



(10) **DE 10 2014 105 505 A1** 2015.10.22

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 105 505.5**
(22) Anmeldetag: **17.04.2014**
(43) Offenlegungstag: **22.10.2015**

(51) Int Cl.: **B23P 25/00 (2006.01)**
B29C 37/00 (2006.01)
B23K 26/359 (2014.01)
B23K 28/02 (2006.01)

(71) Anmelder:
TuTech Innovation GmbH, 21079 Hamburg, DE;
Technische Universität Hamburg-Harburg, 21073
Hamburg, DE

(74) Vertreter:
Hauck Patentanwaltpartnerschaft mbB, 20355
Hamburg, DE

(72) Erfinder:
Klingelhöller, Christian, 20255 Hamburg, DE;
Griefahn, Dominik, 20257 Hamburg, DE; Geis,
Tobias, 22765 Hamburg, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

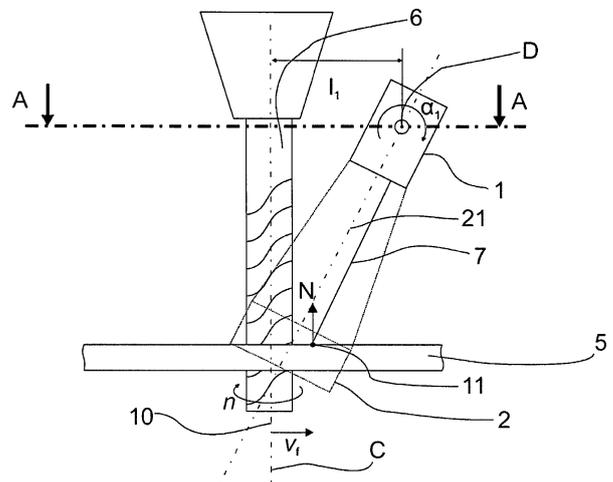
DE	34 15 015	A1
US	2004 / 0 104 207	A1
US	4 469 931	A
US	5 409 376	A
US	5 906 459	A
CA	2 259 700	A1
CA	2 558 898	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum lasergestützten Trennen eines Werkstücks**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum lasergestützten Trennen eines Werkstücks mit einem spanenden Werkzeug, das entlang einer vorbestimmten Kontur relativ zu dem Werkstück verfahren wird, und einem Laserscanner, der innerhalb seines Arbeitsbereichs entlang der Kontur eine Nut in das Werkstück schneidet, wobei die Verfahrenswege des Werkzeugs und des Laserscanners sowie die Positionierung des Laserstrahls durch den Scanner gemeinsam derart gesteuert werden, dass das Werkzeug entlang der von dem Laserstrahl geschnittenen Nut schneidet, wobei bei einem gebogenen Konturabschnitt ein Laserstrahl der Laserscaneinheit innerhalb des Arbeitsbereichs relativ zu dem Werkzeug ausgelenkt wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum lasergestützten Trennen eines Werkstücks.

[0002] Aus CA 2 259 700 A1 ist ein lasergestütztes Schneidwerkzeug bekannt, bei dem Holz oder andere Materialien durch Trennung des Materials entlang einer Schwächungslinie bei Anwendung einer mechanischen Kraft in Verbindung mit Laserlicht erfolgt. Hierzu wird in Lichtleitern Laserlicht durch die Klinge geführt und auf den Bereich vor der Schneide gerichtet.

[0003] Aus US 5,906,459 ist ein laserunterstützter Fräsprozess bekannt, bei dem mit Hilfe des Lasers das zu fräsende Material erwärmt wird.

[0004] Aus US 5,409,376 ist eine Vorrichtung und ein Verfahren zum laserunterstützten Bohren an menschlichen Zähnen bekannt. Mit Hilfe des auf die Bohrstelle gerichteten Laserlichts wird die Zahnstruktur zum Erleichtern des Bohrvorgangs verändert.

[0005] Aus US 4.469,931 ist ein laserunterstütztes Sägegerät bekannt, bei dem eine Laserquelle eingesetzt wird, um vor dem Sägen einen Schnitt oder eine Nut in ein Holzstück zu schneiden. Laser und Säge sind starr zueinander angeordnet, wobei das Sägen einer gebogenen Kontur nicht vorgesehen ist. Dabei würde der Schnitt des Lasers und des Sägeblatts auseinander fallen.

[0006] Aus US 2004/0104207 A1 ist ein lasergestütztes, spanendes Bearbeitungsverfahren bekannt, bei dem das Laserlicht zur Erwärmung und gleichzeitigen Erweichung des Werkstücks eingesetzt wird. Hierdurch kann der Span schneller entfernt und die Temperatur der Werkzeugspitze besser kontrolliert werden.

[0007] Aus CA 2 558 898 ist ein Fräsverfahren bekannt, bei dem ein erster Laser zur Erwärmung der Werkstückoberfläche und ein zweiter Laser zur Erwärmung einer Anfasung an dem Werkstück eingesetzt wird.

[0008] Bei dem Trennen eines Werkstücks, insbesondere entlang einer gebogenen Konturlinie, tritt gerade bei faserverstärkten Kunststoffen und anderen Schichtverbundmaterialien das Problem der Delamination auf. Die Delamination macht eine Nachbearbeitung der Trennkante erforderlich, wodurch Kosten und Bearbeitungszeit für die Trennaufgabe erhöht werden.

[0009] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einem Trennvorgang mit einfachen Mitteln eine möglichst saubere Trennkante zu erzeugen.

[0010] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen aus Anspruch 1 und eine entsprechende Vorrichtung mit den Merkmalen aus Anspruch 5 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen bilden den Gegenstand der Unteransprüche.

[0011] Das erfindungsgemäße Verfahren dient zum lasergestützten Trennen eines Werkstücks mit einem Trennwerkzeug, dass entlang einer vorbestimmten Kontur relativ zu dem Werkstück verfahrbar ist. Das erfindungsgemäße Verfahren betrifft also insbesondere solche Trennvorgänge, bei denen nicht ausschließlich das Werkstück, sondern vor allem das Trennwerkzeug verfahrbar ist. Das Verfahren greift ferner auf einen Laserscanner zurück, der innerhalb eines Arbeitsbereichs seinen Laserstrahl ausrichten und fokussieren kann. Der Laserscanner schneidet entlang der Kontur eine Nut in das Werkstück. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden der Verfahrweg des Werkzeugs und der Laserscanner gemeinsam derart angesteuert, dass das Werkzeug entlang der von dem Laserstrahl geschnittenen Nut schneidet, wobei bei einem gebogenen Konturabschnitt der Laserstrahl des Laserscanners innerhalb dessen Arbeitsbereichs relativ zu dem Werkzeug ausgelenkt wird. Das gezielte Verstellen des Laserstrahls mit Hilfe des Laserscanners erlaubt es, auch bei gebogenen und abgerundeten Konturen eine Nut für das Werkzeug vorzuschneiden und so die Voraussetzungen für eine bessere Schnittkante zu erzeugen. Eine Verstellung des Laserstrahls relativ zu dem Werkzeug ist ein mit geringem Aufwand durchzuführender Verfahrensschritt.

[0012] In einer bevorzugten Ausgestaltung schneidet das Werkzeug innerhalb des Arbeitsbereichs des Laserscanners das Werkstück. Der Arbeitsbereich des Laserscanners ist bevorzugt als ein dreidimensionaler Arbeitsbereich ausgebildet, in dem der Laserstrahl fokussiert auf einen Punkt gerichtet werden kann. Im Rahmen des Verfahrens ist der Arbeitsbereich dann die zweidimensionale Projektion des dreidimensionalen Arbeitsbereichs auf die Oberfläche des Werkstücks.

[0013] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann der Laserscanner mehrfach entlang der zu schneidenden Kontur schneiden, um eine definierte Fasenbreite und/oder Fasengeometrie zu erzeugen. Die Verfahrensgeschwindigkeit des Laserstrahls auf dem Werkstück und das Laserschneiden auf dem Werkstück erfolgen in der Regel mit einer deutlich größeren Geschwindigkeit als das Werkzeug relativ zu dem Werkstück verfahren wird. Insofern besteht die Möglichkeit, durch ein mehrfaches Verfahren des Lasers entlang der zu schneidenden Kontur eine bestimmte Fase und/oder eine bestimmte Fasengeometrie zu erzeugen.

[0014] In einer bevorzugten Weiterführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird auf der vom Laserscanner abgewandten Seite eine in das Werkstück gerichtete Zerspankraftkomponente durch das Werkzeug aufgebracht. Insbesondere bei der Bearbeitung von Schichtverbundmaterialien und faserverstärkten Kunststoffen, hier langfaserverstärkten Kunststoffen, kann eine Delamination entlang der Schnittkante wirkungsvoll verhindert werden. Indem das Werkzeug zudem auf der gegenüberliegenden Seite einen ziehenden Schnitt vornimmt, ist ein Ausfasern der Schnittkante oder eine Delamination des Werkstücks wirkungsvoll auf beiden Seiten verhindert.

[0015] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird ebenfalls durch eine Vorrichtung zum lasergestützten Trennen eines Werkstücks mit einem Trennwerkzeug erreicht. Das Trennwerkzeug ist entlang einer vorbestimmten Kontur relativ zu dem Werkstück verfahrbar. Der Laserstrahl kann innerhalb eines Arbeitsbereichs eines Laserscanners entlang der Kontur eine Nut in das Werkstück schneiden. Eine erfindungsgemäß vorgesehene Steuerung steuert einen Verfahrentrieb für das Trennwerkzeug und für den Laserscanner derart an, dass das Werkzeug entlang der von dem Laserstrahl geschnittenen Nut schneidet, wobei bei einem gebogenen Konturabschnitt der Laserstrahl mittels des Laserscanners innerhalb des Arbeitsbereichs relativ zu dem Werkzeug ausgeleitet wird. Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung erfolgt im Rahmen des Trennvorgangs ein Trennen des Werkstücks auf zwei Arten. Zuerst werden äußere Schichten oder Teile der außenliegenden Schicht mit dem Laserstrahl getrennt und anschließend das übrige Material mit dem Trennwerkzeug. Durch das Verstellen des Laserstrahls in dem Arbeitsbereich des Laserscanners relativ zu dem Trennwerkzeug es möglich ist, auch mit dem vorausseilenden Laserschnitt eine gebogene Kontur zu schneiden.

[0016] In einer bevorzugten Ausgestaltung ist der Laserscanner rotierbar um die Werkzeughalterung montiert und verfährt mit dem Werkzeug. Der Laserscanner verfährt somit relativ zu dem Werkstück in zweifacher Weise, wobei die eine Bewegung gemeinsam mit dem Trennwerkzeug und die andere Bewegung durch Rotation um die Hochachse des Trennwerkzeugs erfolgen. Die Rotation des Laserscanners um die Hochachse des Werkzeugs gestattet eine Verschiebung des Arbeitsbereichs des Laserscanners auf der Werkstückoberfläche, damit der Arbeitsbereich des Laserscanners in Vorschubrichtung vor dem Trennwerkzeug positioniert ist. Die Bewegung des Laserstrahls innerhalb des Arbeitsbereichs des Laserscanners ist die Bewegung, die das Abfahren eines gebogenen Konturabschnitts gestattet mit einer Verfahrensgeschwindigkeit relativ zum Werkstück, die vorzugsweise ungleich der Verfahrensgeschwindigkeit des Werkzeugs relativ zum Werkstück ist. In ei-

ner bevorzugten Ausgestaltung ist der Laserscanner um eine weitere Achse neigbar, die nicht parallel zu Hochachse des Werkzeugs ist. Das Neigen des Laserscanners erlaubt es, den Arbeitsbereich des Scanners auf der Werkstückoberfläche zu verschieben und einen Winkel zwischen Hauptachse des Laserscanners und Senkrechten auf der Werkstückoberfläche einzustellen.

[0017] In einer bevorzugten Ausgestaltung ist der Laserstrahl durch Rotation des Scanners um die Werkzeughochachse und Neigung um eine dazu nicht parallele Achse in einem Lasereinfallwinkel zur Werkstückoberfläche geneigt. Diese Rotation und Neigung der Laserscaneinheit gestattet es, einen definierten Fasenwinkel an dem Werkstück zu schneiden. Der Fasenwinkel entspricht der Projektion des Raumwinkels des Lasereinfalls auf eine Ebene orthogonal zur Vorschubrichtung des Trennwerkzeugs.

[0018] In einer weiter bevorzugten Ausgestaltung ist eine zweite Laserscaneinheit vorgesehen, deren Arbeitsbereich auf die geschnittene Kante auf der von der ersten Laserscaneinheit abgewandten Seite des Werkstücks gerichtet ist. Die zweite Laserscaneinheit erlaubt es, entlang der Schnittkante auch auf der der Laserscaneinheit abgewandten Seite des Werkstücks einen Grat zu entfernen und/oder eine Anfasung zu schneiden.

[0019] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

[0020] Fig. 1 ein spanendes Werkzeug bei dem Trennvorgang eines ebenen Werkstücks mit einem vorausseilenden Laserschnitt,

[0021] Fig. 2 eine Ansicht entlang der Linie A-A aus Fig. 1,

[0022] Fig. 3 eine Draufsicht auf das spanende Werkzeug aus Fig. 1,

[0023] Fig. 4 zeigt eine zweite Ausführungsform mit zwei Laserscannern in einer Ansicht von der Seite,

[0024] Fig. 5 zeigt einen Schnitt entlang der Linie C-C aus Fig. 4,

[0025] Fig. 6 zeigt die einzelnen Arbeitsschritte A bis G bei einer beidseitig angefasten Schnittkante,

[0026] Fig. 7a–b zwei Varianten einer Fase an der Werkstückkante,

[0027] Fig. 8 eine schematische Ansicht einer Wärmeeinflusszone und

[0028] Fig. 9 eine dritte Ausführungsform mit einem scheibenförmigen, spanenden Werkzeug.

[0029] Fig. 1 zeigt ein spanendes Werkzeug **6**, das mit der Drehrichtung und Drehzahl n um seine Hochachse **10** dreht und dabei in der Verfahrrichtung mit Verfahrgeschwindigkeit v_f verfährt. Ein Laserscanner **1** ist in einem Abstand l_1 zu der Hochachse **10** des Werkzeugs angeordnet und um eine quer zur Hochachse stehende Achse **D**, die senkrecht zur der Werkstücknormalen verläuft, ausgerichtet. Der Laserscanner **1** ist um den Winkel α_1 um die D-Achse geneigt. Der Laserscanner **1** erzeugt einen Fokuspunkt **11** auf der Oberseite des Werkstücks **5**. Der Laserscanner **1** besitzt einen dreidimensionalen Arbeitsbereich **2** innerhalb dessen der Laserstrahl **7** fokussiert zur Erzeugung eines Fokuspunkts **11** bewegt werden kann.

[0030] In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Hauptachse **21** des Laserscanners durch ein Neigen um den Winkel α_1 so ausgerichtet, dass sie die Hochachse **10** des Werkzeugs auf der Unterseite des Werkstücks **5** schneidet.

[0031] Fig. 2 zeigt den Aufbau aus Fig. 1 entlang der Schnittansicht A-A. Deutlich zu erkennen ist in Fig. 2, dass das spanende Werkzeug **6** entlang einer gebogenen Konturlinie **22** läuft, die durch den Fokuspunkt **11** des Laserscanners **1** vorgeschritten ist. Ebenfalls deutlich zu erkennen in Fig. 2 ist, dass der Laserstrahl in dem ovalen Arbeitsbereich **2** des Laserscanners auf dem Werkstück außermittig ausgelenkt ist.

[0032] Das spanende Werkzeug kann auf beliebigen Bearbeitungskonturen **8** verfahren werden. Auch eine Kurvenfahrt und spitze Winkel entlang dieser Bearbeitungskontur **8** sind möglich. Die beschriebene Rotation des Laserscanners **1** um die Hochachse **10** und die D-Achse dienen dazu, Bereiche vor dem spanenden Werkstück auf der Werkstückoberfläche mit dem Fokuspunkt **11** zu erreichen, um eine Bearbeitung durch den Laserstrahl vor der spanenden Bearbeitung erzielen zu können.

[0033] Fig. 3 zeigt den Schnitt aus Fig. 2, mit einer um den Winkel β_1 rotierten Laserscaneinheit. In einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Laserscaneinheit **1** rotierbar um die Hochachse **10** des Werkzeugs. Dies erlaubt es, Arbeitsbereich **2** des Laserscanners **1** zu verschieben, um die gewünschte Kante zu schneiden.

[0034] Fig. 4 zeigt eine Trennvorrichtung mit einem zweiten Laserscanner **12**, dessen Fokuspunkt **14** auf der abgewandten Seite des Werkstücks **13** liegt. Ebenso wie der erste Laserscanner **1** um den Winkel α_1 geneigt ist, ist auch der zweite Laserscanner **12** um einen Winkel α_2 geneigt. Wie in der Schnittansicht entlang der Linie C-C aus Fig. 5 zu erkennen, ist die zweite Laserscaneinheit **12** um einen Winkel β_2 gegenüber der entgegengesetzten Vorschubrichtung des Trennwerkzeugs gedreht. Auch der Ab-

stand l_2 der zweiten Laserscaneinheit **12** gegenüber dem Werkstück kann von dem Abstand l_1 verschieden sein. Mit der Verwendung eines ersten und eines zweiten Laserscanners kann die Werkstückkante auf beiden Seiten beispielsweise gefast werden.

[0035] Fig. 6 zeigt die Bearbeitungsschritte in ihrer Reihenfolge A bis G, wobei jeweils der gleiche Werkstückquerschnitt zu unterschiedlichen Zeitpunkten dargestellt ist, während sich der Trennvorgang vollzieht. Fig. 6 zeigt eine optionale Vermessung des Differenzabstandes Δz zwischen einer bekannten Sensorposition und dem Werkstück, beispielsweise über eine Lasertriangulation **24**. Fig. 6B zeigt den einfallenden Laser der ersten Laserscaneinheit, der unter einem Winkel γ_1 gegenüber der normalen Werkstückfläche **15** auf das Werkstück fällt und eine Furche oder Nut **16** oberflächlich in das Werkstück schneidet (vgl. Fig. 6C).

[0036] Fig. 6D zeigt das spanende Werkzeug **6**, welches sich relativ zum Werkstück bewegt und das in Vorschubrichtung vor dem Werkzeug liegendes Material zerspannt. Die Furche **16** ist auf der Werkstückoberfläche um den vertikalen Abstand F_1 gegenüber der späteren Bauteilschnittfläche **17** versetzt. Nach der Zerspannung des betrachteten Querschnitts entsteht am Bauteil auf der Oberseite eine Fase zwischen der Bauteiloberfläche und der Bauteilschnittfläche mit der Länge F_1 .

[0037] Unmittelbar hinter dem spanenden Werkzeug ist ein zweiter Laserstrahl geführt, der in einem projizierten Winkel γ_2 zur Werkstückoberflächennormalen auf die Bauteilunterkante gelenkt ist. Je nach Größe des Winkels γ_2 entsteht an die Werkstückunterseite an die Schnittfläche **17** angrenzend eine zusätzlich Fase der entsprechenden Breite F_2 .

[0038] Fig. 7 zeigt, nunmehr vergrößert, mit den Varianten a und b eine Fase an der Werkstückkante, die mit dem Laserstrahl **7** eingebracht wird. Bei einem von 0 verschiedenen Neigungswinkel γ_1 kann auch die Fase mit einem entsprechenden Neigungswinkel γ_1 hergestellt werden. Ebenfalls lassen sich gewünschte Geometrien, wie in Fig. 7b gezeigt, durch mehrmaliges Überfahren des Werkstückmaterials mit dem Laserlicht erzielen. Fig. 7b zeigt sechs Schnitte mit dem Laserstrahl **7** bei einer Führung des Laserstrahls mit einem projizierten Winkel γ_1 von 0° . Je nach verwendetem Material können hier unterschiedliche Formen und Konturen in die Kante geschnitten werden.

[0039] Fig. 8 zeigt schematisch die Wärmeeinflusszone **9** des Laserstrahls **7** auf das Werkstück **4**. Der rechte schraffierte Bereich **19** dieser Wärmeeinflusszone wird in dem nicht weiter verwendeten Material des Werkstücks eingebracht und bei der Bearbeitung zerspannt.

[0040] Fig. 9 zeigt einen Aufbau wie aus Fig. 1, jedoch mit einem scheibenförmigen und kurvenschneidfähigem, spanenden Werkzeug, wie beispielsweise einem Sägeblatt oder einer Trennscheibe. Auch hier ist der Laserscanner **1** um einen Winkel α_1 geneigt, um möglichst werkzeugnah zu schneiden. Auch das seitliche Verschwenken der Laserscaneinheit **1** ist durch den Winkel β_1 angedeutet, um eine vorlaufende Führung bei gekrümmten Konturen zu ermöglichen

[0041] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt über den ersten Laserstrahl ein Trennen der äußersten Materiallagen mittels Laserstrahl, so dass das nachfolgende spanende Werkzeug zur delaminations- und gradfreien Kantenerzeugung eingesetzt werden kann.

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

- CA 2259700 A1 [0002]
- US 5906459 [0003]
- US 5409376 [0004]
- US 4469931 [0005]
- US 2004/0104207 A1 [0006]
- CA 2558898 [0007]

Patentansprüche

1. Verfahren zum lasergestützten Trennen eines Werkstücks mit einem spanenden Werkzeug, das entlang einer vorbestimmten Kontur relativ zu dem Werkstück verfahren wird, und einem Laserscanner, der innerhalb seines Arbeitsbereichs entlang der Kontur eine Nut in das Werkstück schneidet, wobei die Verfahrwege des Werkzeugs und des Laserscanners sowie die Positionierung des Laserstrahls durch den Scanner gemeinsam derart gesteuert werden, dass das Werkzeug entlang der von dem Laserstrahl geschnittenen Nut schneidet, wobei bei einem gebogenen Konturabschnitt ein Laserstrahl der Laserscaneinheit innerhalb des Arbeitsbereichs relativ zu dem Werkzeug ausgelenkt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkzeug innerhalb des Arbeitsbereichs des Laserscanners das Werkstück schneidet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserscanner mehrfach entlang der zu schneidenden Kontur entlang schneidet, um eine definierte Fasenbreite und/oder Fasengeometrie zu schneiden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf der vom Laserscanner abgewandten Seite eine in das Werkstück gerichtete Zerspankraftkomponente durch das Trennwerkzeug erfolgt, indem ein schaffförmiges Werkzeug mit einer zur Rückseite gerichteten Schneidenneigung oder ein scheibenförmiges Werkzeug mit einer zur Rückseite gerichteten Schnittbewegung verwendet wird.

5. Vorrichtung zum lasergestützten Trennen eines Werkstücks mit einem spanenden Werkzeug, das entlang einer vorbestimmten Kontur relativ zu dem Werkstück verfahrbar ist, mit einem Laserscanner, der mit einem Laserstrahl innerhalb eines Arbeitsbereichs entlang der Kontur eine Nut in das Werkstück vorlaufend schneiden kann und mit einer Steuerung, die einen Verfahrentrieb für das Werkzeug sowie den Laserstrahl des Laserscanners derart steuert, dass das Werkzeug entlang der von dem Laserscanner geschnittenen Nut schneidet, wobei bei einem gebogenen Konturabschnitt der Laserstrahl des Laserscanners innerhalb eines Arbeitsbereichs relativ zu dem Werkzeug ausgelenkt wird.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserscanner um eine Werkzeughochachse herum rotierbar montiert ist und mit dem Werkzeug verfährt.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserscanner um einen

nicht parallel zur Hochachse des Trennwerkzeugs stehenden Achse neigbar ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hauptachse des Laserscanners in einem Lasereinfallwinkel zur Werkstückoberflächennormalen geneigt ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein zweiter Laserscanner vorgesehen ist, dessen Arbeitsbereich auf eine Kante an der von dem ersten Laserscanner abgewandt liegenden Seite des Werkstücks gerichtet ist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

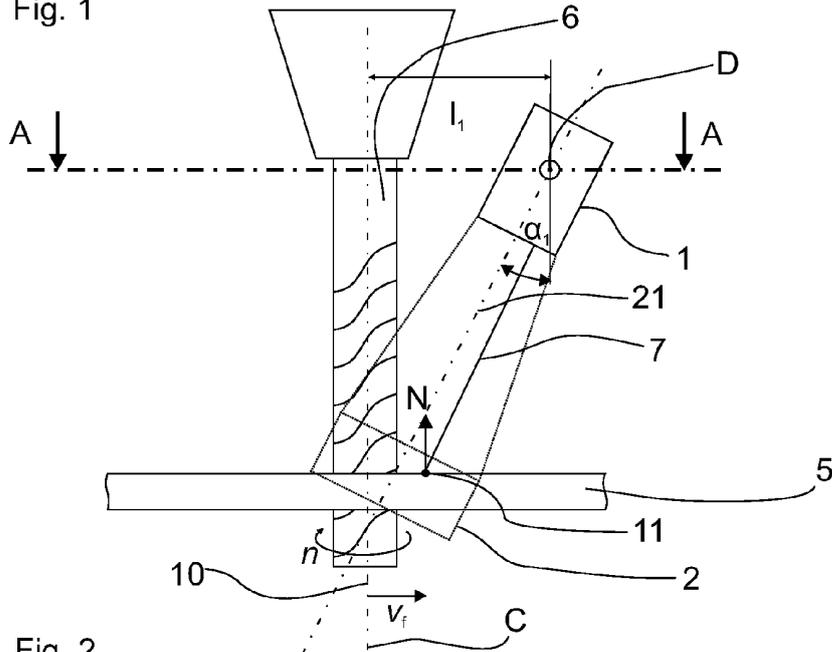


Fig. 2

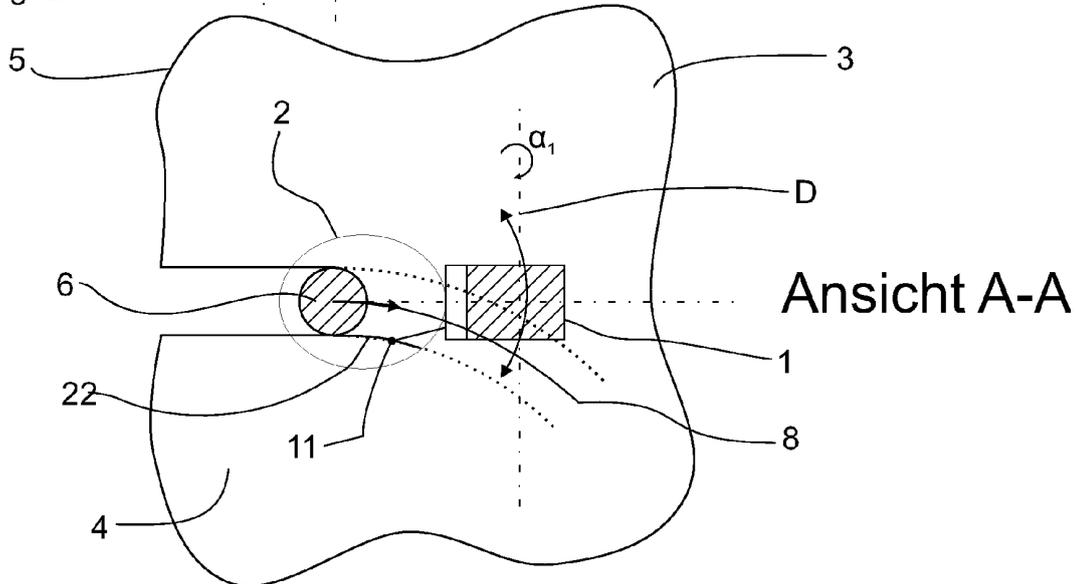
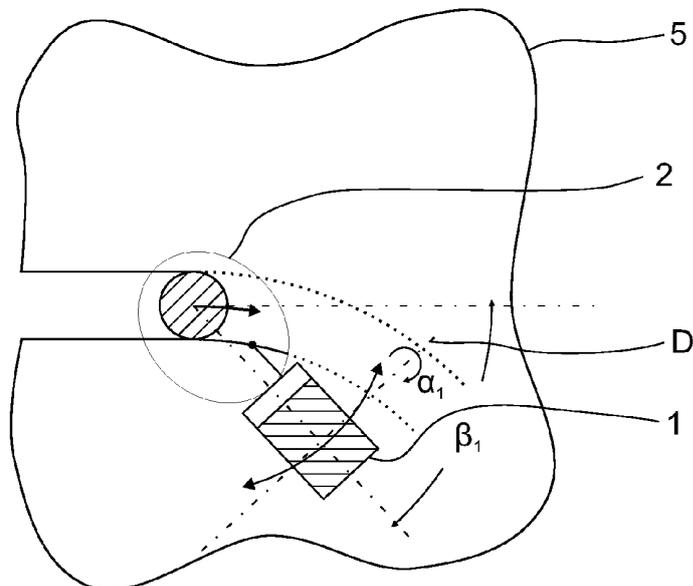


Fig. 3



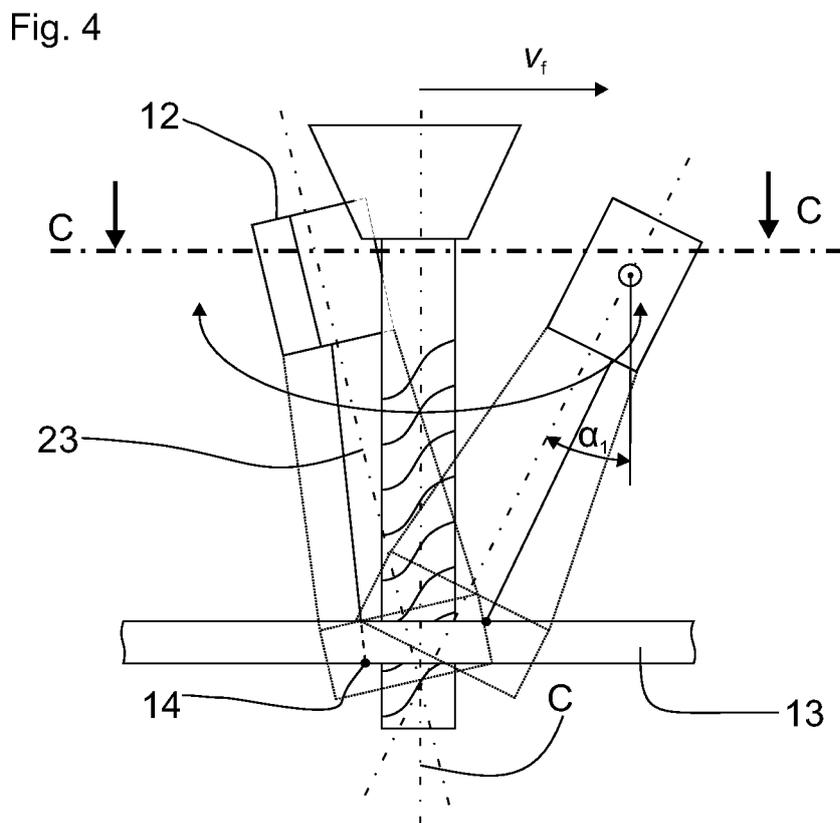
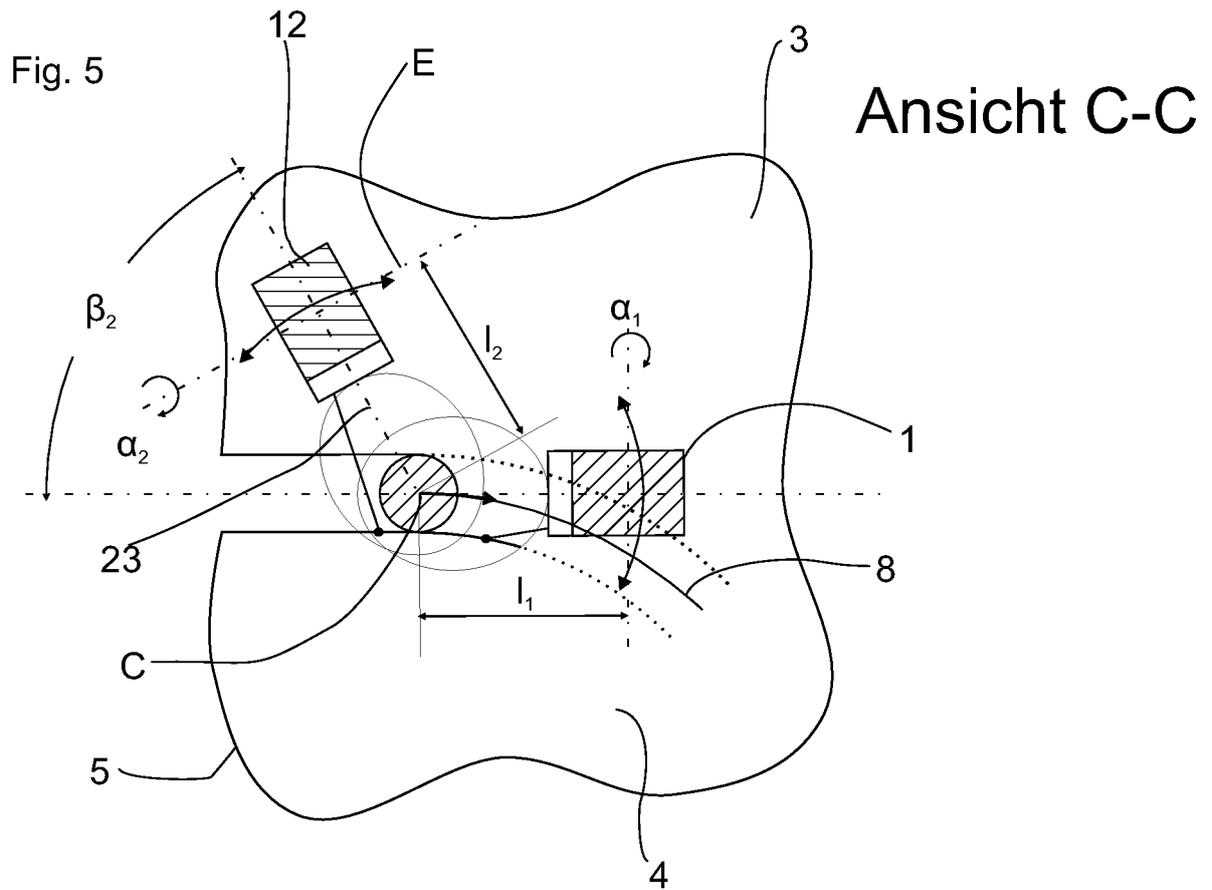
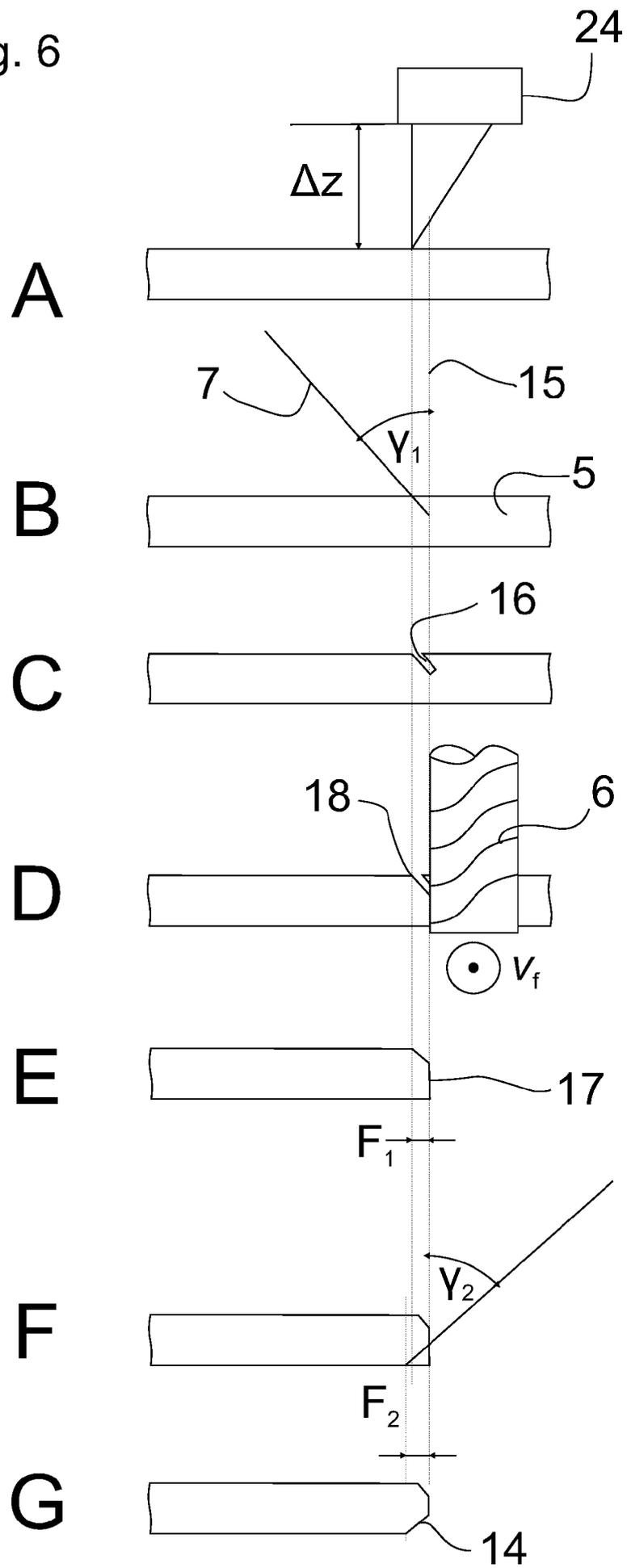


Fig. 6



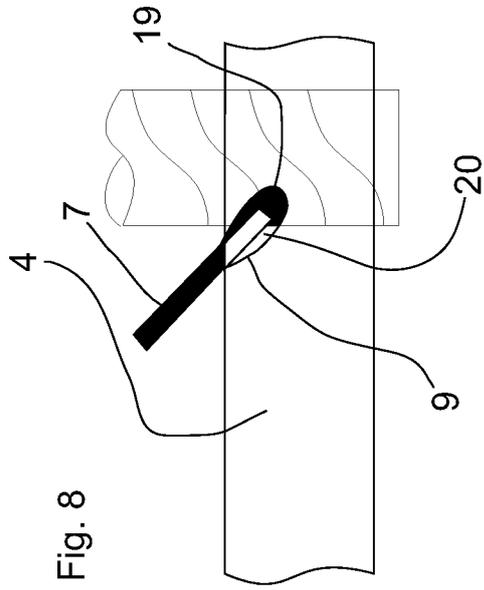


Fig. 8

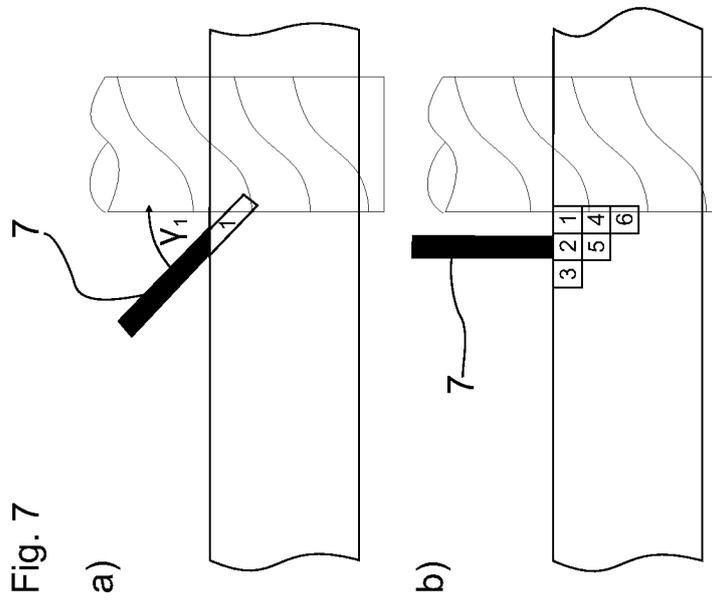


Fig. 7

