, wenn die anderen Aspekte der vorliegenden Erfindung ausgeführt sind, ist wenigstens ein Teil der Schlichtschneidkante ausreichend gestaltet, um das Schlichten nicht auszuführen. Ein Teil der Schlichtschneidumfangskante kann gestaltet sein, um das Schlichten nicht auszuführen, zusätzlich zu der Schlichtschneidkante. Ein von der Schlichtschneidkante zu schneidender Schnittbereich und die Bodenfläche der grob geschnittenen Nut, das heißt der Abschnitt, der durch die Schruppschneidkante zu schneiden ist, sind im Wesentlichen übereinstimmend, aber sind nicht notwendigerweise gänzlich übereinstimmend.

[0040] In dem sechsten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist die axial vorragende Abmessung d der Schruppschneidkante von der Schlichtschneidkante basierend auf einer Zielposition der Schlichtschneidkante größer gewählt als eine zulässige Abmessungstoleranz A der Schlichtschneidfläche, und ist kleiner als eine Summe der zulässigen Abmessungstoleranz und $0,1$ mm. Jedoch, wenn die anderen Aspekte der vorliegenden Erfindung ausgeführt sind, kann die Vorsprungsabmessung größer als die Summe der zulässigen Abmes-

sungstoleranz und $0,1$ mm gewählt sein, oder kann ausreichend groß gewählt sein, ohne Berücksichtigung der Abmessungstoleranz.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0041] Die vorangehend erwähnten und andere Ziele, Merkmale, Vorteile und technische und industrielle Bedeutung dieser vorliegenden Erfindung wird durch ein Lesen der folgenden detaillierten Beschreibung der derzeit bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung besser verstanden werden, wenn in Verbindung mit den angefügten Zeichnungen betrachtet.

[0042] Fig. 1 ist ein Satz von Ansichten, die einen Christbaumfräser zum Schruppen erläutern, der in dem Nutschneidprozess der vorliegenden Erfindung verwendet wird, wobei Fig. 1A eine Vorderansicht von diesem ist, wobei Fig. 1B eine Schnittansicht einer grob geschnittenen Nut ist, und wobei Fig. 1C eine Ansicht ist, die einen Wölbungswinkel θ_1 zeigt, der an einer Schneidkante vorgesehen ist;

[0043] Fig. 2 ist ein Satz von Ansichten, die einen Christbaumfräser zum Schlichten erläutern, der in dem Nutschneidprozess der vorliegenden Erfindung verwendet wird, wobei Fig. 2A eine Vorderansicht von diesem ist, wobei Fig. 2B eine Schnittansicht ist, die ein Schlichtmaterial in dem Schlichtschritt zeigt, wobei Fig. 2C eine vergrößerte Ansicht ist, die einen Teil IIC in Fig. 2B zeigt, und wobei Fig. 2D eine Ansicht ist, die einen Wölbungswinkel θ_2 erläutert, der durch eine Schneidkante des Fräasers von Fig. 2A definiert wird;

[0044] Fig. 3 ist ein Satz von Ansichten, die eine baumförmige Nut zeigen, die durch die Christbaumfräser von Fig. 1 und 2 geschnitten wird, wobei Fig. 3A eine Querschnittsansicht von diesen und der grob geschnittenen Nut ist, und wobei Fig. 3B eine vergrößerte Ansicht ist, die einen Teil IIIB von Fig. 3A zeigt;

[0045] Fig. 4 ist ein Satz von Tabellen, die Testergebnisse zum Überprüfen eines Schneiderfolgs der baumförmigen Nut zeigen, die durch den Nutbearbeitungsprozess gemäß der vorliegenden Erfindung und der konventionellen Technik geschnitten ist, wobei Fig. 4A die Testbedingungen zeigt, und Fig. 4B die Testergebnisse zeigt;

[0046] Fig. 5 ist eine Ansicht, die eine „Nutneigung“ erläutert;

[0047] Fig. 6 ist ein Satz von Ansichten, die eine andere Nutform zeigen, auf die der vorliegende Nutbearbeitungsprozess angewandt ist, wobei Fig. 6A eine Querschnittsansicht ist, die die finale Form der Nut

zeigt, [Fig. 6B](#) ist eine Querschnittsansicht, die die grob geschnittene Nut und eine Stärke eines Schlichtmaterials zeigt, und [Fig. 6C](#) ist eine vergrößerte Ansicht, die einen Teil VIC in [Fig. 6B](#) zeigt;

[0048] [Fig. 7](#) ist eine Ansicht, die ein Vielfaches von baumförmigen Nuten zeigt, in welche Schaufeln eines Turbinenrades eingepasst werden sollen;

[0049] [Fig. 8](#) ist eine Querschnittsansicht, die in Vergrößerung eine der baumförmigen Nuten von [Fig. 7](#) zeigt; und

[0050] [Fig. 9](#) ist eine Querschnittsansicht, die die grob geschnittene Nut und eine Stärke des Schlichtmaterials in dem Schlichtschritt zeigt, während eines Schneidens der baumförmigen Nut von [Fig. 8](#).

Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform

[0051] Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf angefügte Zeichnungen erläutert.

Ausführungsform

[0052] [Fig. 1](#) zeigt eine Christbaumschneideinrichtung **30** für das Schruppen und [Fig. 2](#) zeigt eine Christbaumschneideinrichtung **50** für das Schlichten, wobei beide eine Art von Fräsworkzeugen sind. Beide Schneideinrichtungen bzw. Fräser **30** und **50** werden zum Schneiden von der vorangehend erwähnten baumförmigen Nut **12** von [Fig. 8](#) verwendet, und sind eine Art von Drehschneideinrichtungen, das heißt, die sich um ihre Achse drehen, die sich relativ zu einem Werkstück (Drehschaft **10**) in einer Richtung senkrecht zu ihrer Achse. Der Christbaumfräser **30** zum groben Schneiden, der manchmal als „Schrupfräser“ bezeichnet wird, der dem beanspruchten geformten schrumpfenden Drehschneidwerkzeug entspricht, wird zum Ausbilden der grob geschnittenen Nut **22** verwendet.

[0053] In dieser Ausführungsform wird der Schrufffräser **30** zum Ausbilden der grob geschnittenen Nut **44** verwendet, die mit einer Vertiefung **42** an einer Bodenfläche **43** von dieser versehen ist. Dieser Schrufffräser **30** schneidet die grob geschnittene Nut **44** durch einen einzelnen Schritt oder auf einen Schlag. Der Christbaumfräser **50** zum Schlichten, der manchmal als „Schlichtfräser“ bezeichnet wird, der dem beanspruchten geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeug entspricht, hat die gleiche Gestalt wie ein konventioneller Schlichtfräser, der zum Schlichten der vorangehend erwähnten baumförmigen Nut **12** verwendet wird.

[0054] [Fig. 1A](#) ist eine Vorderansicht, die den Schrufffräser **30** zeigt, teilweise im Querschnitt,

wenn in einer Richtung senkrecht zu dessen Achse betrachtet. [Fig. 1B](#) ist eine Querschnittsansicht der grob geschnittenen Nut **44**, die durch den Schrufffräser **30** geschnitten ist. Der Schrufffräser **30** hat einen Schaftabschnitt **32** und einen Klingenschnitt **34**, die einstückig miteinander sind. Der Klingenschnitt **34** hat eine umgedrehte Christbaumform, die einer Gestalt der grob geschnittenen Nut **44** entspricht, die durch den Schrufffräser **30** geschnitten werden soll. Der Klingenschnitt **34** definiert einen Nasendurchmesser, der sich in Richtung eines distalen Werkzeugendes (unteres Ende in [Fig. 1](#)) weg von dem Schaftabschnitt **32** mit einer sich wiederholenden gleichmäßigen Zunahme/Abnahme verringert.

[0055] Der Klingenschnitt **34** hat eine Vielzahl von z. B. drei Spanentfernungsrillen **36**, die gleichwinklig um die Achse herum angeordnet sind. Entlang jeder der Spanentfernungsrillen **36** sind eine Vielzahl von Schneidumfangskanten **38** und Schneidendkanten **40**, die sich daran anschließen, zusammenwirkend ausgebildet, um die Schneidarbeit auszuführen, wenn der Schrufffräser **30** im Uhrzeigersinn gedreht wird, der von einer Seite des Schaftabschnitts **32** ausgesehen ist. Jede der Spanentfernungsrillen **36** ist in einer rechtsseitigen Schrägungsrichtung um einen vorbestimmten Schrägungswinkel gedreht.

[0056] Die Schneidumfangskante **38**, die der beanspruchten schrumpfenden Schneidumfangskante entspricht, definiert einen Nasendurchmesser, der sich allmählich in Richtung des distalen Werkzeugendes in Übereinstimmung mit einer Form des Klingenschnitts **34** mit einem gleichmäßigen Zunehmen und Abnehmen verringert. Jede der Schneidumfangskanten **38** ist durch eine Schruffschneidkante konstruiert, in der winzige geriffelte Vorsprünge und Vertiefungen in Folge auf einer Flankenfläche ausgebildet sind. In der vorliegenden Ausführungsform entspricht eine Gesamtheit der Schneidumfangskanten **38** dem beanspruchten konvexen/konkaven Abschnitt, dessen Nasendurchmesser in der axialen Richtung gleichmäßig zunimmt und abnimmt. Die Schneidendkante **40**, die der beanspruchten schrumpfenden Schneidendkante entspricht, ist vorgesehen, um in Richtung des distalen Endes vorzuragen, um effektiv die vorangehend erwähnte Vertiefung **42** zu schneiden.

[0057] [Fig. 1C](#) ist eine Ansicht, die in einer Vergrößerung einen Ort zeigt, der durch die Schneidumfangskante **38** und die Schneidendkante **40** beschrieben ist, wenn der Schrufffräser **30** gedreht wird. Wie aus [Fig. 1C](#) offensichtlich ist, ragt ein Außenumfang der Schneidendkante **40** um eine Höhe h weiter als ein Innenumfang der Schneidumfangskante **38** vor, um eine Stufe **39** dazwischen auszubilden. Die Schneidendkante **40** ist in dem Mittelteil von dieser konkav gewölbt, um einen vorbestimmten Wölbungs-

winkel θ_1 mit Q als den Startpunkt auszubilden.

[0058] **Fig. 2A** ist eine Vorderansicht, die den Schlichtfräser **50** zeigt, teilweise im Querschnitt, wenn in einer Richtung senkrecht zu dessen Achse betrachtet. **Fig. 2B** ist eine Querschnittsansicht, die ein Schlichtmaterial **62**, das in einem Schlichtschritt entfernt werden soll, zum Schlichten der grob geschnittenen Nut **44** durch den Schlichtfräser **50**. **Fig. 2C** ist eine vergrößerte Ansicht, die einen Teil IIC der **Fig. 2B** zeigt. Der Schlichtfräser **50** hat einen Schaftabschnitt **52** und einen Klingenschnitt **54**, die einstückig miteinander sind. Der Klingenschnitt **54** hat eine umgedrehte Christbaumform, die einer Gestalt der Nut **12** entspricht, die durch den Schlichtfräser **50** geschnitten werden soll. Der Klingenschnitt **54** definiert einen Nasendurchmesser, der sich im Allgemeinen in Richtung des distalen Werkzeugendes (unteres Ende in **Fig. 1**) weg von dem Schaftabschnitt **52** mit einer wiederholenden gleichmäßigen Zunahme/Abnahme verringert.

[0059] Der Klingenschnitt **54** hat eine Vielzahl (z. B. vier) von Spanentfernungsgrillen **56**, die gleichwinklig um die Achse herum angeordnet sind. Entlang jeder der Spanentfernungsgrillen **56** ist eine Vielzahl von Schneidumfangskanten **58** und Schneidkanten **60** zusammenhängend ausgebildet. Die Schneidumfangskante **58** und die Schneidkante **60** wirken zusammen, um das Schneiden auszuführen, wenn der Schruppfräser **30** im Uhrzeigersinn gedreht wird, von dem Schaftabschnitt **32** aus betrachtet. Jede der Spanentfernungsrinnen **56** erstreckt sich linear, mit anderen Worten, besteht aus einer linearen Nut.

[0060] Die Schneidumfangskante **58**, die der beanspruchten Schlichtschneidumfangskante entspricht, definiert einen Nasendurchmesser, der sich allmählich in Richtung des distalen Werkzeugendes in Übereinstimmung mit einer Form des Klingenschnitts **54** mit einem gleichmäßigen Zunehmen und Abnehmen verringert. Die Schneidumfangskante **58** hat als ein Ganzes eine konvexe/konkave Gestalt. Das Schlichtmaterial **62**, das durch die Schneidumfangskanten **58** geschnitten werden soll, reicht z. B. von 0,1 mm zu 1,0 mm. Wie aus **Fig. 2C** offensichtlich ist, ist die Schneidkante **60**, die der beanspruchten Schlichtschneidkante entspricht, gestaltet, das Schlichtschneiden auf der grob geschnittenen Nut **44** nicht an dem Abschnitt auszuführen, an dem die Vertiefung **42** ausgebildet ist.

[0061] In **Fig. 2C** bezeichnet ein Bezugszeichen „P“ eine Zielposition im Entwurf, das heißt die Zielposition auf der Schlichtoberfläche. Die vorangehend erwähnten Schneidkanten **40** des Schruppfräasers **30**, der die Vertiefung **42** schneidet, sind angeordnet, um axial von der Bezugsposition P um eine Stärke nicht kleiner als eine zulässige Abmessungstoleranz A der Schneidkanten **60** vorzuragen. Zum Bei-

spiel ist ein Vorsprungsabstand d von der Zielposition P größer als die zulässige Abmessungstoleranz A eingestellt und kleiner als eine Summe der zulässigen Abmessungstoleranzen A und 0,1 mm ($A < d < (A + 0,1)$). Zum Beispiel bei der zulässigen Abmessungstoleranz A von 0,05 mm ist der Vorsprungsabstand d vorzugsweise größer als 0,05 mm eingestellt und ist kleiner als 0,15 mm.

[0062] In dem gesamten Bereich der Schneidkante **60** des Schlichtfräasers **50**, das heißt in dem gesamten Bereich radial einwärts einer Begrenzung Q zwischen der Schneidumfangskante **58** und der Schneidkante **60**, ragt die Schneidkante **40** axial weiter vor als die Schneidkante **60**. Aufgrund der Vertiefung **62**, die durch die Schneidkanten **40** ausgebildet ist, wird die Schlichtschneidkante **60** davon abgehalten, mit der Bodenfläche der grob geschnittenen Nut **44** in Kontakt zu treten. In **Fig. 2C**, die eine Schnittgestalt zeigt, erhält eine Position, die der Begrenzung Q zwischen der Schneidumfangskante **5** und der Schneidkante **60** entspricht, das gleiche Zeichen Q.

[0063] **Fig. 2d** ist eine Ansicht, die in einer Vergrößerung einen Ort zeigt, der durch die Schneidumfangskante **58** und die Schneidkante **60** beschrieben ist, wenn der Schlichtfräser **50** gedreht wird. Wie aus **Fig. 2D** ersichtlich ist, ist die Schneidkante **50** an deren Mittelteil konkav gewölbt, um einen vorbestimmten Wölbungswinkel θ_2 mit Q als den Startpunkt auszubilden.

[0064] Eine Stärke bzw. Magnitude des Wölbungswinkels θ_2 kann die selbe sein als jene des konventionellen Schlichtfräasers. Das heißt, der konventionelle Schlichtfräser kann verwendet werden, wie er ist, ohne eine Modifikation. Jedoch sein bemerkt, dass diese Schneidkante **60** nicht dazu beiträgt, das Werkstück zu schneiden. In Anbetracht dessen kann die Magnitude des Wölbungswinkels θ_2 größer eingestellt sein als jene des Wölbungswinkels θ_1 der Schneidkanten **40**, oder größer als jene des Wölbungswinkels des konventionellen Schlichtfräasers, um seinen Kontakt mit den Boden der Vertiefung **42** sicher zu verhindern.

[0065] **Fig. 3** ist eine Querschnittsansicht, die eine baumförmige Nut **64** zeigt, die durch ein Verwenden des vorangehend erwähnten Schruppfräasers **30** und des Schlichtfräasers **50** geschnitten wird. Die Nut **64** hat eine Gestalt, die im Grunde genommen identisch mit der vorangehend erwähnten baumförmigen Nut **12** ist. Wie in der vorangehend erwähnten Nut **12** sind auf jeder der gegenüberliegenden Seiteflächen **66a** und **66b** eine Vielzahl von vertieften Abschnitten **18** und vorragenden Abschnitten **20** wechselweise und stetig aufgebaut, symmetrisch hinsichtlich der Mittellinie S. Jedoch ist die Nut **64** darin verschieden von der vorangehend erwähnten Nut **12**, dass eine ex-

trem flache Vertiefung **68** in einer Bodenfläche von dieser vorgesehen ist.

[0066] Diese flache Vertiefung **68** stammt von der vorangehend erwähnten Vertiefung **62**, die durch die schrumpfenden Schneidkanten **40** ausgebildet ist, und hat eine Tiefe, die sich abhängig von der zulässigen Abmessungstoleranz der Schneidkante **60** verändert. Sie reicht von einem Rest, der durch ein Subtrahieren der zulässigen Abmessungstoleranz A von dem Vorsprungsabstand d erhalten wird, zu einer Summe, die durch ein Addieren der zulässigen Abmessungstoleranz A zu dem Vorsprungsabstand d erhalten wird. [Fig. 3B](#) ist eine vergrößerte Ansicht, die einen Teil III B von [Fig. 3A](#) zeigt.

[0067] [Fig. 4](#) ist eine Tabelle, die Testbedingungen und Testergebnisse für ein Testen der Schneidleistungen in dem Nutschneidprozess gemäß der vorliegenden Erfindung und jenen in der konventionellen Technik zeigt. In dem Schneidprozess gemäß der vorliegenden Erfindung wird die baumförmige Nut **64** durch ein Verwenden des Schruppfräasers **30** und des Schlichtfräasers **50** geschnitten, die wie vorangehend beschrieben konstruiert sind. In dem konventionellen Schneidprozess wird die baumförmige Nut **12** bearbeitet, wobei der Bodenabschnitt der Nut sowohl in dem Schruppschritt als auch in dem Schlichtschritt geschnitten wird, wie in [Fig. 9](#) gezeigt ist.

[0068] [Fig. 4A](#) (Tabelle A) zeigt Schneidbedingungen, die in dem Schneidprozess gemäß der vorliegenden Erfindung eingesetzt sind. In der Rubrik „Durchmesser des Fräasers“ oder Fräserdurchmesser bedeutet maximaler Durchmesser einen Durchmesser, der an einem von radial konvexen Abschnitten (entsprechend zu den vertieften Abschnitten **18** der Nut) gemessen ist, der am nächsten zu dem Schaftabschnitt **32** oder **52** ist. Minimaler Durchmesser bedeutet einen Durchmesser, der an einem von radial konkaven Abschnitten (entsprechend zu den vorragenden Abschnitten **20** der Nut) gemessen ist, d. h. dem am nächsten Liegenden zu dem Werkzeugende. Die Stärke bzw. Magnitude des Schlichtmaterials ist 0,3 mm in dem äußeren Umfang, wie in der untersten Rubrik „Schlichtmaterial“ gezeigt ist. D. h., der Durchmesser des Schlichtfräasers ist um 0,6 mm größer als der des Schruppfräasers **30**.

[0069] Des Weiteren bedeutet in Rubrik „Tiefe der Nut“ oder Nuttiefe die tatsächliche Tiefe des Schnittabschnitts, der durch sowohl den Schruppfräser **30** als auch den Schlichtfräser **50** ausgebildet ist. Die tatsächliche Schnitttiefe durch den Schlichtfräser **50** ist durch eine Magnitude, die dem vorangehend erwähnten Vorsprungsabstand d (0,1 mm in der vorliegenden Ausführungsform) entspricht, kleiner als jene durch den Schruppfräser **30**.

[0070] Ein Schlichtfräser, der in dem konventionel-

len Nutbearbeitungsprozess verwendet wird, ist identisch mit dem vorangehend erwähnten Schlichtfräser **50**. Währenddessen ist ein Schruppfräser, der in dem konventionellen Nutbearbeitungsprozess verwendet wird, unterschiedlich zu dem vorangehenden Schruppfräser **30**, darin dass eine Schneidkante axial nicht vorragt. In der konventionellen Technik wird die Bodenfläche der Nut durch die Schneidkanten des Schlichtfräasers **50** um 0,3 mm als das Schlichtmaterial bzw. Schlichtmaterialschiicht geschichtet. Andere Testbedingungen, wie z. B. ein Material des verwendeten Werkstücks in dem konventionellen Prozess sind die gleichen, wie die in dem vorliegenden Prozess.

[0071] [Fig. 4B](#) (Tabelle B) zeigt die Testergebnisse in dem Schlichtschritt durch den Schlichtfräser **50** in sowohl dem vorliegenden Prozess als auch dem konventionellen Prozess. „Vibration“, „Schneidgeräusch“ und „Schlichtoberfläche“ beziehen sich auf die Schneidleistung. „Vibration“ bedeutet eine Schwingungsmagnitude bzw. Schwingungsstärke der gesamten Maschine, „Schneidgeräusch“ bedeutet Beschaffenheit und Lautstärke und „Schlichtoberfläche“ bedeutet einen Oberflächenzustand der bearbeiteten Fläche. Alle von diesen werden durch die Sinne des Testausführenden bewertet. „Schneidmoment“ bedeutet einen maximalen Wert des Motormoments, das erforderlich ist, um den Schlichtfräser während des Schneidens anzutreiben und zu drehen.

[0072] „Neigung der Nut“ oder Nutneigung bedeutet, wie in [Fig. 5](#) gezeigt ist, einen Durchschnittswert von Abweichungsmaßen ΔX_1 , ΔX_2 bei einem minimalen Durchmesserabschnitt der geschichteten baumförmigen Nut **64** oder **12**. In der vorliegenden Ausführungsform ist ein Grenzwert oder zulässiger Maximalwert der „Neigung der Nut“ gewählt, um 0,05 mm zu sein. Übrigens sind, wie in [Fig. 5](#) die schematisch baumförmige Nut **65** oder **12** zeigt, die Seitenflächen als die einfach geneigten Flächen gezeigt, mit einem Vernachlässigen einer Änderung in der Breitenrichtung von diesen.

[0073] Wie aus [Fig. 4B](#) ersichtlich ist, die die Testergebnisse zeigt, werden folgende Effekte gemäß der vorliegenden Erfindung erbracht. Wenn der Schlichtschritt durch den Schlichtfräser **50** ausgeführt wird, nach einer Ausbildung der grob geschnittenen Nut **44** durch den Schruppfräser **30** der vorliegenden Erfindung, ist das Schneidmoment, das in dem Schlichtschritt erforderlich ist, auf die Stärke reduziert, die ungefähr einem Zehntel oder weniger von jenem in dem konventionellen Schneidprozess entspricht. Die Nutneigung wird innerhalb des zulässigen Bereichs beibehalten. Die Schneidgeschwindigkeit kann zumindest doppelt so groß wie in jene in dem konventionellen Prozess sein, und die Vorschubrate kann ungefähr 7,5-mal (= 180/24) so groß wie die in dem konventionellen Prozess sein.

[0074] In dem Nutbearbeitungsprozess der vorliegenden Erfindung unter Verwendung des Schruffräsers **30** ist die Vertiefung **42** in dem Bodenabschnitt der grob geschnittenen Nut **44** in dem Schruffschritt ausgebildet. Entsprechend erfordert der Schlichtfräser **50** in dem Schlichtprozess nicht, den Schlichtprozess mit der Schneidkante **60** auszuführen. Daher ist das Schneidmoment reduziert, das für den Schlichtschritt erforderlich ist, so dass die Schneidgeschwindigkeit und die Vorschubrate erhöht werden, was in einer Erhöhung der Bearbeitungseffizienz resultiert, mit einer Beibehaltung der Nutneigung innerhalb des zulässigen Bereichs.

[0075] Ferner ragen in der vorliegenden Ausführungsform die Schneidkanten **40** des Schruffräsers **30** axial weiter vor als die Schneidkanten **60** des Schlichtfräsers **50**. Folglich ist die grob geschnittene Nut **44** mit der Vertiefung **42** auf der Bodenfläche von dieser durch den Schrufffräser **30** versehen, was bei einem Verhindern eines Kontakts der Bodenfläche mit den Schneidkanten **60** des Schlichtfräsers **50** wirksam ist. Da die Bodenfläche **43** der grob geschnittenen Nut **44** nicht dem Schlichtschritt durch den Schlichtfräser **50** unterzogen wird, kann der konventionelle Christbaumfräser als der Schlichtfräser **50** verwendet werden.

[0076] Ein Schneidumfang von dem Schrufffräser **30** ist größer als der von dem Schlichtfräser **30**, da die Schruffschneidkanten **40** axial weiter vorragen als die Schlichtschneidkanten **60**. Daher kann die Belastung, die auf dem Schrufffräser **30** bei dem Schneiden aufgebracht wird, groß werden. Jedoch wird der Schrufffräser **30** nicht wesentlich durch diese große Belastung beeinflusst, da er entworfen ist, die grob geschnittene Nut **40** in einem einzigen Schneid Schritt mit einem großen Schneidumfang zu schneiden.

[0077] Ferner ragt die Schneidkante **40** des Schruffräsers **30** in der vorliegenden Ausführungsform axial in dem Bereich vor, der der Gesamtheit der Schneidkanten **60** des Schlichtfräsers **50** entspricht, d. h. in dem Bereich, der sich radial einwärts der Begrenzung **Q** zwischen der Schneidumfangskante **58** und der Schneidkante **60** befindet. Folglich erfordert es die Schlichtschneidkante nicht, das Schneiden in dem gesamten Bereich davon auszuführen, so dass das erforderliche Schneidmoment effektiv verringert werden kann.

[0078] Ferner ist der Vorsprungsabstand d der Schruffschneidkanten **40** größer gewählt als die zulässige Dimensionstoleranz bzw. Abmessungstoleranz A der Schlichtschneidkanten **60**. Diese Anordnung stellt sicher, dass die Schruffschneidkanten **40** axial weiter als die Schlichtschneidkanten **60** vorragen, ungeachtet eines Abmessungsfehlers der Schlichtschneidkanten **60**. Die voran-

gehend erwähnten technischen Effekte, wie z. B. eine Verringerung des Schneidmoments und eine Erhöhung der Schneideffizienz, können konstant und dauerhaft sicher gestellt werden, aufgrund eines Mangels oder Fehlens eines Schneidens durch die Schlichtschneidkanten **60**.

[0079] Hier sei vermerkt, dass der Vorsprungsabstand d kleiner als die Summe der Abmessungstoleranz A und $0,1$ mm gewählt ist, was darin resultiert, dass ein Einfluss auf die Nutbodenabmessung (Nuttiefe) unterdrückt wird, und eine Stärke bzw. Festigkeit der Drehwelle **10**, in der die baumförmigen Nuten **64** ausgebildet sind, kann geeignet beibehalten werden.

[0080] In der vorliegenden Ausführungsform schneidet der Schneidprozess die umgedreht christbaumförmige Nut **64**, die mit dem vertieften Abschnitt **18** und dem vorragenden Abschnitt **20** an Seitenflächen **66a** und **66b** von dieser versehen ist. Die Schaufel **14** des Turbinenrads, die mit der baumförmigen Nut **64** in Eingriff gelangen soll, ist so durch die vertieften Abschnitte **18** und die vorragenden Abschnitte **20** beschränkt (positioniert). Hier, aufgrund eines Spalts, der an dem Nutbodenabschnitt (zwischen der in Eingriff stehenden Schaufel **14** und der Bodenfläche der baumförmigen Nut **64**) verbleibt, ist die Nutbodenabmessung (nuttiefe) ausreichend gewählt, um größer zu sein als die vorbestimmte Abmessung und kann einen etwas größeren Wert haben, der von einem Vorsprung der Schruffschneidkanten **40** abhängt.

[0081] In der vorangehend erwähnten Ausführungsform wurde der Fall zum Schneiden der umgedreht christbaumförmigen Nut **64** in die Drehwelle **10** erläutert. Jedoch kann das Prinzip der vorliegenden Erfindung auf das Bearbeiten für andere Nutformen angewendet werden. **Fig. 6** ist ein Satz von Ansichten, die eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigen. **Fig. 6A** ist eine Querschnittsansicht, die eine finale Form einer flaschenförmigen Nut **72** zeigt, die in einem Werkstück **70** ausgebildet ist, und **Fig. 6B** ist eine Querschnittsansicht, die eine grob geschnittene Nut **74** und ein Schlichtmaterial **76** zeigt. Die grob geschnittene Nut **74** ist durch eine geformte schrumpfende Drehschneideinrichtung geschnitten, während das Schlichtmaterial **76** durch den Schlichtschritt mit einer geformten schlichtenden Drehschneideinrichtung entfernt wird. **Fig. 6C** ist eine vergrößerte Ansicht, die einen Teil **VIC** von **Fig. 6B** zeigt.

[0082] Die Nut **72** hat in der Nähe ihres Bodenabschnitts einen ausgebuchteten Abschnitt **80**, in dem die Nutbreite allmählich und gleichmäßig in einer bogenförmigen Form zunimmt. Die geformte schrumpfende Drehschneideinrichtung und die geformte schlichtende Drehschneideinrichtung, die zum

Schneiden der Nut **72** verwendet werden, haben entsprechend einer Gestalt des ausgebuchteten Abschnitts **80** konvexe Abschnitte/konkave Abschnitte, bei denen der Nasendurchmesser der äußeren Umfangsklinge ausgebuchtet ist.

[0083] Die Schneidkante der geformten schrumpfenden Drehschneideinrichtung (Schruppschneidkante) ragt axial in dem gesamten Bereich der Schneidkante der geformten schlichtenden Drehschneideinrichtung (schlichtende Schneidkante) um die Vorsprungsabmessung d von der Schlichtschneidkante vor. Die Schruppschneidkante kann anders ausgedrückt werden als der Abschnitt, der sich radial einwärts von der Begrenzung Q zwischen der Schneidumfangskante und der Schneidkante befindet. Folglich wird eine Vertiefung **82** durch die Schruppschneidkante in der Bodenfläche der grob geschnittenen Nut **74** ausgebildet.

[0084] Damit wird die Schlichtschneidkante davon abgehalten, in Kontakt mit der Bodenfläche der grob geschnittenen Nut **74** gebracht zu werden. Daher kann der Vorgang und Effekt, welche dieselben in der vorangehend ausgeführten Ausführungsform sind, wie z. B. eine Verringerung des Schneidmoments und eine Verbesserung in der Schneideffizienz bei dem Schlichtschritt, erbracht werden.

[0085] Hier zuvor wurden die bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf die Zeichnungen erläutert. Es soll verstanden werden, dass die vorliegende Erfindung nicht auf die Details der dargestellten Ausführungsformen begrenzt ist, sondern mit verschiedenen Änderungen, Modifikationen und Verbesserungen basierend auf einem Wissen des Fachmanns ausgeführt werden kann, ohne von dem Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0086] Auf einer Bodenfläche **43** des groben Schnitts ist eine Nut **44**, die durch eine geformte schrumpfende Drehschneideinrichtung **30** geschnitten ist, mit einer Vertiefung **42** versehen, die durch eine Schneidkante **40** von dieser geschnitten ist. Wenn ein geformtes schlichtendes Drehschneidwerkzeug **50** einen Schlichtschritt ausführt, schlichtet eine Schneidkante **60** von diesem nicht den Bodenabschnitt. Daher wird ein Schneidmoment reduziert, das zum Schlichten der grob geschnittenen Nut durch das geformte schlichtende Drehschneidwerkzeug erforderlich ist, so dass die Nut durch die erhöhte Schneidgeschwindigkeit und die Vorschubrate mit einer hohen Effizienz bearbeitet wird, wobei die Nutneigung innerhalb eines zulässigen Bereichs beibehalten wird.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2000-326133 A [[0004](#)]

Patentansprüche

1. Nutbearbeitungsprozess zum Schneiden einer Nut (**64; 72**) einer vorbestimmten Form in ein Werkstück (**10; 70**) durch Verwenden eines geformten schrumpfenden Drehschneidwerkzeugs (**30**) und eines geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs (**50**),

wobei der Nutbearbeitungsprozess Folgendes aufweist:

(i) einen Schruppschritt zum Schneiden einer grob bearbeiteten Nut (**44; 74**) in das Werkstück durch Bewegen des geformten schrumpfenden Drehschneidwerkzeugs in einer Richtung senkrecht zu dessen Achse relativ zu dem Werkstück mit einem Drehen des geformten schrumpfenden Drehschneidwerkzeugs um dessen Achse, und

(ii) einen Schlichtschritt zum Schlichten der grob bearbeiteten Nut (**44; 74**) in dem Werkstück durch Bewegen des geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs in einer Richtung senkrecht zu dessen Achse relativ zu dem Werkstück mit einem Drehen des geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs um dessen Achse,

dadurch gekennzeichnet, dass

das geformte schlichtende Drehschneidwerkzeug einen Bodenabschnitt (**43**) der grob bearbeiteten Nut in dem Schlichtschritt nicht schlichtet.

2. Nutbearbeitungsprozess nach Anspruch 1, wobei das geformte schrumpfende Drehschneidwerkzeug (**30**) eine Schruppbearbeitungsendkante (**40**) hat, die axial weiter vorragt als eine Schlichtbearbeitungsendkante (**60**) des geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs (**50**), so dass eine Vertiefung (**42; 68**) an dem Bodenabschnitt der grob bearbeiteten Nut in dem Schruppschritt ausgebildet wird, um einen Kontakt des Bodenabschnitts mit der Schlichtbearbeitungsendkante in dem Schlichtschritt zu vermeiden.

3. Satz aus geformten Drehschneidwerkzeugen (**30, 50**) zum Schneiden einer Nut (**64; 72**) einer vorbestimmten Form in ein Werkstück (**10; 70**),

wobei der Satz aus geformten Drehschneidwerkzeugen Folgendes aufweist:

(i) ein geformtes schrumpfendes Drehschneidwerkzeug (**30**) zum Schneiden einer grob bearbeiteten Nut (**44; 74**) in das Werkstück durch ein Bewegen in einer Richtung senkrecht zu dessen Achse relativ zu dem Werkstück mit einem Drehen um dessen Achse, und

(ii) ein geformtes schlichtendes Drehschneidwerkzeug (**50**) zum Schlichten der grob bearbeiteten Nut (**44; 74**) in dem Werkstück durch ein Bewegen in einer Richtung senkrecht zu dessen Achse relativ zu dem Werkstück mit einem Drehen um dessen Achse, **dadurch gekennzeichnet**, dass das geformte schrumpfende Drehschneidwerkzeug eine Schruppbearbeitungsendkante (**40**) hat, die axi-

al weiter vorragt als eine Schlichtbearbeitungsendkante (**60**) des geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs (**50**).

4. Geformtes schrumpfendes Drehschneidwerkzeug (**30**), das eine Schruppbearbeitungsumfangskante (**38**) und eine Schruppbearbeitungsendkante (**40**) hat, und das in einer Richtung senkrecht zu dessen Achse relativ zu dem Werkstück (**10; 70**) drehend um dessen Achse bewegt wird, um eine grob bearbeitete Nut (**22; 44; 74**) einer vorbestimmten Form zu bearbeiten, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schruppbearbeitungsendkante (**40**) axial weiter vorragt als eine Schlichtbearbeitungsendkante (**60**) eines geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs (**50**), das zum Schlichten der grob bearbeiteten Nut verwendet wird.

5. Geformtes schrumpfendes Drehschneidwerkzeug (**30**) nach Anspruch 4, wobei die Schruppbearbeitungsendkante (**40**) einen Vorsprungsabschnitt hat, der axial vorragt und sich innerhalb einer Begrenzung (Q) zwischen einer Schlichtbearbeitungsendkante (**60**) und einer Schlichtbearbeitungsumfangskante (**58**) des geformten schlichtenden Drehschneidwerkzeugs (**50**) befindet.

6. Geformtes schrumpfendes Drehschneidwerkzeug (**30**) nach einem der Ansprüche 4 oder 5, wobei eine Vorsprungsabmessung (d) der Schruppbearbeitungsendkante (**40**) von der Schlichtbearbeitungsendkante (**60**) basierend auf einer Zielposition (P) der Schlichtschneidendkante größer als eine zulässige Abmessungstoleranz (A) der Schlichtbearbeitungsendkante gewählt ist und kleiner als eine Summe der zulässigen Abmessungstoleranz und 0,1 mm ist.

7. Geformtes schrumpfendes Drehschneidwerkzeug (**30**) nach einem der Ansprüche 4 bis 6, wobei die Schruppbearbeitungsaußenumfangskante (**38**) konvexe Abschnitte und konkave Abschnitte hat, deren Nasendurchmesser in Richtung eines distalen Werkzeugendes zunimmt und abnimmt.

8. Geformtes schrumpfendes Drehschneidwerkzeug (**30**) nach Anspruch 7, wobei die Schruppbearbeitungsaußenumfangskante (**38**) gestaltet ist, um im Durchmesser in Richtung des distalen Werkzeugendes zum Schneiden einer baumförmigen Nut, die eine umgedrehte Christbaumform hat, geringer zu werden.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

FIG.1A

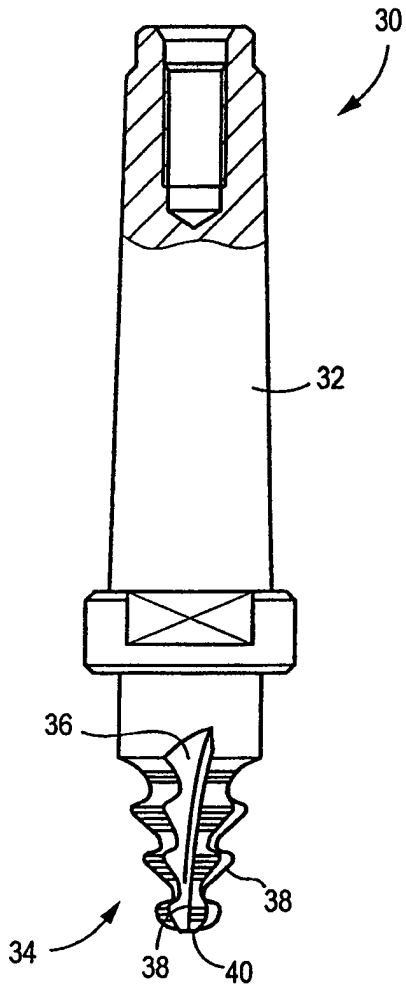


FIG.1B

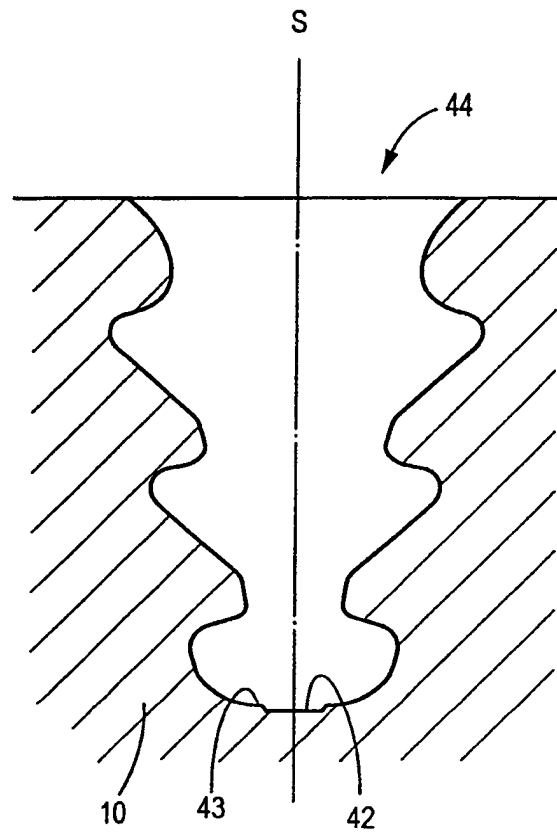


FIG.1C

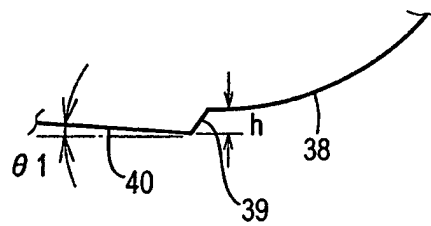


FIG.2A

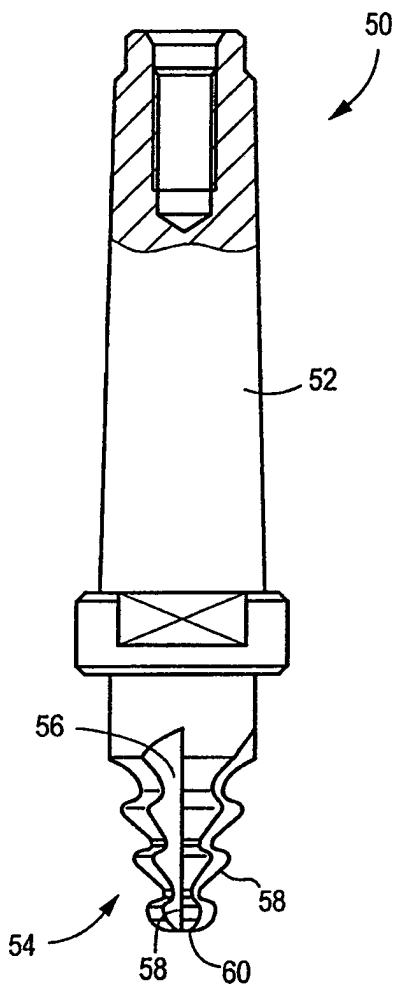


FIG.2B

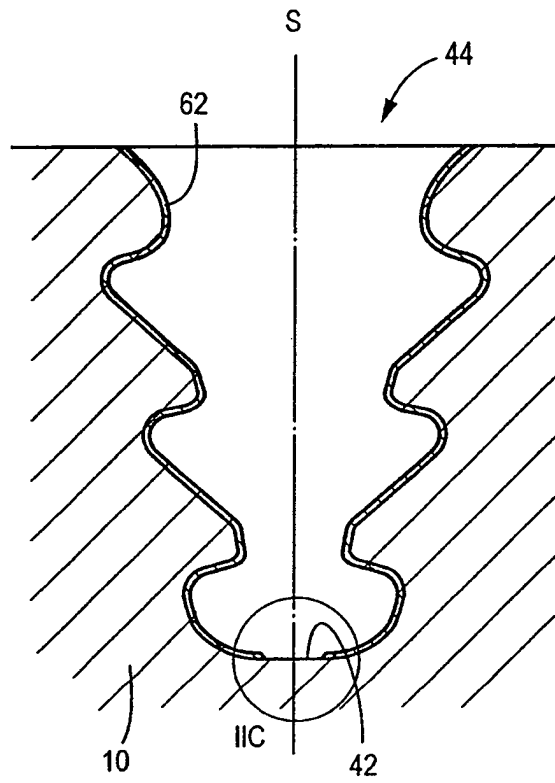


FIG.2C

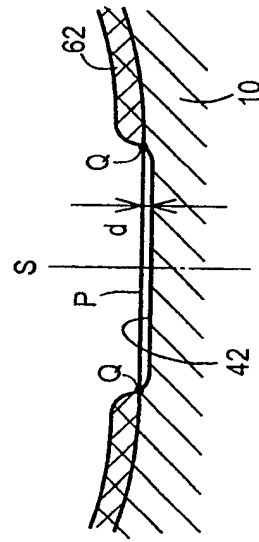


FIG.2D

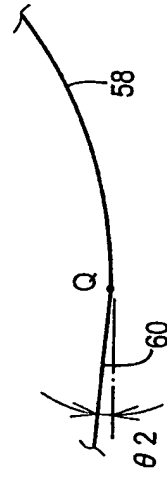


FIG.3A

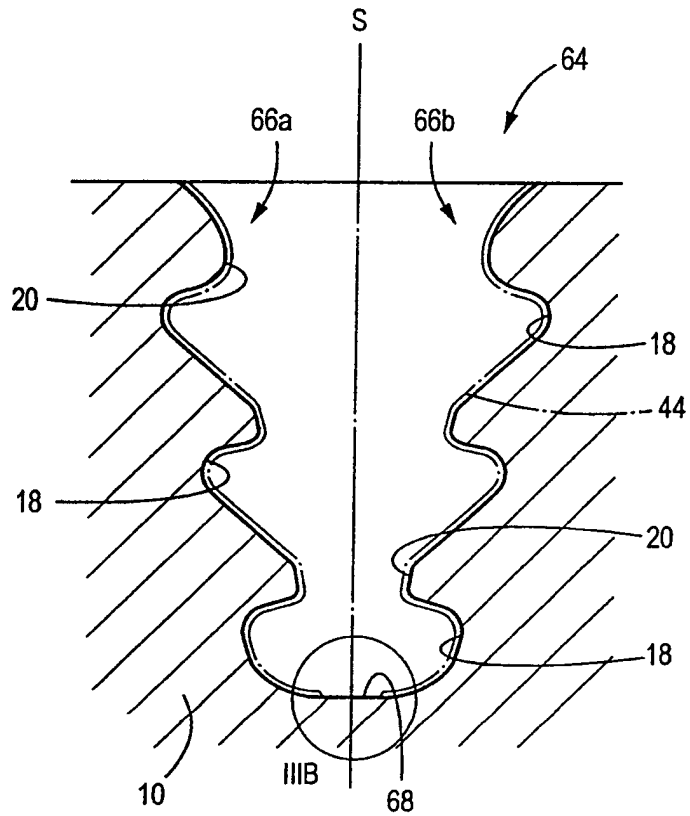


FIG.3B

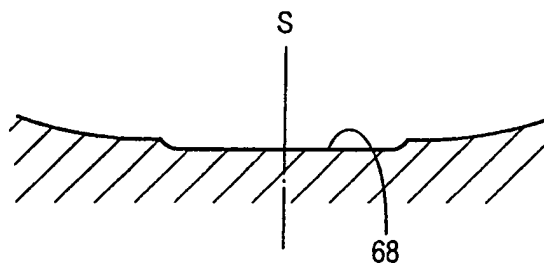


FIG. 4A

TABELLE A (TESTBEDINGUNG)

DURCHMESSER DES FRÄSERS	MAXIMALER DURCHMESSER: ca. ϕ 21mm MINIMALER DURCHMESSER: ca. ϕ 6.5mm
WERKSTÜCKMATERIAL	SNCN439 (90HRB)
SCHNEIDFLÜSSIGKEIT	WASSERLÖSLICHES KÜHLMITTEL
MASCHINE	HORIZONTALE BEARBEITUNGSACHSE
SCHNEIDGESCHWINDIGKEIT (UMFANGSGESCHWINDIGKEIT)	SIEHE TABELLE B
VORSCHUBRATE	SIEHE TABELLE B
TIEFE DER NUT	27.5 mm (SCHRUPPEN) 27.4 mm (SCHLICHTEN)
SCHLICHTMATERIAL	0.3 mm IM AUSSENUMFANG 0.1 mm SPALT IN SCHLICHTSCHNEID- ENDKANTE

FIG. 4B

TABELLE B (TESTERGEBNIS)

	PROZESS DER ERFINDUNG		KONVENTIONELLER PROZESS
SCHNEIDPROZESS	KEIN KONTAKT EINER SCHNEIDKANTE MIT EINEM NUTBODEN BEIM SCHLICHTEN		KONTAKT EINER SCHNEIDKANTE MIT EINEM NUTBODEN BEIM SCHRUPPEN UND SCHLICHTEN
SCHNEIDGESCHWINDIGKEIT	50 m/min	60 m/min	25 m/min
VORSCHUBRATE	150 mm/min	180 mm/min	24 m/min
SCHNEIDMOMENT (SCHNEIDMOMENTVERRIN- GERUNGSLEISTUNG)	0.4 kN (EX- ZELLENT)	0.4 kN (EX- ZELLENT)	4.5 kN (DURCHSCHNITTLICH)
VIBRATION	GUT	GUT	GUT
SCHNEIDGERÄUSCH	GUT	GUT	GUT
SCHLICHTOBERFLÄCHE	GUT	GUT	GUT
NEIGUNG DER NUT ϕ 6.5 (KLEINSTER DURCHMESSER)	0.005 mm (EX- ZELLENT)	0.02 mm (GUT)	0.05 mm (DURCHSCHNITTLICH)

FIG.5

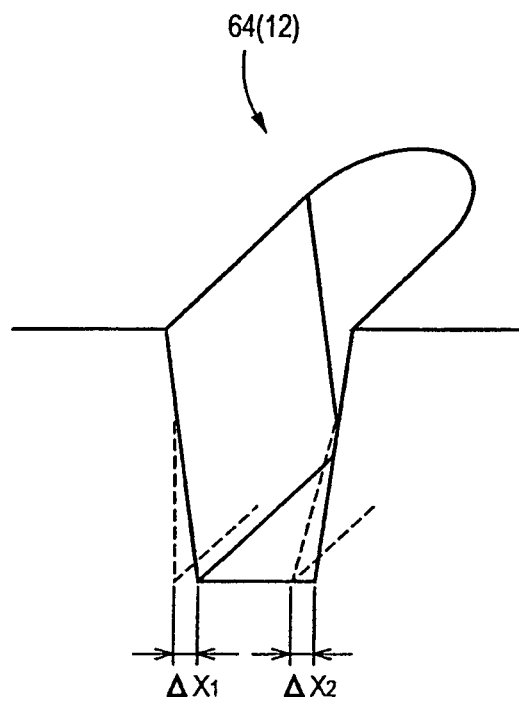


FIG.6A

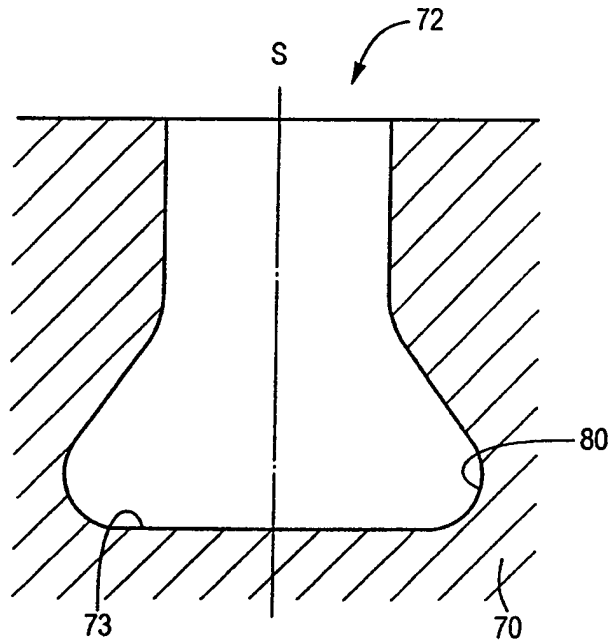


FIG.6B

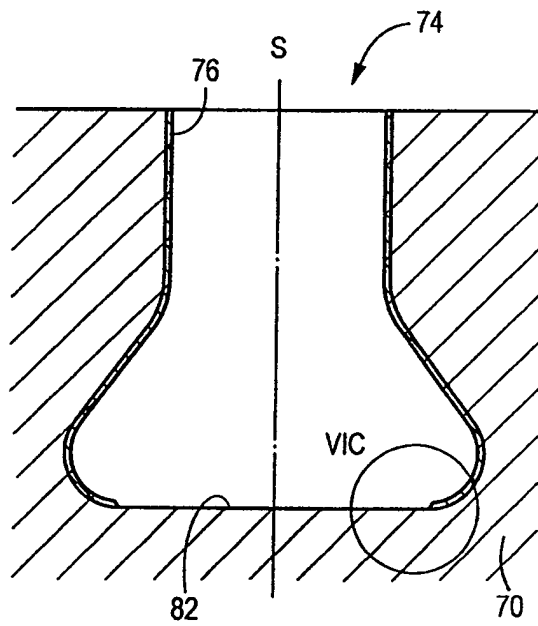


FIG.6C

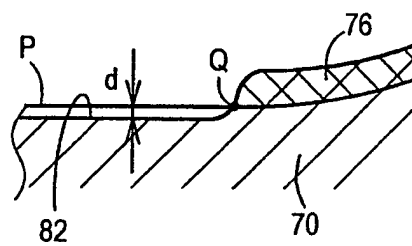


FIG.7

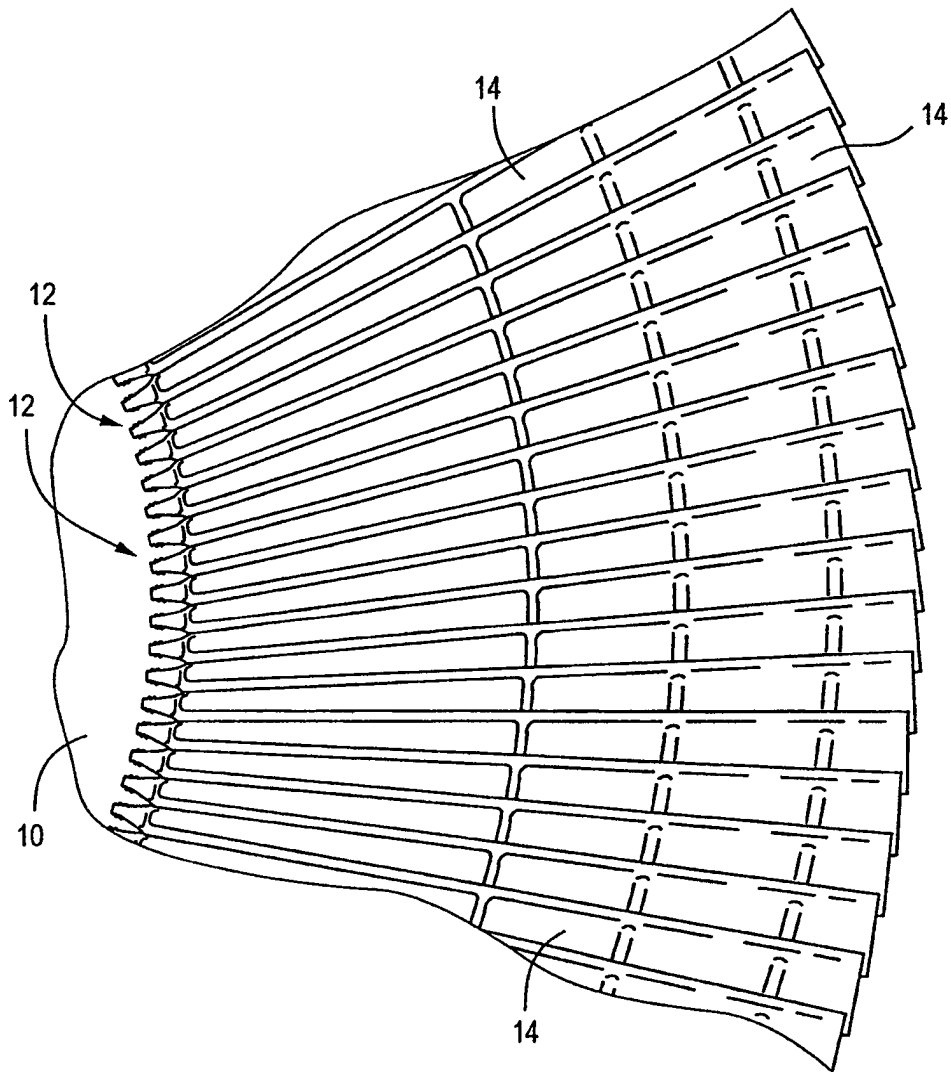


FIG.8

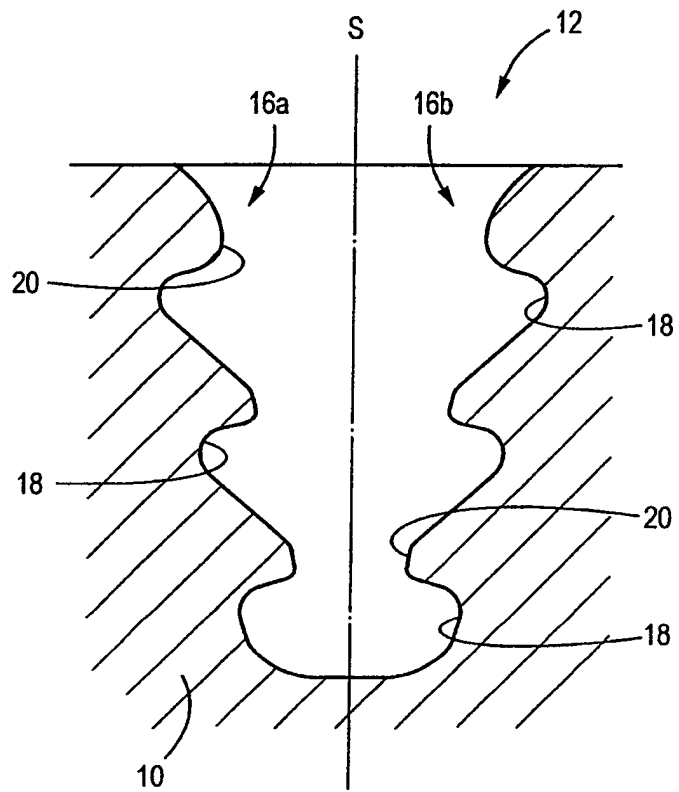


FIG.9

