

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
26. September 2019 (26.09.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2019/180124 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/057059

(22) Internationales Anmeldedatum:  
21. März 2019 (21.03.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2018 106 639.2  
21. März 2018 (21.03.2018) DE

(71) Anmelder: **MESSER CUTTING SYSTEMS GMBH**  
[DE/DE]; Otto-Hahn-Strasse 2-4, 64823 Gross-Umstadt  
(DE).

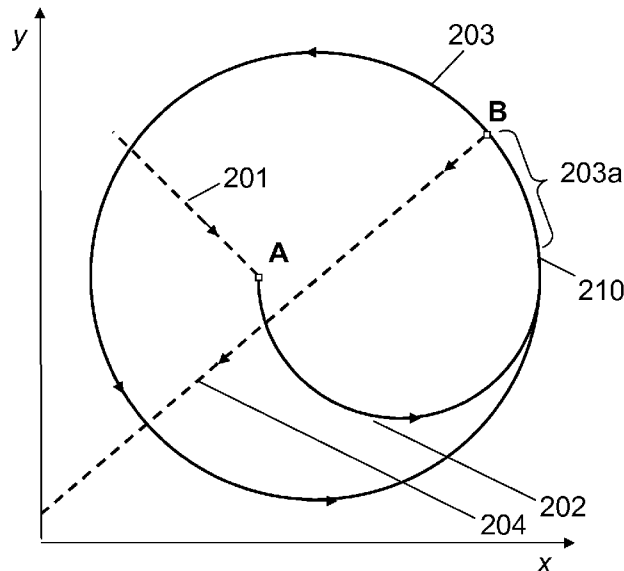
(72) Erfinder: **GÖLLER, Ingo**; In der Pfütze 5, 64846 Groß-Zimmern (DE). **ROHN, Bernd**; Schäfergasse 12, 63477 Maintal (DE).

(74) Anwalt: **STAUDT, Armin**; Sandeldamm 24a, 63450 Hannau (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: METHOD FOR THE MECHANICAL THERMAL CUTTING OF A WORKPIECE USING A PLASMA CUTTING TORCH

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM MASCHINELLEN THERMISCHEN SCHNEIDEN EINES WERKSTÜCKS UNTER EINSATZ EINES PLASMASCHNEIDBRENNERS



**Fig. 2**

(57) Abstract: Known methods for the mechanical thermal cutting of a workpiece using a plasma cutting torch comprise the following steps: a) igniting a plasma jet, b) producing an initial cut into a metallic, strip-like or flat semi-finished product by means of the plasma jet, and c) cutting a contour into the semi-finished product by guiding the plasma jet along a predefined contour line at a certain cutting speed and in the direction of cutting. The aim of the invention is to improve said mechanical thermal cutting method such that it allows a high quality and accuracy of the cut. For this purpose, the plasma jet is guided in a direction counter to the direction of cutting along at least one portion of the cut contour and at a return speed once the contour has been cut according to step c).



**WO 2019/180124 A2**

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

---

**(57) Zusammenfassung:** Bekannte Verfahren zum maschinellen thermischen Schneiden eines Werkstücks unter Einsatz eines Plasmaschneidbrenners umfassen die Verfahrensschritte: a) Zünden eines Plasmastrahls, b) Erzeugen eines Anschnitts in ein metallisches, bahn- oder plattenförmiges Halbzeug mit dem Plasmastrahl und c) Schneiden einer Kontur in das Halbzeug, indem der Plasmastrahl entlang einer vorgegebenen Konturlinie mit einer Schneidgeschwindigkeit in Schneidrichtung geführt wird. Um hiervon ausgehend ein Verfahren zum maschinellen thermischen Schneiden anzugeben, das eine hohe Schnittgüte und eine hohe Abformgenauigkeit ermöglicht, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass nach dem Schneiden der Kontur gemäß Verfahrensschritt c) der Plasmastrahl in Gegenrichtung zur Schneidrichtung entlang mindestens eines Abschnitts der geschnittenen Kontur mit einer Rückführgeschwindigkeit geführt wird.

## **Verfahren zum maschinellen thermischen Schneiden eines Werkstücks unter Einsatz eines Plasmaschneidbrenners**

### Technischer Hintergrund

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum maschinellen thermischen  
5 Schneiden eines Werkstücks unter Einsatz eines Plasmaschneidbrenners, umfassend die Verfahrensschritte:

- a) Zünden eines Plasmastrahls,
- b) Erzeugen eines Anschnitts in ein metallisches, bahn- oder plattenförmiges Halbzeug mit dem Plasmastrahl,
- 10 c) Schneiden einer Kontur in das Halbzeug, indem der Plasmastrahl entlang einer vorgegebenen Konturlinie mit einer Schneidgeschwindigkeit in Schneidrichtung geführt wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist ein maschinelles, thermisches Konturschneidverfahren. Es ist insbesondere zum automatisierten Schneiden einer Kontur  
15 in ein metallisches Halbzeug einsetzbar, vorzugsweise zum Schneiden einer Kontur in ein Halbzeug aus hochlegiertem Stahl (Edelstahl) oder aus Aluminium.

Unter dem Begriff Kontur im Sinne der Erfindung wird ein in sich geschlossener Umriss verstanden. Die Kontur kann als Innenkontur oder als Außenkontur ausgebildet sein. Eine Außenkontur beschreibt einen Umriss der äußeren geometrischen Form des ausgeschnittenen Werkstücks (im Folgenden auch als „Bauteil“  
20 bezeichnet). Eine Innenkontur ist eine geometrische Form im „Inneren“ eines Werkstücks, die von Werkstück-Material begrenzt und mindestens an einer Seite für ein Bearbeitungswerkzeug zugänglich ist, beispielsweise der Umriss einer Innenbohrung.

25

### Stand der Technik

Für das thermische Schneiden von Werkstücken aus Metall werden häufig Schmelzschneidverfahren eingesetzt. Bei diesen Verfahren erfolgt ein so hoher

Energieeintrag in das Halbzeug, dass das Halbzeug im Schnittbereich vollständig aufgeschmolzen und dadurch geschnitten wird. Die hierfür notwendige Energie wird beispielsweise mittels eines Plasmastrahls bereitgestellt. Ein Plasmastrahl ist ein ionisierter Gasstrahl, der mit einem Lichtbogen erzeugt ist. In der Metallbear-

5 beitung, insbesondere bei der Verarbeitung von Blechen, wird in der Regel mit übertragenem Lichtbogen gearbeitet, das heißt, dass das Halbzeug die Anode und die Elektrode des Brenners die Kathode für die Erzeugung des Lichtbogens bildet. Ein möglichst hoher Energieeintrag in das zu schneidende Halbzeug wird ermöglicht, wenn der Plasmastrahl durch eine Düse konzentriert und in den Be-

10 reich der zukünftigen Schnittfuge geführt wird.

Bei der Herstellung von Konturen mit komplizierten Geometrien ist es häufig schwierig, diese mit hoher Abformgenauigkeit herzustellen. Das Halbzeug, in das eine Werkstück-Kontur geschnitten werden soll, ist grundsätzlich in Gutmaterial und Schlechtmaterial zu unterscheiden. Als Gutmaterial wird der Teil des Halb-

15 zeugs bezeichnet, der das spätere geschnittene Werkstück (Bauteil) bildet. Der Begriff Schlechtmaterial umfasst den übrigen Teil des Halbzeug, also den Teil, der nach dem Schneiden verworfen wird, einschließlich des Materials der Schnittfuge. Zur Verbesserung der Abformgenauigkeit und der Qualität eines Schnittes ist es bekannt, den Startpunkt des Schnitts ins Schlechtmaterial zu legen und zu-

20 nächst einen Anschnitt (im Folgenden auch als „Anschnittfahne“ bezeichnet) in das Schlechtmaterial zu schneiden, an die sich der eigentliche Kontur-Schnitt unmittelbar anschließt. Dadurch treten insbesondere die kurz nach dem Zünden des Plasmastrahls und dem Start des Schneidvorgangs zu beobachtende Instabilität der Plasmastrahlgeometrie sowie resultierende Schnittungenauigkeiten vor

25 allem beim Schneiden des Anschnitts auf, so dass erst, wenn sich das Schneidverhalten des Plasmastrahls stabilisiert hat, mit dem Kontur-Schnitt begonnen wird.

Ein Plasma-Konturschneidverfahren der eingangs genannten Gattung ist beispielsweise aus der WO 2015/121745 A1 bekannt. Darin wird zum Schneiden

30 eines Loches vorgeschlagen, den Startpunkt des Schneidvorgangs in das Schlechtmaterials zu verlegen, von dort einen Anschnitt zu schneiden, die in den

eigentlichen Konturschnitt mündet. Nach Beendigung des Konturschnitts wird ein Ausschnitt (im Folgenden auch als „Ausschnittfahne“ bezeichnet) in das Schlechtmaterial geschnitten.

Der Plasmastrahl treibt aufgeschmolzenes Halbzeug-Material aus der Schnittfuge  
5 heraus. Erfolgt das Austreiben nicht vollständig, kann durch Ablagerung von Halbzeug-Material im Bereich der Schnittfuge an der Unterseite die Schnittqualität beeinträchtigt werden.

Weiterhin erzeugen Plasmaschneidverfahren regelmäßig Schnittfugen mit einem V-förmigen Querschnitt. Der Grund hierfür ist die schräg zulaufende Geometrie  
10 des Plasmastrahls, durch die das Halbzeug schräg zulaufend aufgeschmolzen und angeschnitten wird. Daher laufen die beim Schneiden von Werkstücken mit einem Plasmastrahl erhaltenen Schnittflächen bezogen auf die Werkstückoberfläche leicht schräg aufeinander zu. Dabei schließen die Schnittflächen mit der Werkstoffoberfläche einen Schnitt-Winkel  $\alpha < 90^\circ$  ein. Insbesondere bei filigranen  
15 Konturen können angeschrägte Schnittflächen den geschnittenen Konturdurchmesser und damit die Konturtreue beeinträchtigen.

Darüber hinaus wird zum Beispiel beim Schneiden hochlegierter Stähle (Edelstahl) häufig das Problem beobachtet, dass der Lichtbogen am Ende der Kontur im Bereich der Kreuzung von Anschnitt- und Ausschnitt-Fahne „springt“, so dass  
20 Mikrostege stehen bleiben können. Ein Beispiel für einen derartigen Fehlschnitt zeigt Figur 4.

Ferner kann es im Bereich der Schnittflächen zu Schnittflächenverletzungen oder zur Gratbildung kommen. Ein Beispiel hierfür zeigt Figur 3, in der ein geschnittenes Werkstück mit einer Schnittflächenverletzung gezeigt ist, wie sie häufig im  
25 Anschnitts- und Ausschnittsbereich beobachtet wird.

#### Technische Aufgabe

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum maschinellen thermischen Schneiden eines Werkstücks unter Einsatz eines Plasmaschneid-

brenners anzugeben, das eine hohe Schnittgüte und eine hohe Abformgenauigkeit auch bei filigranen Konturen und insbesondere bei filigranen Innenkonturen ermöglicht.

### Allgemeine Beschreibung der Erfindung

5 Diese Aufgabe wird ausgehend von einem Verfahren der eingangs genannten Gattung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass nach dem Schneiden der Kontur gemäß Verfahrensschritt c) der Plasmastrahl in Gegenrichtung zur Schneidrichtung entlang mindestens eines Abschnitts der geschnittenen Kontur mit einer Rückführgeschwindigkeit geführt wird.

10 Dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt die Erkenntnis zugrunde, dass ein wesentlicher Teil der auftretenden Schnittverletzungen darauf zurückzuführen sind, dass der Kontur-Schnitt in einer einzigen Schneidrichtung erfolgt.

Der Grund hierfür ist unter anderem, dass beim Plasmaschneiden der Plasmastrahl der Schneidbewegung nachläuft; dieses Phänomen wird auch als Plasma-  
15 nachlauf bezeichnet. Der Plasmanachlauf hat Einfluss auf die Qualität der Schnittfläche, den Schnitt-Winkel und den Energieeintrag in das Halbzeug. Der eigentliche Schneidvorgang findet im Bereich des Plasmanachlaufs statt. Steigt beispielsweise die Schneidgeschwindigkeit, vergrößert sich auch der Plasmanachlauf und damit verkleinert sich auch der Schnitt-Winkel  $\alpha$  mit dem das Werkstück  
20 geschnitten wird. Dies trägt zu einer Verschlechterung der Konturtreue bei.

Das Ausmaß des Plasmanachlaufs hängt dabei von verschiedenen Parametern ab, beispielsweise von der Schneidgeschwindigkeit, der Stromstärke, der Halbzeugart oder der Halbzeugdicke; er wirkt sich insbesondere bei kleinen geometrischen Konturformen stärker auf die Schnittqualität aus als an einem geraden Abschnitt einer Kontur oder beim Schneiden von größeren Konturformen.  
25

Erfindungsgemäß ist daher vorgesehen, die Schnittgüte dadurch zu verbessern, dass die Schneidrichtung nach einem erfolgten ersten Schnitt umgekehrt und der Plasmastrahl entlang mindestens eines Abschnitts der geschnittenen Kontur zu-

rückgeführt wird. Bei der Umkehr der Schneidrichtung ändert sich die Lage des Plasmanachlaufs bezogen auf das Werkstück, da diese beim Rückführen des Plasmastrahls ebenfalls umgekehrt wird.

Dadurch, dass die Richtungsänderung des Plasmastrahls erst nach dem vollständigen Schneiden der Kontur vorgesehen ist, muss beim Rückführen des Plasmastrahls in Gegenrichtung zur Schneidrichtung keine frische Kontur mehr geschnitten werden, die zu den oben erläuterten Schnittverletzungen führen kann. Außerdem steht die gesamte Energie des Plasmastrahls für ein Nacharbeiten der bereits erzeugten Kontur zur Verfügung. Dabei liegt der Plasmastrahl, sofern mit einem übertragenen Lichtbogen gearbeitet wird, an den Schnittflächen, insbesondere an deren Vorsprüngen an, beispielsweise an den während des Konturschnitts gebildeten Graten, Nasen oder nicht geschnittenen Konturrückständen. Die zur Verfügung stehende Energie des Plasmastrahls kann daher dazu genutzt werden, verbliebene Stege zu entfernen, die Grat- und Nasenbildung zu minimieren und die bereits vorhandenen Schnittflächen zu begradigen und von nicht geschnittenen Konturrückständen zu befreien. Hierdurch wird unmittelbar nach dem Schneidvorgang eine effektive Kontur-Nachbearbeitung ermöglicht.

Die Schneidgeschwindigkeit beim Schneiden der Anschnitt- oder Ausschnitt-Fahne variiert zwangsläufig. Beim Schneiden der Kontur hat es sich hingegen bewährt, eine möglichst konstante Schneidgeschwindigkeit einzustellen. Vorzugsweise liegt die Schneidgeschwindigkeit in einem Bereich von 1 m/min bis 3 m/min; insbesondere im Bereich von 100 bis 2500 mm/min beim Schneiden von Edelstahlplatten mit Dicken von 5 bis 100 mm/min, im Bereich von 400 bis 3000 mm/min beim Schneiden von Aluminiumplatten mit Dicken von 5 bis 100 mm/min, und im Bereich von 700 bis 1600 mm/min beim Schneiden von Baustahlplatten mit Dicken von 30 bis 50 mm. Hierdurch werden ein möglichst gleichmäßiger Schnitt und ein homogenes Schnittbild ermöglicht.

Ebenso hat sich als günstig erwiesen, wenn das Führen des Plasmastrahls in Gegenrichtung zur Schneidrichtung mit konstanter Rückführgeschwindigkeit erfolgt.

Die Rückführgeschwindigkeit hat wesentlichen Einfluss auf die in Schnittflächen eingebrachte Energiemenge. Eine niedrige Rückführgeschwindigkeit geht mit einem hohen Energieeintrag in die Schnittflächen einher, umgekehrt führt eine hohe Rückführgeschwindigkeit zu einem niedrigeren Energieeintrag in die Schnittflächen. Wird eine zu hohe Energiemenge in die Schnittflächen eingebracht, wird die Schnittfläche hohen thermischen Beanspruchungen ausgesetzt, die mit Veränderungen der Materialeigenschaften des Halbzeugs einhergehen können. Ist die in die Schnittflächen eingebrachte Energiemenge zu gering, werden verbliebene Stege, Nasen oder Schrägen nicht hinreichend entfernt. Es hat daher sich als einerseits als günstig erwiesen, wenn die Rückführgeschwindigkeit im Bereich von 150% bis 400% der Schneidgeschwindigkeit liegt. Vorzugsweise liegt die Rückführgeschwindigkeit im Bereich von 2,5 m/min bis 20 m/min. Alternativ dazu wird eine Rückführgeschwindigkeit von weniger als 150% und insbesondere im Bereich von 30% bis 100 % der Schneidgeschwindigkeit beim Konturschneiden dicker Halbzeuge (mit Dicken von mehr als 50% der für Edelstahl, Baustahl und Aluminium oben genannten Obergrenzen der jeweiligen Plattenstärken) bevorzugt. Gegebenenfalls liegt die Rückführgeschwindigkeit beispielsweise im Bereich von 0,3 bis 3 m/min. Die Rückführgeschwindigkeit kann auch von dieser niedrigen Geschwindigkeit beginnen kontinuierlich steigend bis auf 400% der Schneidgeschwindigkeit erhöht werden.

Insbesondere beim Schneiden großer Konturen erscheint es nicht zweckmäßig den Plasmastrahl der gesamten Kontur vollständig nachzuführen. Hiermit wäre ein hoher Energie- und Zeitverbrauch verbunden. Es hat sich nämlich gezeigt, dass Schnittverletzungen gehäuft im Anschnitts- beziehungsweise Ausschnittsbereich der Kontur auftreten. Ein Grund hierfür dürfte sein, dass Anschnitts- und Ausschnittsbereich häufig in einem gewissen Bereich überlappen, so dass dieser Überlappungsbereich höheren thermischen Beanspruchungen ausgesetzt ist. Auch die in diesen Bereich eingebrachte Energiemenge ist verglichen mit den übrigen Konturabschnitten meist höher. Eine Nachbearbeitung des Konturschnitts in mindestens dem Überlappungsbereich von Anschnitts- und Ausschnittsfahne ist daher besonders vorteilhaft.

Bei der Führung des Plasmastrahls in Gegenrichtung zur Schneidrichtung kann eine große Wärmemenge bereitgestellt werden, die auf die zuvor erzeugten Kontur-Schnittflächen einwirken kann. Hierdurch wird eine gute Konturbearbeitung ermöglicht. Eventuell stehengebliebene Stege, Nasen oder Schrägen können  
5 beim Führen des Plasmastrahls in Gegenrichtung geschnitten werden. Darüber hinaus trägt auch der Temperatureintrag in die bestehenden Schnittflächen zu deren Begradigung und zu einem Ausgleich des Schnittwinkels bei.

Andererseits kann es bei kleinen Konturen durchaus sinnvoll sein, den Plasmastrahl entlang der gesamten Kontur in Gegenrichtung zur Schneidrichtung zu füh-  
10 ren. Bei einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist daher vorgesehen, dass nach dem Schneiden der Kontur gemäß Verfahrensschritt c) der Plasmastrahl in Gegenrichtung zur Schneidrichtung vollständig entlang der geschnittenen Kontur geführt wird. Kleine Konturen haben beispielsweise einen Durchmesser, der der Dicke des zu schneidenden Halbzeugs entspricht  
15 (1:1). Bei größeren Dicken (mehr als 50% der für Edelstahl, Baustahl und Aluminium oben genannten Obergrenzen der jeweiligen Plattenstärken) sind auch Konturen mit noch kleineren Durchmessern als 1:1 realisierbar.

Insbesondere bei Konturen mit kleiner Umfangslänge kommen Abweichungen in der Kontur besonders stark zum Tragen. Mit dem nochmaligen Führen des Plasmastrahls in Gegenrichtung zur Schneidrichtung werden verbleibende Stege wirk-  
20 sam entfernt und Schrägen und Grate begradigt. Dadurch, dass der Plasmastrahl in Gegenrichtung zur Schneidrichtung vollständig entlang der geschnittenen Kontur geführt wird, wird eine Kontur besonders hoher Schnittgüte erzeugt.

Es hat sich bewährt, wenn das Schneiden des Anschnitts mit einer Anschnitt-  
25 Geschwindigkeit erfolgt, wobei die Anschnitt-Geschwindigkeit beim Schneiden des Anschnitts solange erhöht wird bis die Schneidgeschwindigkeit erreicht wird.

Der im Schlechtmaterial liegende Anschnitt soll die Funktion erfüllen, den Plasmaschneidbrenner vor dem Auftreffen auf die Konturlinie auf die vorgegebene Schneidgeschwindigkeit zu bringen, um einen möglichst gleichmäßigen Kontur-  
30 Schnitt zu ermöglichen. Dadurch, dass der Schneidbrenner und damit der Plas-

mastrahl beim Schneiden des Anschnitts auf Schneidgeschwindigkeit beschleunigt werden, kann im Anschluss an das Schneiden des Anschnitts unmittelbar mit dem eigentlichen Kontur-Schnitt begonnen werden. Hierbei ist keine weitere Beschleunigung des Plasmaschneidbrenners nötig. Dies ist wichtig, da die aktuelle Schnitt-Geschwindigkeit Einfluss auf die Lage des Plasmanachlaufs hat. Wäre beim Schneiden der Kontur eine Erhöhung der Schnitt-Geschwindigkeit auf Schneidgeschwindigkeit notwendig, müsste dies aufwendig kompensiert werden, beispielsweise durch Anpassung der Stromstärke. Andernfalls wäre mit einer Beeinträchtigung der Schnittgüte zu rechnen. Darüber hinaus stabilisiert sich der Schneidprozess während des Schneidens des Anschnitts, so dass beim Übergang des Plasmastrahls des Anschnitts in den eigentlichen Kontur-Schnitt, ein möglichst stabiler Plasmastrahl zum Schneiden der Kontur zur Verfügung steht.

Bei einer bevorzugten Variante des Verfahrens ist vorgesehen, dass, während der Plasmastrahl in Gegenrichtung zur Schneidrichtung entlang des mindestens einen Abschnitts der geschnittenen Kontur geführt wird, die Rückführgeschwindigkeit kontinuierlich reduziert wird.

Das Führen des Plasmastrahls in Gegenrichtung zur Schneidrichtung dient der Nachbearbeitung mindestens eines Abschnitts einer bereits geschnittenen Kontur. Dieser Längenabschnitt wird im Folgenden auch als „Rückschnitt“ bezeichnet. Die Rückführgeschwindigkeit kann der Schneidgeschwindigkeit entsprechen oder sich von ihr unterscheiden; sie kann über die Länge des Rückschnitts im Wesentlichen konstant sein, bevorzugt wird sie aber mindestens über eine Teillänge des Rückschnitts kontinuierlich oder schrittweise verringert. Durch das Reduzieren der Rückführgeschwindigkeit wird der Nachlauf des Plasmastrahls reduziert, so dass die Intensität der Nachbearbeitung an den nachbearbeiteten Kontur-Abschnitt angepasst werden kann. Ein geringer Nachlauf hat darüber hinaus den Vorteil, dass verbliebene Stege oder Schrägen an den Schnittflächen besser begradigt werden können.

In diesem Zusammenhang hat es sich als vorteilhaft erwiesen, während der Plasmastrahl in Gegenrichtung zur Schneidrichtung geführt wird, die Rückführgeschwindigkeit

schwindigkeit auf null zu reduzieren. Wird die Rückföhrgeschwindigkeit wöhrend der Nachbearbeitung auf null reduziert, kann auf eine zusätzhliche Ausschnitt-Fahne verzichtet werden. Bei der Reduzierung der Rückföhrgeschwindigkeit wird der Plasmastrahl vorzugsweise so fröh wie möglich ausgeschaltet.

- 5 Vorzugsweise wird das erfindungsgemäöe Verfahren zum Schneiden einer Kontur in ein Halbzeug aus Stahl, vorzugsweise aus Edelstahl oder Aluminium, verwendet.

Insbesondere beim Schneiden von Edelstahl, aber auch beim Schneiden anderer Stähle, kann ein Mikrostege am Werkstück stehen bleiben. Das erfindungsgemäöe  
10 Verfahren trägt dazu bei, entstandene Mikrostege zu beseitigen, indem diese nach beim Föhren des Plasmastrahls in Gegenrichtung zur Schneidrichtung geschnitten werden.

Das Verfahren ist vorteilhaft einsetzbar zum Schneiden von Stöhlen mit einer Materialstärke im Bereich von 5 mm bis 100 mm, wenn nach dem Schneiden der  
15 Kontur gemäöe Verfahrensschritt c) und vor dem Föhren des Plasmastrahls in Gegenrichtung zur Schneidrichtung ein Weiterschnitt in Schneidrichtung erfolgt.

Bei Halbzeugen aus Edelstahl oder Aluminium ist das Verfahren vorteilhaft einsetzbar, insbesondere wenn nach dem Schneiden der Kontur gemäöe Verfahrensschritt c) und vor dem Föhren des Plasmastrahls in Gegenrichtung zur Schneid-  
20 richtung ein Weiterschnitt in Schneidrichtung erfolgt. Insbesondere beim Schneiden von Baustöhlen, Edelstahl oder Aluminium kann am Anfang oder am Ende der Kontur ein Mikrostege stehenbleiben. Dieser Effekt tritt insbesondere beim Arbeiten mit übertragenem Lichtbogen auf, bei dem das Halbzeug die Anode des Lichtbogens bildet. Hier kann es vorkommen, dass der Lichtbogen zwischen ei-  
25 nem Bereich vor dem Mikrostege und einem Bereich hinter dem Mikrostege springt, so dass keine vollständige Aufschmelzung im Bereich des Mikrostege erreicht wird. Durch den Weiterschnitt in Schneidrichtung wird die Position des Lichtbogens für einen gewissen Zeitraum hinter einem eventuell stehengebliebenen Mikrostege positioniert, so dass dieser durch den Plasmanachlauf geschnitten werden

kann. Hierdurch wird das Auftreten von Mikrosteinen am fertig geschnittenen Bauteil verringert.

Besonders gute Ergebnisse hinsichtlich der Reduzierung der Mikrosteinbildung werden erreicht, wenn der Weiterschnitt mit höherer Geschwindigkeit als der  
5 Schneidgeschwindigkeit beim Konturschnitt erfolgt. Dies trägt dazu bei, dass der Plasmanachlauf vergrößert und dadurch der Mikrostein effektiv geschnitten werden kann.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass beim Schneiden der Kontur gemäß Verfahrensschritt c)  
10 die Lage des Plasmastrahls in Abhängigkeit von der Schneidrichtung in Bezug auf die Konturlinie nach rechts beziehungsweise links verschoben ist.

Ein Plasmastrahl weist eine gewisse räumliche Ausdehnung auf; meist hat der Plasmastrahl bezogen auf die Werkstückoberfläche einen runden Querschnitt. Dadurch bedingt kann der Plasmastrahl nicht unmittelbar entlang der späteren  
15 Kontur des Werkstücks geführt werden, da sonst Teile des Gutmaterials von dem Plasmastrahl abgeschnitten würden. Vielmehr muss der Plasmastrahl meist etwa um seine halbe Querschnittserstreckung relativ zur geplanten Konturlinie in Richtung des Schlechtmaterials versetzt werden. Bei einer Innenkontur liegt das Schlechtmaterial im Inneren der Kontur. Bei einem Schnitt einer Innenkontur im  
20 Uhrzeigersinn ist daher die Lage des Plasmastrahls in Bezug auf die Konturlinie nach rechts verschoben; erfolgt der Schnitt der Innenkontur entgegen dem Uhrzeigersinn ist die Lage des Plasmastrahls in Bezug auf die Konturlinie nach links verschoben. Entsprechendes gilt für das Schneiden einer Außenkontur. Hier ist die Lage des Plasmastrahls beim Schneiden der Kontur im Uhrzeigersinn in  
25 Schneidrichtung gesehen nach links verschoben. Der Schnitt einer Außenkontur entgegen dem Uhrzeigersinn erfolgt mit einem in Schneidrichtung nach rechts verschobenen Plasmastrahl.

In diesem Zusammenhang hat es sich bewährt, wenn beim Führen des Plasmastrahls in Gegenrichtung zur Schneidrichtung die Lage des Plasmastrahls bezo-

gen auf die Konturlinie von links nach rechts beziehungsweise von rechts nach links verschoben wird.

Die Lage des Plasmastrahls ist insbesondere bei einer Änderung der Schneidrichtung zu beachten. Um zu vermeiden, dass der Plasmastrahl in das Gutmaterial  
5 schneidet, ist es notwendig, den Plasmastrahl bei der Richtungsumkehr gleichzeitig entsprechend zur Konturlinie zu versetzen. Es hat sich bewährt, wenn die mit einer elektronischen Steuerung die Lage des Plasmastrahls bei einer Richtungs-  
umkehr automatisch verändert wird.

#### Ausführungsbeispiel

10 Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und Zeichnungen näher beschrieben. Dabei zeigt:

**Figur 1** eine Darstellung der Position einer Plasmaschneidbrennerdüse über einer Werkstückoberfläche während eines Schneidvorgangs mit senkrechter Anschnitt-Fahne,

15 **Figur 2** eine Darstellung der Position einer Plasmaschneidbrennerdüse über einer Werkstückoberfläche während eines Schneidvorgangs mit halb-kreisförmiger Anschnitt-Fahne,

**Figur 3** ein erstes Edelstahl-Werkstück mit einer unvollständig geschnittenen, kreisrunden Innenkontur, die mit einer Plasmaschneidmaschine unter  
20 Einsatz eines herkömmlichen Schneidverfahrens erzeugt wurde,

**Figur 4** ein zweites Edelstahl-Werkstück mit einer unvollständig geschnittenen, kreisrunden Innenkontur, die mit einer Plasmaschneidmaschine unter Einsatz eines herkömmlichen Schneidverfahrens erzeugt wurde,

**Figur 5** eine erste Variante eines erfindungsgemäßen Schneidverfahrens mit  
25 den Verfahrensschritten: Schneiden einer Anschnitt-Fahne (I), Schneiden einer vorgegebenen Kontur (II) und Führen des Plasmastrahls entlang eines Abschnitts der geschnittenen Kontur (III).

- Figur 6** eine zweite Variante eines erfindungsgemäßen Schneidverfahrens mit den Verfahrensschritten: Schneiden einer Anschnitt-Fahne (I), Schneiden einer vorgegebenen Kontur (II) und Führen des Plasmastrahls vollständig entlang der geschnittenen Kontur (III).
- 5 **Figur 7** eine dritte Variante eines erfindungsgemäßen Schneidverfahrens mit den Verfahrensschritten: Schneiden einer Anschnitt-Fahne (I), Schneiden einer vorgegebenen Kontur (II), Weiterschnitt in Schneidrichtung (IIa), Führen des Plasmastrahls entlang eines Abschnitts der geschnittenen Kontur (III), und optional Schneiden einer Ausschnitt-Fahne (IV),
- 10 **Figur 8** eine vierte Variante eines erfindungsgemäßen Schneidverfahrens mit den Verfahrensschritten: Schneiden einer Anschnitt-Fahne (I), Schneiden einer vorgegebenen Kontur (II), Weiterschnitt in Schneidrichtung (IIa), Führen des Plasmastrahls vollständig entlang der geschnittenen Kontur (III), und optional Schneiden einer Ausschnitt-Fahne (IV),
- 15 **Figur 9** eine Gegenüberstellung einer Außenkontur (B) eines Werkstücks, die unter Einsatz eines erfindungsgemäßen Schneidverfahrens erhalten wurde und einer Außenkontur (A) eines Werkstücks, wie sie mit einem herkömmlichen Schneidverfahren erhalten wurde, und
- Figur 10** eine Gegenüberstellung einer Innenkontur (B) eines Werkstücks, die  
20 unter Einsatz eines erfindungsgemäßen Schneidverfahrens erhalten wurde und einer Innenkontur A, wie sei mit einem herkömmlichen Schneidverfahren erhalten wurde.
- Figur 1** zeigt die Positionsänderungen einer Plasmaschneidbrennerdüse während eines Schneidvorgangs bezogen auf eine Werkstückoberfläche, die durch Pfeile  
25 x, y beschrieben wird.

Der Plasmaschneidbrenner einschließlich Düse ist an einem verfahrbaren Portal gehalten und relativ zur Werkstückoberfläche verfahrbar. Im Ausführungsbeispiel ist das Halbzeug eine Platte aus Edelstahl mit folgenden Dimensionen: Länge (L) = 100 mm, Breite (B) = 100 mm und Höhe (H) = 30 mm, in die mit dem Plas-

maschneidbrenner eine kreisrunde Innenkontur mit einem Durchmesser von 38 mm geschnitten werden soll. Nachfolgend wird das Verfahren zum Schneiden der Innenkontur näher beschrieben:

5 Bevor die Innenkontur geschnitten wird, wird die Plasmaschneidbrennerdüse zunächst in eine Startposition (A) verfahren. Die Startposition (A) liegt im Schlechtmaterial des Halbzeugs. Während der Positionierung der Plasmaschneidbrennerdüse ist der Plasmaschneidbrenner nicht in Betrieb. In Figur 1 ist dieser Verfahrensschritt durch die gestrichelte Linie 101 gekennzeichnet.

10 Sobald die Plasmaschneidbrennerdüse die Startposition (A) erreicht hat, wird der Plasmaschneidbrenner gezündet. Die Plasmaschneidbrennerdüse wird solange in der Startposition A gehalten bis ein Durchstich durch das Halbzeug erfolgt ist.

15 Nach erfolgtem Durchstich wird zunächst ein Anschnitt (eine Anschnitt-Fahne) in das Halbzeug geschnitten. Hierzu wird die Plasmaschneidbrennerdüse in Pfeilrichtung entlang der Anschnitts-Linie 102 zu einem Kontur-Startpunkt bewegt und dabei von Null auf eine vorgegebene Schneidgeschwindigkeit beschleunigt. Die Anschnitts-Linie 102 ist so gewählt, dass sie in einem Winkel von 90° auf die spätere Kontur-Linie 103 trifft; sie verläuft radial zur Kontur-Linie 103.

20 Ab dem Kontur-Startpunkt wird die Plasmaschneidbrennerdüse auf der vorgegebenen Kontur-Linie 103 entgegen dem Uhrzeigersinn mit der vorgegebenen Schneidgeschwindigkeit von ca. 500 mm/min geführt, die bezogen auf die spätere Innenkontur des Werkstücks um ca. 3 mm nach links versetzt ist. Eine solche Versetzung der Kontur-Linie ist notwendig, da der von der Plasmadüse erzeugte Plasmastrahl selbst einen runden Querschnitt mit einem mittleren Durchmesser von ca. 6 mm aufweist. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass exakt ein Loch  
25 mit dem vorgegebenen Radius geschnitten wird. Die Plasmaschneidbrennerdüse wird entgegen dem Uhrzeigersinn entlang der Kontur-Linie 103 geführt bis sie erneut den Kontur-Startpunkt erreicht. Anschließend können weitere Schritte vorgesehen sein, beispielsweise das Führen des Plasmastrahls in Gegenrichtung zur Kontur-Linie 103. Diese sind zum besseren Verständnis und aus Gründen der

Darstellbarkeit in Figur 1 nicht dargestellt. Die Beschreibung dieser Verfahrensschritte erfolgt weiter unten anhand der Figuren 5 bis 8.

Schließlich wird eine Ausschnitt-Fahne in das Schlechtmaterial geschnitten, indem die Plasmaschneidbrennerdüse entlang der Ausschnitts-Linie 104 geführt wird bis die Endposition (B) erreicht wird. Der Plasmaschneidbrenner wird während der Fahrt zur Endposition B ausgeschaltet. Sobald die Endposition (B) erreicht ist, wird die Plasmaschneidbrennerdüse entlang der gestrichelten Linie 105 in einen Bereich verfahren, so dass sie nicht mehr der Werkstückoberfläche zugeordnet ist.

10 **Figur 2** zeigt den Ablauf eines alternativen Schneidverfahrens. Dabei ist in einer x, y-Darstellung die Position einer Plasmaschneidbrennerdüse über einer Werkstückoberfläche während eines Schneidvorgangs dargestellt. Gegenüber dem Schneidverfahren von Figur 1 sind bei dem Schneidverfahren gemäß Figur 2 insbesondere die Form der Anschnitt-Fahne und die Lage der Ausschnitt-Fahne verändert.

15 Vor dem Schneiden der Anschnitt-Fahne wird die Plasmaschneidbrennerdüse entlang der Linie 201 in die im Schlechtmaterial liegende Startposition (A) gebracht. Sobald die Plasmaschneidbrennerdüse die Startposition (A) erreicht hat, wird der Plasmaschneidbrenner gezündet. Die Plasmaschneidbrennerdüse wird solange in der Startposition (A) gehalten bis ein Durchstich durch das Halbzeug erfolgt ist.

20 Anschließend wird die Anschnitt-Fahne geschnitten, indem der Plasmaschneidbrenner entlang einer halbkreisförmigen Anschnitts-Linie 202 bis zu einem Kontur-Startpunkt 210 geführt und dabei von Null auf eine vorgegebene Schneidgeschwindigkeit beschleunigt wird. Die Lage der Anschnitts-Linie 202 ist dabei so gewählt, dass eine Richtungsänderung der Plasmaschneidbrennerdüse im Kontur-Startpunkt nicht notwendig ist; die Anschnitt-Linie trifft tangential auf die Kontur-Linie 203. Durch dieses tangentielle Anschmiegen der Anschnitts-Linie 202 kann insbesondere bei kreisrunden Innenkonturen die Schnittgüte verbessert werden.

30

Ab dem Kontur-Startpunkt 210 wird die Plasmaschneidbrennerdüse auf der vorgegebenen Kontur-Linie 203 mit der vorgegebenen Schneidgeschwindigkeit von 600 mm/min geführt, die – wie bei Figur 1 beschrieben – bezogen auf die spätere Innenkontur des Werkstücks um 3 mm nach links versetzt ist. Die Schneidrichtung verläuft entgegen dem Uhrzeigersinn bis erneut der Kontur-Startpunkt 210 erreicht wird.

Während des Schneidens der Kontur-Linie wird die Schneidgeschwindigkeit konstant gehalten. Nach dem erneuten Erreichen des Kontur-Startpunkts 210 ist ein „Weiterschnitt“ 203a entlang der bereits geschnittenen Konturlinie 203 in Schneidrichtung vorgesehen bis eine Schnitt-Endposition (B) erreicht wird. Während des Weiterschnitts 203a wird die Geschwindigkeit bis auf null in Endposition (B) verringert.

Anschließend können weitere Schritte vorgesehen sein, beispielsweise das Führen des Plasmastrahls in Gegenrichtung zur Kontur-Linie 203. Diese sind zum besseren Verständnis in Figur 2 nicht dargestellt. Eine genauere Beschreibung dieser Verfahrensschritte erfolgt weiter unten anhand der Figuren 5 bis 8.

Das Schneiden einer Ausschnitts-Fahne in das Schlechtmaterial ist optional möglich (nicht dargestellt). Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird der Plasmaschneidbrenner in Endposition (B) abgeschaltet und die Plasmaschneidbrennerdüse entlang der gestrichelten Linie 204 in einen Bereich verfahren, so dass sie nicht mehr der Werkstückoberfläche zugeordnet ist.

Bei herkömmlichen Verfahren zum Schneiden einer Kontur mit einem Plasmaschneidbrenner werden häufig im Anschnitts- und/oder Ausschnitts-Bereich Schnittflächenverletzungen beobachtet. Derartige Schnittflächenverletzungen sind besonders unerwünscht beim Schneiden kleiner Löcher mit einem Durchmesser von weniger als 20 mm, da sich eine Schnittflächenverletzung bei diesen Löchern besonders stark auf den effektiven Lochdurchmesser auswirkt. In den **Figuren 3 und 4** sind Beispiele solcher Schnittflächenverletzungen gezeigt, wie sie insbesondere häufig beim Schneiden von Werkstücken aus hochlegierten Stählen (Edelstahl) beobachtet werden können.

**Figur 3** zeigt ein Werkstück 300 aus Edelstahl, das einem herkömmlichen Schneidverfahren zur Erzeugung einer lochförmigen Innenkontur 301 unterzogen wurde. Die Innenkontur 301 ist kreisförmig ausgebildet; der Kreisdurchmesser beträgt 36 mm. Die Dicke (Höhe) des Werkstücks 300 beträgt 20 mm.

- 5 Das Schneidverfahren umfasste die Verfahrensschritte: a) Positionieren der Plasmaschneiddüse ausgehend von einer Ausgangsposition auf eine Position oberhalb des Materials der Innenkontur, dem sogenannten Schlechtmaterial, b) Betreiben des Plasmaschneidbrenners, c) Einstechen in das Schlechtmaterial, d) Schneiden einer senkrecht zur Innenkontur 301 verlaufenden Anschnitt-Fahne
- 10 302, e) Schneiden der kreisförmigen Kontur 301, f) Ausschalten des Plasmaschneidbrenners und g) Verfahren der Plasmaschneidbrennerdüse in Ausgangsposition.

Abgesehen davon, dass der Schnitt nicht vollständig ist, zeigt Figur 3, dass Schnittflächenverletzungen insbesondere im Bereich des Auftreffens der Anschnitt-Fahne 302 auf die Kontur 301 auftreten können (siehe Pfeil 305). Dabei

15 gilt: Je kleiner der Durchmesser der Kontur 301 ist, umso stärker wirken sich diese Schnittverletzungen auf den effektiven Durchmesser der Kontur 301 aus.

**Figur 4** zeigt ein Werkstück 400 aus Edelstahl, das ebenfalls dem anhand Figur 3 erläuterten Schneidprozess unterzogen wurde. Die Innenkontur 401 ist kreisförmig

20 ausgebildet; der Kreisdurchmesser beträgt 38 mm. Die Dicke (Höhe) des Werkstücks 300 beträgt 20 mm.

Beim Schneiden der Kontur (Verfahrensschritt e) gemäß Figur 4 ist der Lichtbogen am Ende des Kontur-Schnitts im Bereich der Kreuzung von An- und Ausschnitt „gesprungen“, so dass ein Mikrostege 405 stehengeblieben ist. Dieses

25 Phänomen wird häufig beim Schneiden von hochlegierten Stählen beobachtet, insbesondere beim Schneiden von Edelstahl.

Anhand der **Figuren 5 bis 8** werden vier Varianten des erfindungsgemäßen Verfahrens detailliert beschrieben. Zur Erleichterung der Darstellung der Verfahrensschritte ist jede der Verfahrensvarianten in mehreren Zeichnungen (I, II, III bezie-

hungsweise I, II, IIa, III) dargestellt, wobei die Zeichnungen in zeitlicher Reihenfolge unterschiedliche Verfahrensstufen repräsentieren. Die jeweils aktuellen Verfahrensschritte einer Verfahrensstufe sind mit durchgezogenen, schwarzen Linien eingezeichnet. Zuvor stattgefundenen Verfahrensschritten und Orientierungslinien sind mit gestrichelten Linien dargestellt. Soweit in den Figuren 6, 7 und 8 die gleichen Bezugsziffern verwendet werden, wie in Figur 5, so sind damit gleiche oder äquivalente Verfahrensschritte bezeichnet, wie sie anhand der Figur 5 erläutert sind.

**Figur 5** zeigt in schematischer Darstellung die Abfolge der Verfahrensschritte eines Schneidverfahrens, das insbesondere für die Verarbeitung von Halbzeug-Materialstärken in einem Bereich von 5 mm bis 100 mm verwendet wird.

Zunächst wird die Plasmaschneidbrenner-Düse entlang der gestrichelten Linie 500 in Startposition A verfahren. Sobald die Plasmaschneidbrennerdüse die Startposition A erreicht hat, wird der Plasmaschneidbrenner gezündet und solange in Startposition A gehalten bis ein Durchstich durch das Halbzeug erfolgt ist. Schließlich wird eine Anschnitt-Fahne 501 in das Halbzeug geschnitten. **Figur 5-I** zeigt eine halbkreisförmige Anschnitt-Fahne 501 wie sie oben beispielsweise anhand Figur 2 beschrieben ist, die sich tangential an die zu schneidende Konturlinie 503 anschmiegt. Es versteht sich, dass die Form und der Verlauf der Anschnitt-Fahne 501 grundsätzlich beliebig gewählt werden können. Beim Schneiden der Anschnitt-Fahne wird die Plasmaschneidbrennerdüse auf Schneidgeschwindigkeit beschleunigt. Im Kontur-Startpunkt 510 wird der Plasmastrahl durch die Anschnitt-Fahne 501 so auf den Kontur-Startpunkt 510 geführt, dass keine Richtungsänderung notwendig ist. Darüber hinaus erreicht der Plasmastrahl den Kontur-Startpunkt 510 bereits mit Schneidgeschwindigkeit, so dass auch keine Geschwindigkeitsänderung nötig ist.

**Figur 5-II** zeigt den eigentlichen Kontur-Schnitt, der sich unmittelbar an das Schneiden der Anschnitt-Fahne 501 anschließt. Das Schneiden der Anschnitt-Fahne 501 endet mit Erreichen des Kontur-Startpunkts 510. Von dort ausgehend

erfolgt der Schnitt der Kontur 503 mit Schneidgeschwindigkeit bis der mit dem Kontur-Startpunkt identische Kontur-Endpunkt A1 erreicht wird.

Gemäß **Figur 5-III** wird der Plasmaschneidbrenner in Gegenrichtung zur Schneidrichtung entlang des Abschnitts 511 der Kontur 503 bis zur Endposition B mit Rückführgeschwindigkeit geführt. Dabei wird die Rückführgeschwindigkeit des Plasmaschneidbrenners schrittweise bis auf null reduziert, so dass auf das Schneiden einer zusätzlichen Ausschnitt-Fahne verzichtet werden kann. Durch die Reduktion der Rückführgeschwindigkeit und das damit verbundene Abbremsen der Plasmabrennschneidmaschine wird der Nachlauf des Plasmastrahls reduziert. Da ein Teil der Kontur 503 nochmals in Gegenrichtung geschnitten wurde, werden im Gegenschneidbereich verbliebene Stege geschnitten und Schrägen begradigt.

**Figur 6** zeigt eine Variante des zu **Figur 5** beschriebenen Schneidverfahrens, die ebenfalls für die Verarbeitung von Halbzeug-Materialstärken in einem Bereich von 5 mm bis 100mm einsetzbar ist.

Die Darstellungen in **Figur 6-I** und in **Figur 6-II** entsprechen denen der Figuren 5-I und 5-II. Insoweit wird auf die Beschreibung der letztgenannten Figuren verwiesen.

**Figur 6-III** zeigt, dass der vom Plasmaschneidbrenner erzeugte Plasmastrahl nach Ende des Konturschnitts 503 in Gegenrichtung zur vorherigen Schneidrichtung entlang des Abschnitts 512 der Kontur 503 geführt wird, wobei der Abschnitt 512 hier als Vollkreis ausgebildet ist, so dass die komplette Kontur in Gegenrichtung geschnitten wird. Dieses Verfahren ist insbesondere für kleine Kreiskonturen mit einer Umfangslänge von beispielsweise 60 mm geeignet. Gleichzeitig wird eine hohe Schnittgüte erzielt. Der Plasmastrahl wird bis zur Endposition B mit Rückführgeschwindigkeit geführt. Dabei wird die Rückführgeschwindigkeit des Plasmaschneidbrenners schrittweise bis auf null in Punkt B reduziert, so dass auf das Schneiden einer zusätzlichen Ausschnitt-Fahne verzichtet werden kann. Die Positionen A1 und B sind hierbei identisch. Durch die Reduktion der Rückführgeschwindigkeit und das damit verbundene Abbremsen der Plasmabrennschneid-

maschine wird der Nachlauf des Plasmastrahls reduziert. Da die Kontur 503 nochmals in Gegenrichtung geschnitten wurde, werden im Gegenschchnittbereich verbliebene Stege geschnitten und Schrägen begradigt.

Anstatt den Plasmastrahl in Gegenrichtung zur Schneidrichtung zu führen, kann  
5 alternativ eine Konturwiederholung vorgesehen werden, so dass im Anschluss an die erste Kontur eine zweite Kontur in gleicher Richtung geschnitten wird. Erweitert könnte auch nach dem ersten Konturschnitt ein Weiterschnitt und anschließend eine Konturwiederholung in Schneidrichtung vorgesehen werden. Dies hat Vorteile, wenn nach dem Weiterschnitt Prozessparameter verändert werden sollen,  
10 wie etwa die Schneidgeschwindigkeit oder die Lage oder Neigung des Plasmas in Bezug auf die Werkstück-Oberfläche.

Die **Figuren 7 und 8** zeigen eine dritte und vierte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens, die beide zum Schneiden vergleichsweise dicker Halbzeug-Materialstärken im Bereich von 50 mm bis 100 mm vorgesehen sind.

15 Die Darstellungen in den Figuren 7-I, 7-II beziehungsweise 8-I, 8-II entsprechen denen der Figuren 5-I und 5-II. Insoweit wird auf die Beschreibung der letztgenannten Figuren verwiesen.

Bei der Verfahrensvariante gemäß Figur 7 ist in **Figur 7-IIa** vorgesehen, dass der Kontur-Schnitt 503 nach einmaligem Durchlauf der Vollkreises bis zum Punkt A2  
20 entlang Linie 710 weitergeführt wird. Dies hat den Vorteil, dass der Plasmastrahl hinter einem eventuell in der Position A1 stehengebliebenen Mikrostege positioniert wird.

Mit Erreichen des Punkts A2 wird der Plasmaschneidbrenner wegen des bevorstehenden Richtungswechsels erneut positioniert. Anschließend wird der vom  
25 Plasmaschneidbrenner erzeugte Plasmastrahl in Gegenrichtung zur Schneidrichtung entlang des Abschnitts 711 der Kontur 503 bis zur Endposition B mit Rückföhrgeschwindigkeit geföhrt. Eine Abschaltung des Plasmaschneidbrenners erfolgt vor Erreichen des Punktes B.

Das Verfahren von Figur 8 unterscheidet sich von dem Verfahren gemäß Figur 7 im Wesentlichen darin, dass der Abschnitt 811 im Gegensatz zum Abschnitt 711 als Vollkreis ausgebildet ist, so dass die komplette Kontur nachgeschnitten wird. Die Positionen A2 und B sind identisch. Dieses Verfahren ist insbesondere für  
5 kleine Konturen mit einer Umfangslänge bis zu 60 mm geeignet. Hierdurch wird eine hohe Schnittgüte erzielt.

Die zuvor beschriebenen Verfahren beschreiben allesamt das Schneiden von Innenkonturen. Sie können selbstverständlich auch auf das Schneiden von Außenkonturen angewendet werden.

10 **Figur 9** zeigt eine Gegenüberstellung einer Außenkontur (B) eines Werkstücks, die unter Einsatz eines erfindungsgemäßen Schneidverfahrens erhalten wurde und einer Außenkontur (A) eines Werkstücks, wie sie mit einem herkömmlichen Schneidverfahren erhalten wurde.

Die bemerkenswertesten Unterschiede sind durch Kreise hervorgehoben. Die  
15 Schnittfuge von Figur 9A ist ungleichmäßig ausgebildet und weist insbesondere eine Schnittflächenverletzung im an der Unterseite des Werkstücks auf.

Die Schnittfuge aus Figur 9B hingegen weist eine gleichmäßig, schräg-zulaufende Form auf.

In **Figur 10** sind eine Innenkontur (B) eines Werkstücks, die unter Einsatz eines  
20 erfindungsgemäßen Schneidverfahrens gemäß Figur 6 erhalten wurde und eine Innenkontur A, wie sei mit einem herkömmlichen Schneidverfahren erhalten wurde, gegenübergestellt. Während das Loch der Figur 9A im Anschnittbereich (links) Schnittverletzungen zeigt, wurde mit dem erfindungsgemäßen Verfahren nach Figur 6 eine nahezu kreisrunde Kontur erhalten.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum maschinellen thermischen Schneiden eines Werkstücks unter Einsatz eines Plasmaschneidbrenners, umfassend die Verfahrensschritte:
  - a) Zünden eines Plasmastrahls,
  - b) Erzeugen eines Anschnitts in das ein metallisches, platten- oder bahnförmiges Halbzeug mit dem Plasmastrahl,
  - c) Schneiden einer Kontur in das Halbzeug, indem der Plasmastrahl entlang einer vorgegebenen Konturlinie mit einer Schneidgeschwindigkeit in Schneidrichtung geführt wird,dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Schneiden der Kontur gemäß Verfahrensschritt c) der Plasmastrahl in Gegenrichtung zur Schneidrichtung entlang mindestens eines Abschnitts der geschnittenen Kontur mit einer Rückführgeschwindigkeit geführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Schneiden der Kontur gemäß Verfahrensschritt c) der Plasmastrahl in Gegenrichtung zur Schneidrichtung vollständig entlang der geschnittenen Kontur geführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Schneiden des Anschnitts mit einer Anschnitt-Geschwindigkeit erfolgt, wobei die Anschnitt-Geschwindigkeit beim Schneiden des Anschnitts solange erhöht wird bis die Schneidgeschwindigkeit erreicht wird, wobei die Rückführgeschwindigkeit im Bereich von 150% bis 400% der Schneidgeschwindigkeit liegt.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass während der Plasmastrahl in Gegenrichtung zur Schneidrichtung entlang des mindestens einen Abschnitts der geschnittenen Kontur geführt wird, die Rückführgeschwindigkeit kontinuierlich reduziert wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es zum Schneiden einer Kontur in ein Halbzeug aus Aluminium oder Stahl, vorzugsweise aus Edelstahl, mit einer Materialstärke im Bereich von 5 mm bis 100 mm verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Schneiden der Kontur gemäß Verfahrensschritt c) und vor dem Führen des Plasmastrahls in Gegenrichtung zur Schneidrichtung ein Weiterschnitt in Schneidrichtung erfolgt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Schneiden der Kontur gemäß Verfahrensschritt c) die Lage des Plasmastrahls in Bezug auf die Konturlinie in Abhängigkeit von der Schneidrichtung nach rechts beziehungsweise links verschoben ist.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, wenn beim Führen des Plasmastrahls in Gegenrichtung zur Schneidrichtung die Lage des Plasmastrahls bezogen auf die Konturlinie von links nach rechts beziehungsweise von rechts nach links verschoben wird.

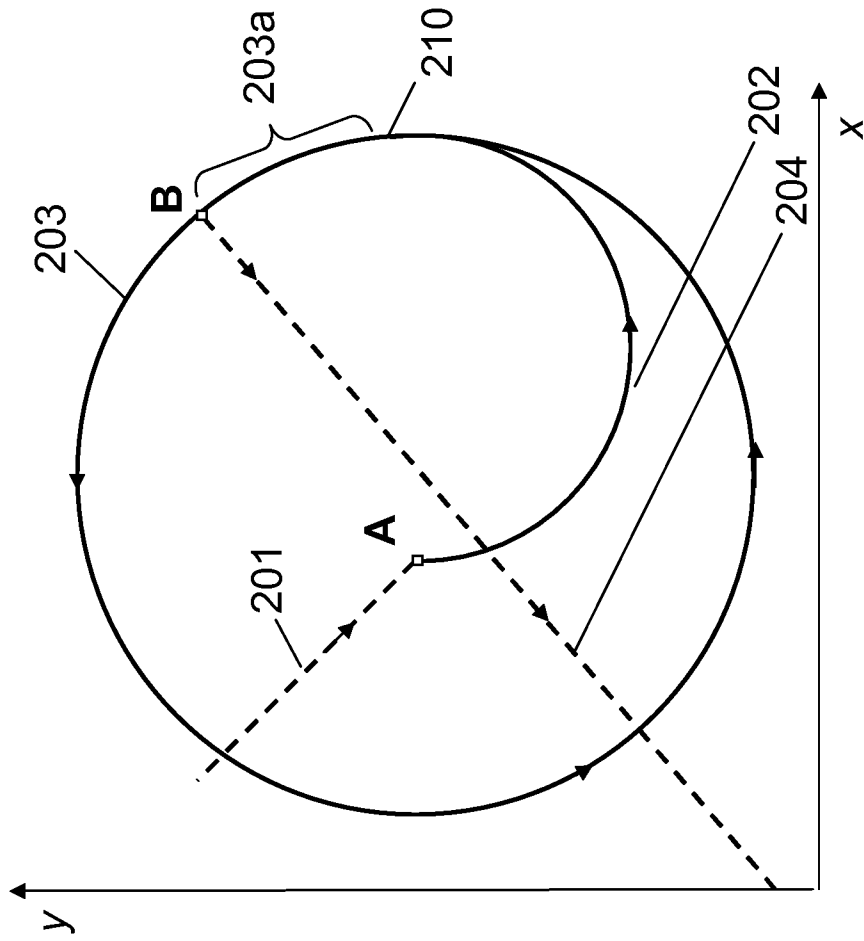


Fig. 1

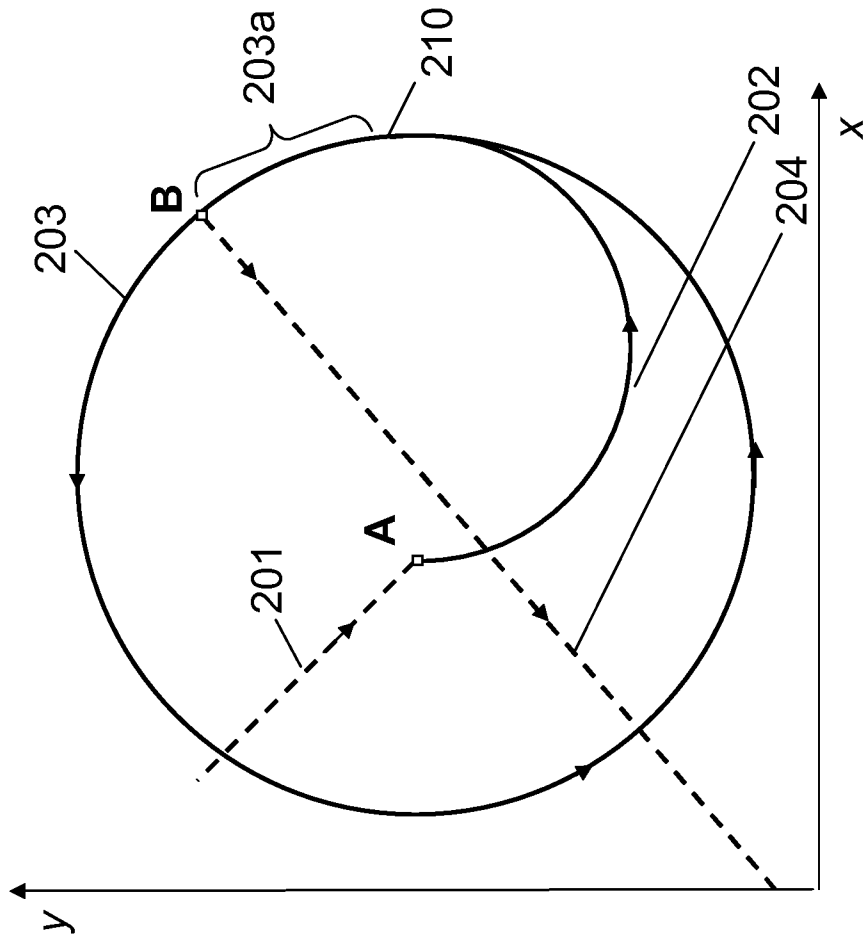
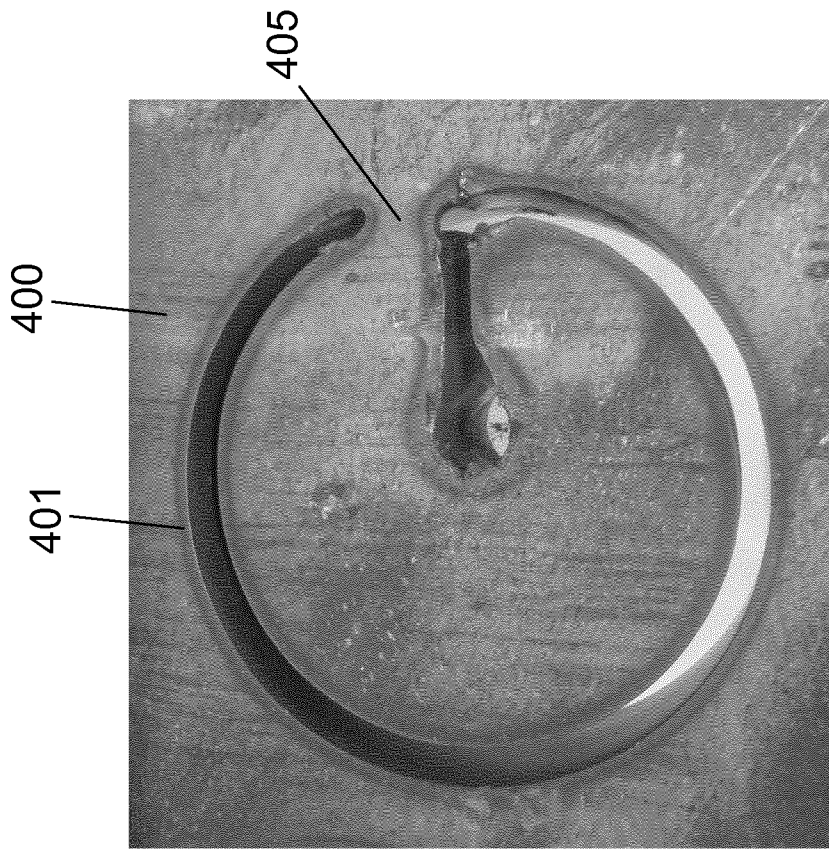
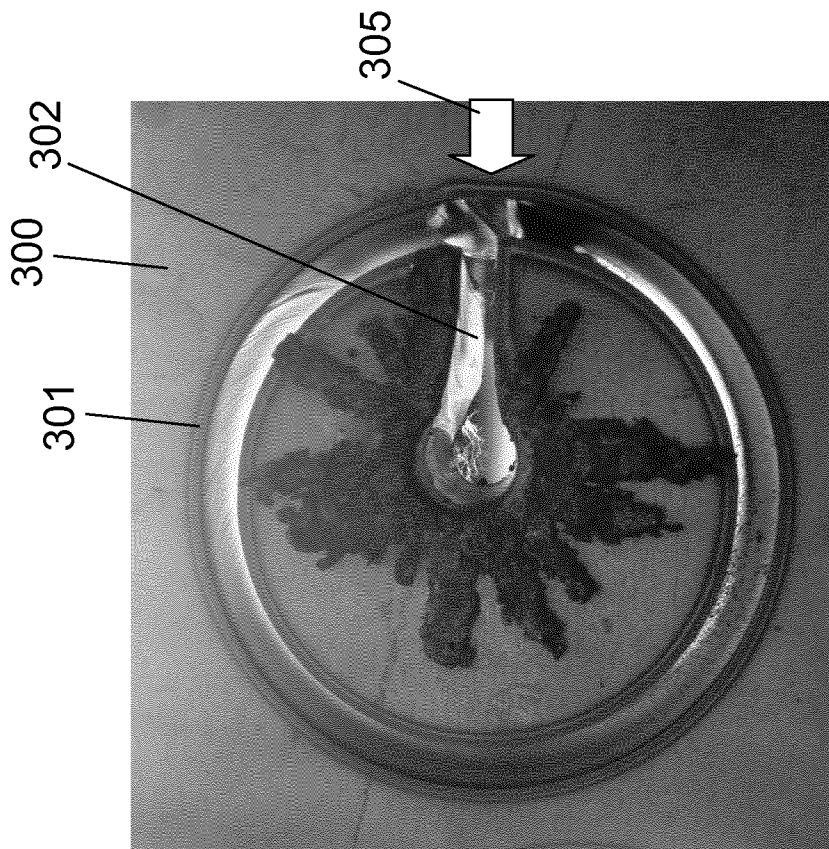


Fig. 2



**Fig. 4**



**Fig. 3** (Stand der Technik)

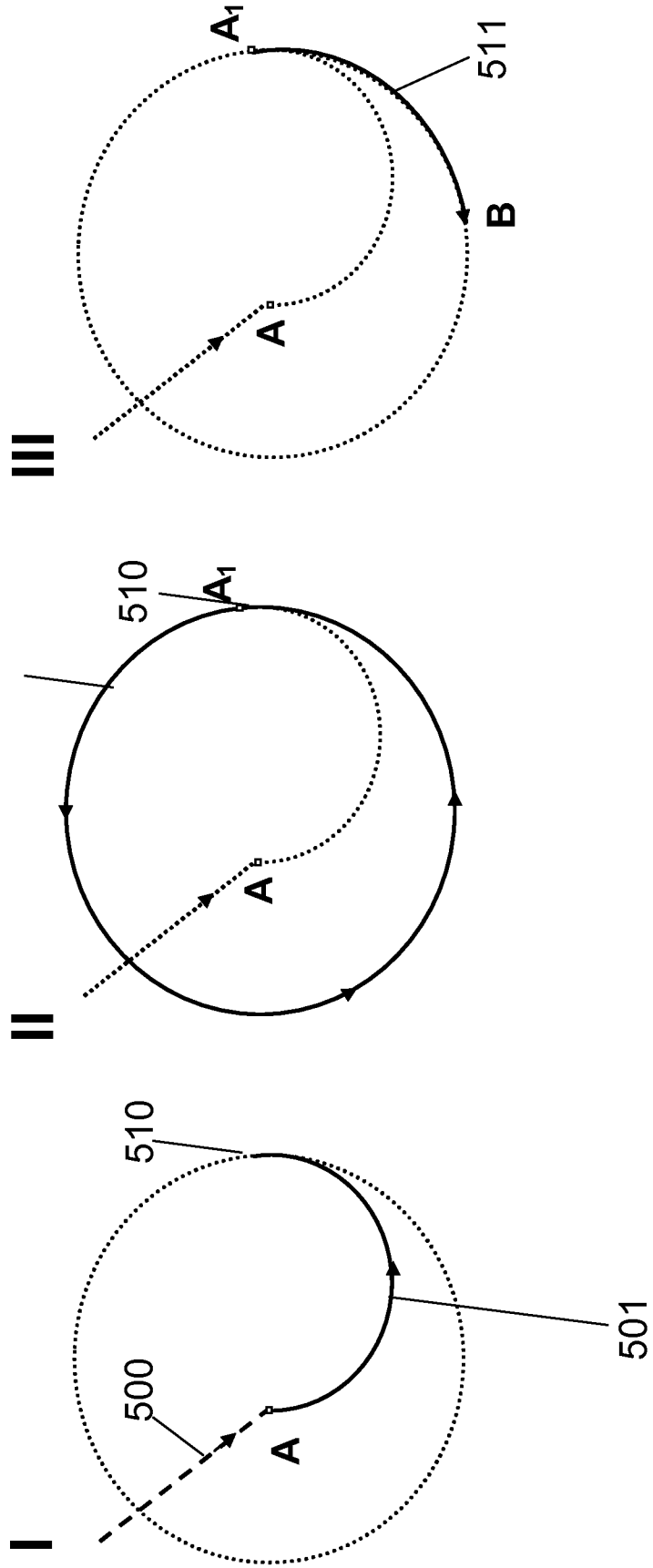


Fig. 5

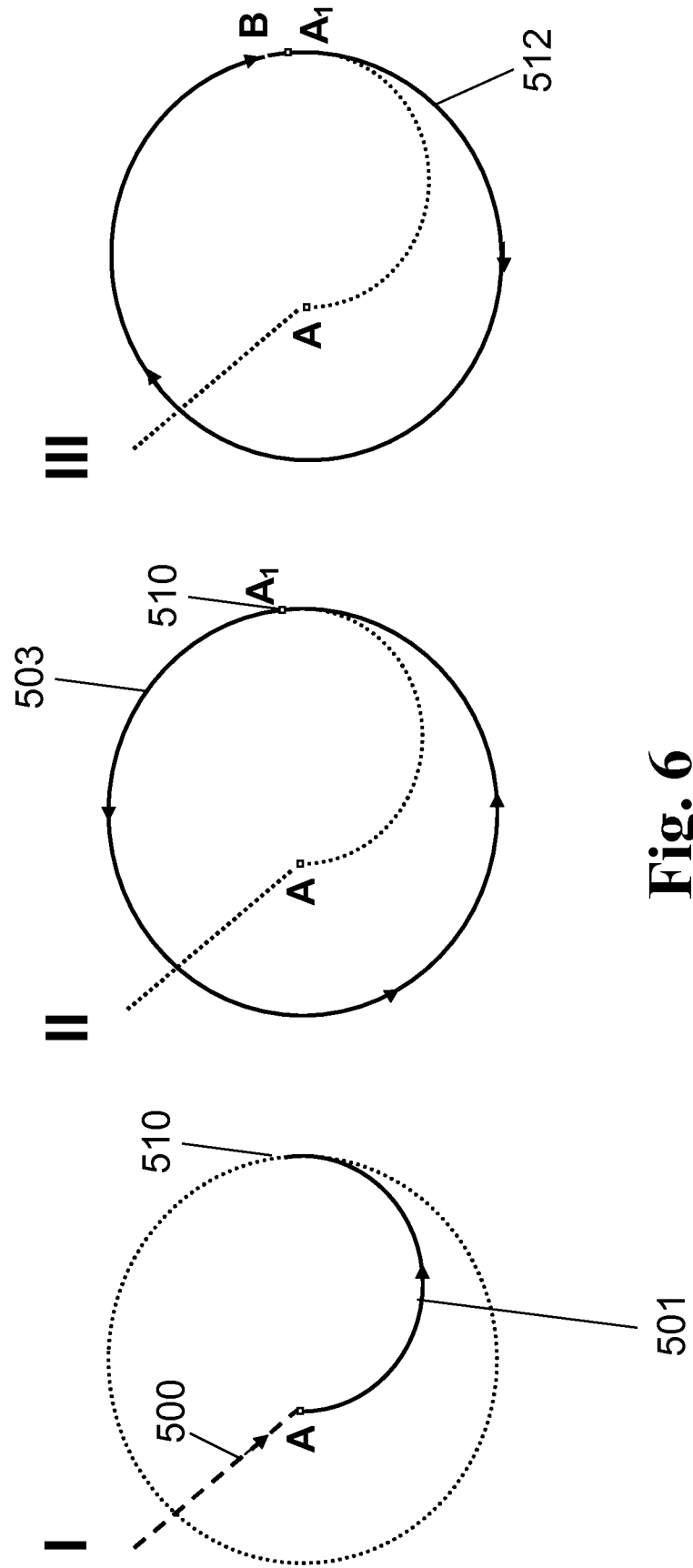


Fig. 6

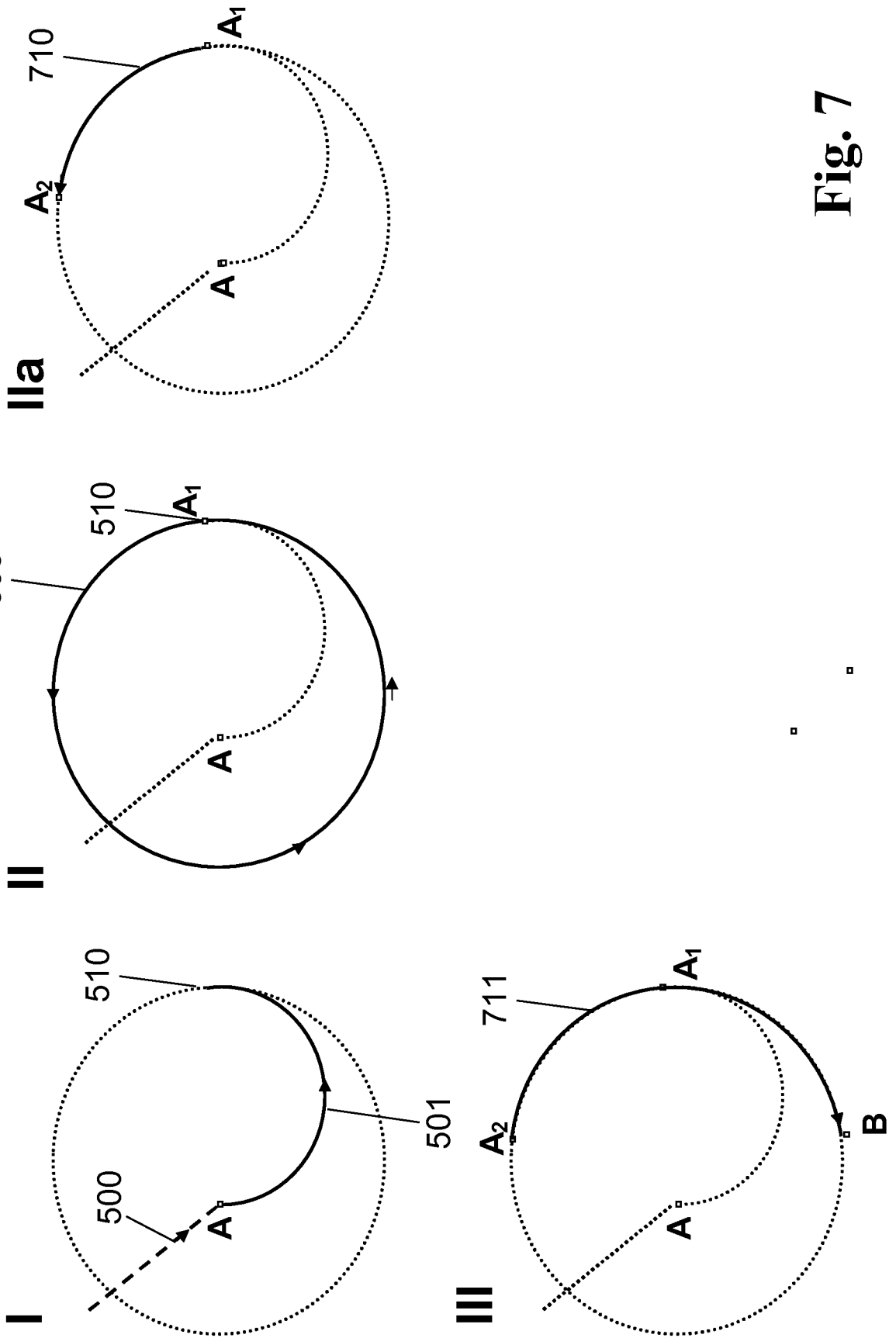
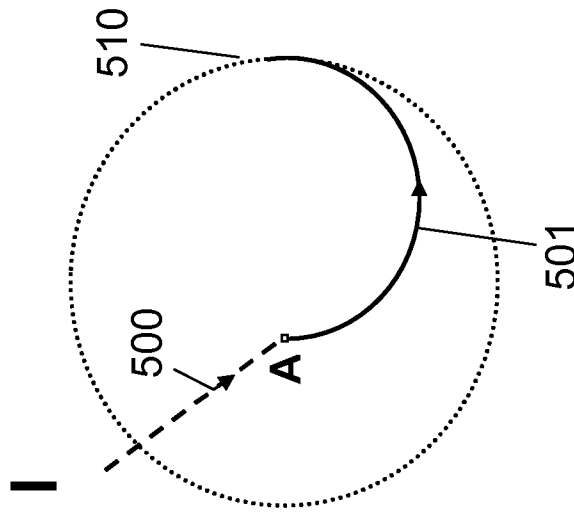
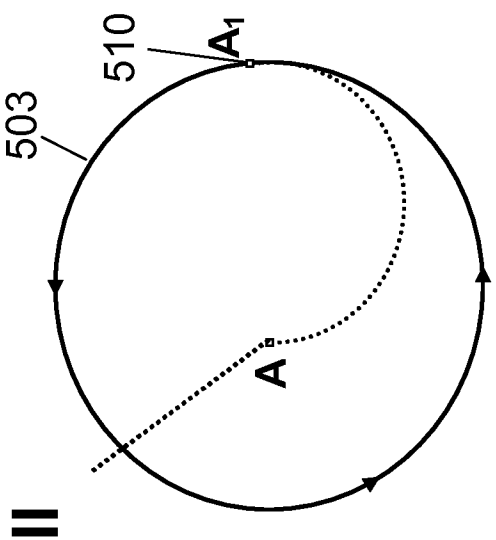
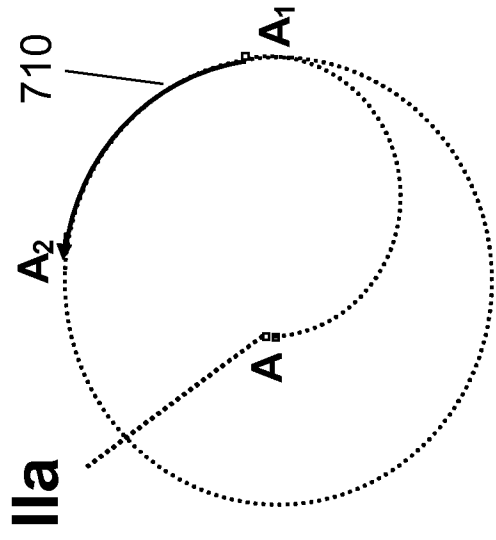
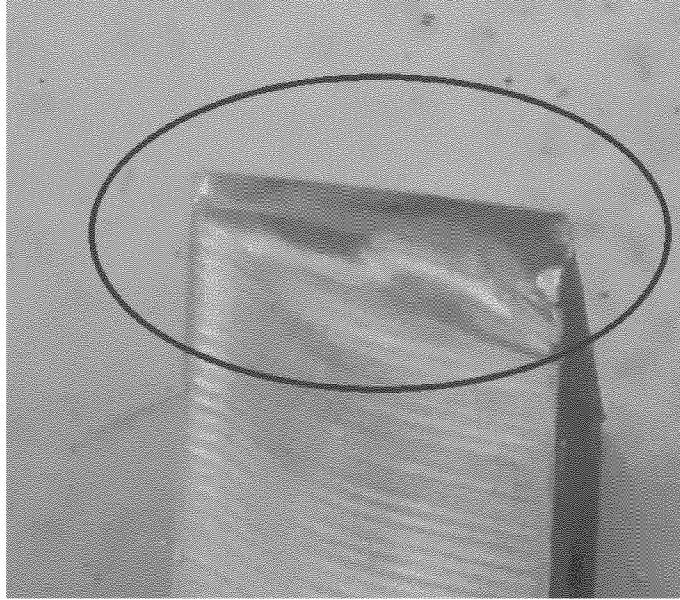


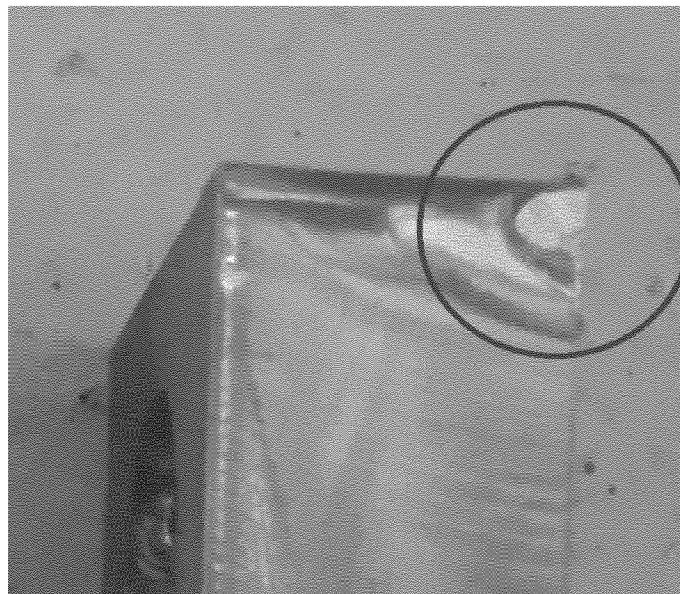
Fig. 7



**Fig. 8**



**B**

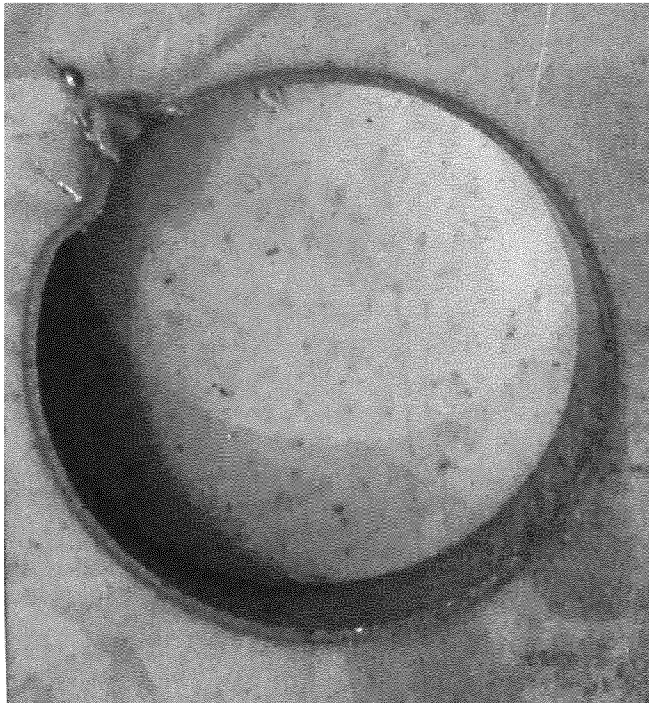


**A** (Stand der Technik)

**Fig. 9**



**B**



**A** (Stand der Technik)

**Fig. 10**