



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 212 566.3**

(22) Anmeldetag: **18.07.2012**

(43) Offenlegungstag: **23.01.2014**

(51) Int Cl.: **B23K 26/38** (2012.01)

(71) Anmelder:

**TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG,
71254, Ditzingen, DE**

(74) Vertreter:

**Kohler Schmid Möbus Patentanwälte, 70565,
Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:

**Zimmermann, Markus, 70771, Leinfelden-
Echterdingen, DE; Ottnad, Jens, 76199,
Karlsruhe, DE; Kiefer, Manuel, 70569, Stuttgart,
DE; Porth, Arne S., 38104, Braunschweig, DE;
Raff, Lisa-Katrin, 72770, Reutlingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	195 03 377	C2
JP	2012- 096 262	A
JP	H02- 63 693	A
JP	2005- 230 828	A
JP	2011- 083 788	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur trennenden Bearbeitung eines plattenförmigen Werkstücks mit Microjoints**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur trennenden Bearbeitung eines plattenförmigen Werkstücks (1), weist folgende Schritte auf:

(f) Ermittlung von kollisionsgefährdeten Werkstückteilen (2a, 3a, 3b), die im Schneidprozess unter Beibehaltung eines Microjoints (7, 9, 10) geschnitten werden sollen;

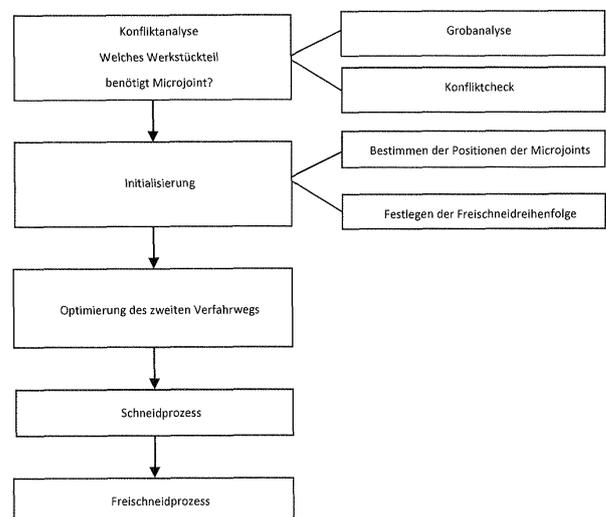
(g) Bestimmen von Positionen der Microjoints (7, 9, 10);

(h) Bestimmen einer Schneidreihenfolge zum Schneiden der Werkstückteile (2a, 2b, 3a, 3b, 3c) und einer Freischneidreihenfolge zum Lösen der Microjoints (7, 9, 10);

(i) Durchführen des Schneidprozesses entlang eines ersten Verfahrenswegs (13), wobei mehrere Werkstückteile (2a, 2b, 3a, 3b, 3c) unter Auslassung der Microjoints (7, 9, 10) geschnitten werden;

(j) Durchführen eines Freischneidprozesses entlang eines zweiten Verfahrenswegs (14), wobei die Microjoints (7, 9, 10) in der Freischneidreihenfolge gelöst werden; wobei die Positionen der Microjoints (7, 9, 10) und die Freischneidreihenfolge so gewählt wird, dass der zweite Verfahrensweg (14) nicht über frei geschnittene Werkstückteile verläuft.

Auf diese Weise können Kollisionen zwischen geschnittenen Werkstückteilen und dem Schneidkopf vermieden werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur trennenden Bearbeitung eines plattenförmigen Werkstücks mit auszuschneidenden Werkstückteilen, wobei jedes Werkstückteil in einem Schneidprozess mit Hilfe einer Schneiddüse eines Schneidkopfes, insbesondere eines Laserschneidkopfes, entlang einer Schneidkontur ausgeschnitten wird.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Beim Laserschneiden von Werkstückteilen aus einem plattenförmigen Werkstück (Werkstücktafel) in einer 2-D Lasermaschine beeinträchtigen Kollisionen zwischen kippenden Werkstückteilen und dem Schneidkopf die Prozesssicherheit. Eine Möglichkeit zum Vermeiden von solchen Kollisionen stellt das Fixieren von geschnittenen Werkstückteilen innerhalb des Werkstücks mit Hilfe von Microjoints dar. Dabei wird die Schneidkontur des entsprechenden Werkstückteils zunächst nicht vollständig ausgeschnitten, sondern es wird ein Verbindungssteg (Microjoint) übriggelassen, über den das ansonsten geschnittene Werkstückteil mit dem übrigen Werkstück (Restgitter) verbunden bleibt. Zum Auftrennen der Microjoints nach vollständiger Abarbeitung der Werkstücktafel bestehen verschiedene Möglichkeiten: Die geschnittene Werkstücktafel kann mit den darin durch die Microjoints gehaltenen Werkstückteilen aus der Maschine entnommen werden. Das Austrennen der Werkstückeile erfolgt dann manuell oder mit einer mechanischen Austrennvorrichtung, beispielsweise durch Vibrationen. Auch ein Auftrennen der Microjoints durch Zerschneiden mit einem Laserstrahl ist möglich (JP 02063693 A, JP 2005230828 A). Ein dabei auftretender deutlich sichtbarer Rückstand an der Schnittkante ist in der Regel unerwünscht, so dass zum Erreichen einer geforderten Kantenqualität ein Nacharbeiten der Schnittkanten an den Positionen der Microjoints notwendig wird.

[0003] DE 195 03 377 C2 beschreibt ein Verfahren, bei dem alle auszuschneidenden Werkstückeile zunächst mit einem Microjoint versehen und dann mittels Brückenteile relativ zum bearbeiteten Werkstück in ihrer ursprünglichen Position gehalten werden, so dass die Microjoints gefahrlos gelöst werden können. Dieses Verfahren ist jedoch aufgrund der benötigten Brückenteile sehr aufwändig und erfordert für jedes Werkstückteil eine Nachbearbeitung der Schnittkanten. Es ist daher wünschenswert, die Anzahl der Microjoints gering zu halten

[0004] Die Entscheidung, an welchen Werkstückteilen Microjoints zum Einsatz kommen, wird bislang auf der Basis einfacher geometrischer Betrachtungen und bezogen auf ein konkretes Werkstückauflagesystem durchgeführt. Die Zuverlässigkeit dieser Vor-

gehensweise wird jedoch beispielsweise durch die Abnutzung des Auflagesystems beeinträchtigt. Außerdem werden für den Schneidprozess relevante Einflussgrößen wie Wärmeverzug des Werkstücks oder Schneidgasdruck nicht berücksichtigt, die zu Kollisionssituationen führen können, welche durch rein geometrische Betrachtung nicht vorhersagbar sind.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0005] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Laserschneiden vorzuschlagen, bei dem unabhängig vom Werkstückauflagesystem eine Kollision zwischen geschnittenen Werkstückteilen und dem Schneidkopf vermieden werden können.

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

[0007] Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst folgende Verfahrensschritte:

- (a) Ermittlung von kollisionsgefährdeten Werkstückteilen, die im Schneidprozess unter Beibehaltung eines Microjoints geschnitten werden sollen;
- (b) Bestimmen von Positionen der Microjoints;
- (c) Bestimmen einer Schneidreihenfolge zum Schneiden der Werkstückeile und einer Freischneidreihenfolge zum Lösen der Microjoints;
- (d) Durchführen des Schneidprozesses, wobei mehrere Werkstückeile unter Auslassung der Microjoints in der Schneidreihenfolge geschnitten werden, wobei sich der Schneidkopf entlang eines ersten Verfahrenswegs bewegt;
- (e) Nach Beenden des Schneidprozesses, Durchführen eines Freischneidprozesses, wobei die Microjoints in der Freischneidreihenfolge gelöst werden, wobei sich der Schneidkopf entlang eines zweiten Verfahrenswegs bewegt; wobei die Positionen der Microjoints und die Freischneidreihenfolge so gewählt wird, dass der zweite Verfahrensweg nicht über frei geschnittene Werkstückeile verläuft.

[0008] Der erste Verfahrensweg verläuft entlang der Schneidkonturen (Umfang) der Werkstückeile (ausgenommen der Microjoints) und entlang der Verbindungswege zwischen den einzelnen Werkstückeilen. Der zweite Verfahrensweg beinhaltet den Weg zum Lösen der Microjoints und die Verbindungswege zwischen den Microjoints. Die beiden Verfahrenswege werden hintereinander abgefahren, so dass zunächst alle Werkstückeile eines zu bearbeitenden Bereichs (z. B. des Werkstücks oder eines Clusters des Werkstücks (s. u.)) ausgeschnitten werden und in einem darauffolgenden Bearbeitungsschritt alle Microjoints in diesem Bereich gelöst werden.

[0009] Erfindungsgemäß werden nur kollisionsgefährdete Werkstückteile mit einem Microjoint versehen, so dass die Anzahl der Microjoints und die damit verbundene Nachbearbeitung gering gehalten werden kann. Dies hat jedoch zur Folge, dass auf dem Weg zwischen zwei Microjoints Werkstückteile ohne Microjoint angeordnet sein können, die durch Verkippung mit dem sich über dem Werkstück bewegenden Schneidkopf kollidieren können. Erfindungsgemäß werden daher die den Verfahrensweg beeinflussenden Parameter (Positionen der Microjoints, Freischneidreihenfolge) so gewählt, dass der Schneidkopf zumindest beim zweiten Verfahrensweg nicht über freigeschnittene Werkstückteile (also entweder ausgeschnittene Werkstückteile ohne Microjoint oder Werkstückteile, bei denen der Microjoint bereits gelöst wurde) geführt wird. Auf diese Weise können Kollisionen mit eventuell verkippten Werkstückteilen vermieden werden. Die Wahl des zweiten Verfahrenswegs erfolgt durch Variation der Positionen der Microjoints und der Freischneidreihenfolge im Rahmen eines iterativen Optimierungsverfahrens. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es also, eine sinnvolle Verteilung der Microjoints und eine definierte, detaillierte Bearbeitungsabfolge der einzelnen Werkstückteile festzulegen.

[0010] Vorzugsweise werden beide Verfahrensweg so gewählt, dass sie nicht über frei geschnittene Werkstückteile verlaufen. In diesem Fall werden die Positionen der Einstichstellen an den Werkstückteilen ohne Microjoint so gewählt, dass auch der erste Verfahrensweg nicht über frei geschnittene Werkstückteile verläuft. Dabei muss die Schneidreihenfolge, in der die Werkstückteile ausgeschnitten werden, berücksichtigt werden. Die Optimierung des ersten Verfahrenswegs erfolgt also durch Variation der Positionen der Einstichstellen und evtl. auch durch Variation der Schneidreihenfolge.

[0011] Vorzugsweise werden bei der Ermittlung der Werkstückteile mit Microjoint folgende Schritte durchgeführt:

- Festlegen von Werkstückteilpaaren mit einem ersten Werkstückteil und einem zweiten Werkstückteil;
- Ermittlung von Konflikten zwischen den Werkstückteilen jedes Werkstückteilpaars, wobei für jedes Werkstückteilpaar ermittelt wird, ob durch eine Verkippung des ersten Werkstückteils das Schneiden des zweiten Werkstückteils behindert wird;
- Festlegung von Microjoints, für jedes erste Werkstückteil, für welches ein Konflikt ermittelt wurde;

[0012] Im Gegensatz zu herkömmlichen Ansätzen zur Beurteilung von Kollisionsgefahren, die auf geometrischen Betrachtungen der Werkstückteile in Relation zum Werkstückauflagesystem beruhen, wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren grundsätzlich

jedes Werkstückteil als Kollisionsrisiko angesehen. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht also eine vom Auflagesystem unabhängige Gefährdungsanalyse.

[0013] Ein Werkstückteilpaar umfasst vorzugsweise benachbarte Werkstückteile, also Werkstückteile, deren Schneidkonturen nebeneinander verlaufen. Eine Paarbetrachtung kann aber auch über zweite oder dritte Nachbarn erfolgen, je nach Lage und Größenunterschied der Werkstückteile. Vorzugsweise bildet jedes Werkstückteil zumindest mit jedem benachbarten Werkstückteil jeweils ein Werkstückteilpaar.

[0014] Vorzugsweise wird jedes Paar zweimal bezüglich eines Konflikts betrachtet, wobei die Reihenfolge der Werkstückteile vertauscht wird. So kann ermittelt werden, ob durch Änderung der Schneidreihenfolge ein Konflikt vermieden werden kann.

[0015] Die Schneid- und Freischneidreihenfolge kann vorab oder nach der Konfliktermittlung bestimmt werden.

[0016] Bei einer besonders bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der zweite Verfahrensweg optimiert, indem die Positionen der Microjoints und/oder die Freischneidreihenfolge variiert werden und als Optimierungskriterium die Minimierung der Länge des zweiten Verfahrenswegs dient.

[0017] Alternativ oder zusätzlich kann eine Optimierung des ersten Verfahrenswegs erfolgen, indem die Positionen von Einstichstellen zum Ausschneiden von Werkstückteilen ohne Microjoint und/oder die Schneidreihenfolge variiert werden und als Optimierungskriterium die Minimierung der Länge des ersten Verfahrenswegs dient.

[0018] Durch die Minimierung der Verfahrensweg wird die Dauer der Bearbeitung verkürzt und die Effizienz des Verfahrens gesteigert.

[0019] Bei einer speziellen Variante werden zur Ermittlung der Werkstückteile mit Microjoint in Schritt (a) folgende Schritte durchgeführt:

- Bestimmung der Schwerpunkte zweier benachbarten Werkstückteile;
- Bestimmung der Radien der Einhüllenden der benachbarten Werkstückteile;
- Festlegen, dass kein Microjoint notwendig ist, wenn $SP - R1 - R2 > 0$, vorzugsweise wenn $SP - R1 - R2 - SK > 0$, mit
 SP = Abstand der Schwerpunkte des Werkstückteilpaars,
 $R1$ = Radius der Einhüllenden eines ersten Werkstückteils,
 $R2$ = Radius der Einhüllenden eines zweiten Werkstückteils,

SK = eine den Schneidkopf kennzeichnende Größe, insbesondere der Durchmesser der Schneid-düse, eines Düsenhalters zur Halterung der Düse oder des Schneidkopfs.

kontur des zweiten Werkstückteils des Werkstück-teilpaars vorliegt;

- Festlegen, dass kein Microjoint vorgesehen wird, wenn keine Überschneidung vorliegt.

[0020] Die Einhüllende eines Werkstückteils beschreibt einen Kreis in der Werkstückebene um den Schwerpunkt des Werkstückteils mit Radius der längsten Verbindungslinie zwischen Schwerpunkt und Schneidkontur. Jede Verdrehung oder Verkippung um den Schwerpunkt des Werkstückteils ist durch die Einhüllende abgedeckt, unabhängig von der Schneidreihenfolge bzw. Freischneidreihenfolge. Wenn die Bedingung $SP - R1 - R2 > 0$ bzw. wenn $SP - R1 - R2 - SK > 0$ erfüllt ist, ist daher gewährleistet, dass keine Kollision durch Verkippung eines der beiden betrachteten Werkstückteile auftreten kann. In diesem Fall wird erfindungsgemäß kein Microjoint vorgesehen.

[0021] In der eben beschriebenen Variante wird eine beliebige Verkippung um den Schwerpunkt betrachtet. Prinzipiell kann die Grobanalyse auch Verkippungen um andere Kippunkte abdecken. Als Kriterium kann dann die Differenz des Abstandes der Kippunkt und der beiden Radien innerhalb dem die Teile um die entsprechenden Kippunkte verkippeln können, dienen.

[0022] Für die den Schneidkopf kennzeichnende Größe wird im einfachsten Fall der Durchmesser der Düse herangezogen. Alternativ können auch andere charakteristische Größen wie Düsenhalter-Geometrie oder Außenabmessungen des Schneidkopfs in Abhängigkeit von der Bauteilgröße und damit von der potentiellen Kollisionshöhe genutzt werden.

[0023] Für den Fall, dass $SP - R1 - R2 < 0$ bzw. $SP - R1 - R2 - SK < 0$ kann ein Konflikt auftreten (potentieller Konflikt) und eine Kollision zwischen einem Werkstückteil und dem Schneidkopf verursachen. Für den Fall, dass mindestens ein Werkstückteilpaar ermittelt wird, für das $SP - R1 - R2 < 0$, vorzugsweise $SP - R1 - R2 - SK < 0$, gilt, wird daher bei einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Detailanalyse für das entsprechende Werkstückteilpaar durchgeführt mit folgenden Verfahrensschritten:

- Bestimmung einer Störkontur für zumindest das erste Werkstückteil, indem ein Verkippeln des betreffenden ersten Werkstückteils um mindestens zwei linear unabhängige Achsen simuliert und die Schneidkontur des ersten Werkstückteils während des simulierten Verkippelns in die Werkstückebene projiziert wird;
- Überprüfen, ob eine Überschneidung der Störkontur des ersten Werkstückteils mit der Schneid-

[0024] Bei dieser Variante wird die Schneidreihenfolge berücksichtigt, indem in der Simulation überprüft wird, ob ein bereits ausgeschnittenes Werkstückteil (erstes Werkstückteil) das Ausschneiden eines anderen Werkstückteils (zweites Werkstückteil) behindern kann. Darüber hinaus wird der Gefahrenbereich des ersten Werkstückteils eingeschränkt, indem nicht die komplette Einhüllende betrachtet wird, sondern zwei ausgewählte Achsen, die als wahrscheinliche Drehachsen in Frage kommen. Bei der Auswahl der Achsen können verschiedene Parameter ausschlaggebend sein, z. B. die Größe des wirkenden Drehmoments, das Verhalten des Werkstücks und somit auch der Werkstückteile mit einer durch die Bearbeitung bedingten Temperaturschwankung, die Richtung der Schneidgasbeaufschlagung des ausgeschnittenen Werkstücks, die Anschnittposition, die Materialstärke, die Konturfiligranität oder die Schnittspaltbreite. Die Achsen werden vorzugsweise für jedes Teil separat festgelegt (teilspezifische Kippachsen).

[0025] Die beiden ausgewählten Achsen schließen vorzugsweise einen Winkel größer als 45° ein. Bei einer besonders bevorzugten Variante stehen die beiden Achsen im Wesentlichen senkrecht aufeinander.

[0026] Es ist auch möglich, eine Verkippung um mehr als zwei Achsen zu simulieren, um die Genauigkeit zu erhöhen.

[0027] Falls die Schneidreihenfolge bei Durchführung der Detailanalyse bereits festliegt, ist es ausreichend, die Überschneidung der Störkontur mit den Schneidkonturen von nachfolgend zu schneidenden Werkstückteilen zu bestimmen. Vorzugsweise wird die Störkontur daher nur für jedes erste Werkstückteil der Werkstückteilpaare bestimmt, da dieses durch Verkippung das Ausschneiden eines nachfolgenden Werkstückteils behindern kann. Es wird dann überprüft, ob eine Überschneidung der Störkontur des ersten Werkstückteils mit der Schneidkontur des zweiten Werkstückteils vorliegt.

[0028] Alternativ hierzu kann auch für alle betreffenden Werkstückteile (also für Werkstückteile, für die $SP - R1 - R2 < 0$, vorzugsweise: $SP - R1 - R2 - SK < 0$, gilt) eine Störkontur ermittelt werden. Bei einer späteren Änderung der Schneid- bzw. Freischneidreihenfolge kann dann auf diese Daten zurückgegriffen werden.

[0029] Eine alternative Variante ist dadurch gekennzeichnet, dass, für den Fall, dass mindestens ein Werkstückteilpaar ermittelt wird, für das $SP - R1 - R2$

< 0 , vorzugsweise $SP - R1 - R2 < SK$, gilt, eine Detailanalyse für das entsprechende Werkstückteilpaar durchgeführt wird mit folgenden Verfahrensschritten:

- Bestimmung einer Störkontur für zumindest das erste Werkstückteil, indem ein Verkippen des betreffenden ersten Werkstückteils um mindestens zwei linear unabhängige Achsen simuliert und die Schneidkontur des ersten Werkstückteils während des simulierten Verkippens in die Werkstückebene projiziert werden,
- Bestimmung einer erweiterten Störkontur für zumindest das erste Werkstückteil, indem die bestimmte Störkontur über ihren gesamten Umfang um einen Abstandswert, vorzugsweise um eine geometrische Abmessung des Schneidkopfes, vergrößert wird;
- Überprüfen, ob eine Überschneidung der erweiterten Störkontur des ersten Werkstückteils mit der Schneidkontur des zweiten Werkstückteils des Werkstückteilpaars vorliegt;
- Festlegen, dass kein Microjoint vorgesehen wird, wenn keine Überschneidung vorliegt.

[0030] Zusätzlich zu der zuvor beschriebenen Verfahrensvariante erfolgt die Detailanalyse hier also unter Berücksichtigung der Geometrie des Schneidkopfes.

[0031] Prinzipiell kann die Detailanalyse auch ohne vorherige Grobanalyse durchgeführt werden. Die oben beschriebenen zweistufigen Verfahrensvarianten steigert jedoch in erheblichem Maße die Effizienz, da die rechenaufwändige Detailanalyse in diesem Fall nicht für alle möglichen, sondern lediglich für die konfliktgefährdeten Paarkombinationen durchgeführt werden muss.

[0032] Vorzugsweise verlaufen die beiden linear unabhängigen Achsen durch den Schwerpunkt des Werkstücks, da eine Verkippung des Werkstückteils um seinen Schwerpunkt am wahrscheinlichsten ist. Als Achse kann z. B. die Achse senkrecht zur längsten Kante des Werkstücks oder zum größten Abstand von Schwerpunkt und Schneidkontur dienen.

[0033] Bei einer bevorzugten Variante beträgt die simulierte Verkippung des Werkstücks $\pm 90^\circ$. Es kann jedoch auch vorteilhaft sein eine Verkippung von $\pm 180^\circ$ zu simulieren.

[0034] Um die Anzahl der Microjoints möglichst gering zu halten, sieht eine besonders bevorzugte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens vor, dass für diejenigen Werkstückteile jeweils ein Microjoint vorgesehen wird, deren Störkontur oder deren erweiterte Störkontur sich mit der Schneidkontur eines nachfolgend zu schneidenden, Werkstückteils überschneidet, und dass eine Optimierung durchgeführt wird, bei der durch Variation der Schneidreihenfolge der Werkstückteile die Anzahl der Microjoints mini-

miert wird. Hierdurch wird die Zeit für das Lösen der Microjoints, sowie der Aufwand für die Nachbearbeitung der Kanten verringert.

[0035] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Positionen der Microjoints so gewählt werden, dass sie außerhalb von Konfliktbereichen liegen, wobei der Konfliktbereich eines zweiten Werkstückteils, den Bereich der Schneidkonturen des zweiten Werkstückteils darstellt, der innerhalb der Störkontur, vorzugsweise innerhalb der erweiterte Störkontur, des zuvor freizuschneidenden Werkstückteils liegt. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass verkippte Werkstückteile das Schneiden anderer Werkstückteile oder das Lösen von Microjoints nicht verhindern.

[0036] Bei einer speziellen Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens, umfassen die Werkstückteilen Kindteile und Elternteile, wobei Kindteile Werkstückteile sind, deren Schneidkonturen von einer Schneidkontur eines anderen Werkstückteils umschlossen werden, wobei Elternteile Werkstückteile sind, dessen Schneidkonturen eine Schneidkontur eines anderen Werkstückteils umschließen oder an ein ein anderes Werkstück umschließendes Werkstück angrenzen, wobei die Kindteile einer anderen Generation zugeordnet werden als die Elternteile, und wobei die Schneidreihenfolge so festgelegt wird, dass Kindteile vor Elternteilen geschnitten werden. Werkstückteile derselben Generation werden als „Nachbarn“ bezeichnet.

[0037] Vorzugsweise wird die Detailanalyse zwischen Werkstückteilen verschiedener Generationen vor der Detailanalyse zwischen Werkstückteilen derselben Generation durchgeführt.

[0038] Das erfindungsgemäße Verfahren kann für ein Werkstück einmalig angewandt werden. In diesem Fall wird zunächst der Schneidprozess für alle Werkstückteile dieses Werkstücks und anschließend der Freischneidprozess durchgeführt.

[0039] Alternativ hierzu können vorab Cluster festgelegt werden, wobei ein Cluster alle Werkstückteile des Werkstücks umfasst, deren Schneidkonturen und Störkonturen, vorzugsweise deren Schneidkonturen und erweiterte Störkonturen, sich überschneiden. Die Verfahrensschritte (a)–(d) werden für jeden Cluster separat durchgeführt. Zu einem Cluster gehören alle Werkstückteile, die direkt miteinander oder über einen anderen oder mehrere andere Werkstückteile in Konflikt stehen. Eine Clusterbildung kann auch bereits basierend auf der Grobanalyse erfolgen. In Konflikt stehen dann diejenigen Werkstückteile, bei denen die Differenz $SP - R1 - R2$ bzw. die Differenz $SP - R1 - R2 - SK$ größer als 0 ist.

[0040] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es möglich, die Microjoints effizient zu platzieren, die

Zahl der notwendigen Microjoints zu minimieren und trotzdem einen sicheren Ablauf des Schneidprozesses zu gewährleisten.

[0041] Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und den Zeichnungen. Ebenso können die vorstehend genannten und die weiter aufgeführten Merkmale je für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

[0042] Es zeigen:

[0043] Fig. 1 einen Ausschnitt eines Werkstücks mit Werkstückteilen verschiedener Generationen;

[0044] Fig. 2 einen Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0045] Fig. 3 ein Ablaufdiagramm zur Ermittlung von Konflikten und Festlegung von Clustern gemäß einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0046] Fig. 4 die Lage einer Störkontur eines ersten Werkstückteils bezüglich eines zweiten Werkstückteils;

[0047] Fig. 5 ein Werkstück mit verschiedenen Clustern;

[0048] Fig. 6 eine schematische Darstellung des iterativen Optimierungsverfahrens;

[0049] Fig. 7 ein Ablaufdiagramm zur Festlegung von Microjoints und Einstichstellen und zur Optimierung des ersten und zweiten Verfahrenswegs gemäß einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0050] Fig. 8a eine Darstellung eines Clusters aus Fig. 5 mit vorläufig festgelegten Positionen von Microjoints und Einstichstellen;

[0051] Fig. 8b eine Darstellung des Clusters aus Fig. 7a mit vorläufigem zweiten Verfahrensweg;

[0052] Fig. 8c eine Darstellung des Clusters aus Fig. 7a mit optimiertem zweiten Verfahrensweg;

[0053] Fig. 8d eine Darstellung des Clusters aus Fig. 7a mit vorläufigem ersten Verfahrensweg; und

[0054] Fig. 8e eine Darstellung des Clusters aus Fig. 7a mit optimiertem ersten Verfahrensweg.

[0055] In einem Schneidprozess sollen aus einem Werkstück Werkstückteile mittels eines Schneidkopfes, insbesondere eines Laserschneidkopfes, herausgetrennt werden, wobei der Schneidkopf entlang eines ersten Verfahrenswegs bewegt wird. Beim Heraustrennen der einzelnen Werkstückteile kann es zum Verkippfen von bereits freigeschnittenen Werkstückteilen kommen, welche mit dem das Werkstück bearbeitenden Schneidkopf kollidieren können. Das erfindungsgemäße Verfahren soll solche Kollisionen vermeiden. Dazu werden erfindungsgemäß ausgewählte Werkstückteile mit Microjoints versehen, die während des Schneidprozesses die ausgewählten Werkstückteile mit dem Werkstück verbinden und in einem nachgelagerten Freischneidprozess mittels des Schneidkopfes gelöst werden. Das Auftrennen der Microjoints mit dem Laserstrahl kann separat nach Herausnehmen des geschnittenen Werkstücks mit den darin mit Microjoints gehaltenen Werkstückteilen aus der Maschine erfolgen. Voraussetzung hierfür ist eine genaue Lageerfassung der Microjoints, beispielsweise durch den Einsatz von bildgebender Positionssensorik. Vorzugsweise wird das Freischneiden jedoch direkt im Anschluss an den Schneidprozess in der Laserschneidmaschine durchgeführt, ohne dass das Werkstück zuvor zwischengelagert wurde. Der Schneidkopf wird dazu entlang eines zweiten Verfahrenswegs bewegt.

[0056] Fig. 1 zeigt einen Ausschnitt eines Werkstücks **1** in Form einer Werkstücktafel, mit ineinander geschachtelten Werkstückteilen **2a**, **2b**, **3a**, **3b**, **3c**, deren Positionen festgelegt sind. Die Belegung des Werkstücks **1** wird zunächst durch ein Generationenmodell strukturiert. Dabei wird zwischen benachbarten und ineinander geschachtelten Werkstückteilen unterschieden: ineinander geschachtelte Werkstückteile werden verschiedenen „Generationen“ E, K zugewiesen. Einer Generation werden alle Werkstückteile zugeordnet, die einander nicht umgeben oder nicht von einem umgebenden Werkstückteil voneinander getrennt sind. Werkstückteile derselben Generation werden als „Nachbarn“ bezeichnet. In Fig. 1 beispielsweise sind die Werkstückteile **2a**, **2b** Nachbarn und gehören der Generation K („Kind“) an. Werkstückteile **3a**, **3b**, **3c** sind ebenfalls Nachbarn und gehören zur Generation E („Eltern“). Werkstückteile verschiedener Generationen stehen über die sogenannte Eltern-Kind-Beziehung in Verbindung. So sind die in Fig. 1 dargestellten Werkstückteile **2a**, **2b** der Generation K beispielsweise Kinder des Werkstückteils **3a** der Generation E. Benachbarte Werkstückteile werden nach anderen Kriterien abgeprüft als Werkstückteile, die über die Eltern-Kind-Beziehung miteinander in Verbindung stehen.

[0057] Fig. 2 zeigt den groben Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens: Zunächst wird untersucht, welche Werkstückteile zueinander eine Kollisionsgefahr (Konfliktanalyse) darstellen und daher

gemeinsam behandelt werden müssen (Clusterbildung). Im Rahmen der Konfliktanalyse erfolgt zunächst eine Grobanalyse mit der Werkstückteilpaare ermittelt werden, die sicher nicht in Konflikt miteinander geraten. Für Werkstückteile, bei denen ein Konflikt nicht sicher ausgeschlossen werden kann, wird eine Detailanalyse (Konfliktcheck) durchgeführt, bei der die genaue Kontur berücksichtigt wird. Aufgrund dieser Analyse wird festgelegt, welche Werkstückteile mit einem Microjoint versehen werden, welche Werkstückteile also im Schneidprozess unter Beibehaltung eines Verbindungsstegs geschnitten werden.

[0058] In einem zweiten Schritt (Initialisierung) werden die Reihenfolge, in der die Microjoints getrennt werden sollen (Freischneidreihenfolge), und die Positionen der Microjoints festgelegt.

[0059] In einem anschließenden Optimierungsprozess wird der zweite Verfahrensweg durch Variation der Positionen der Microjoints und der Freischneidreihenfolge ermittelt und optimiert, so dass beim Durchlaufen des zweiten Verfahrenswegs keine freigeschnittenen Werkstückteile überfahren werden. Die Werkstückteile werden schließlich in einem Schneidprozess entlang des ersten Verfahrenswegs unter Beibehaltung der Microjoint geschnitten. Anschließend werden die Microjoints in einem Freischneidprozess entlang des zweiten Verfahrenswegs gelöst.

[0060] Eine bevorzugte Variante der erfindungsgemäßen Konfliktanalyse ist detailliert in **Fig. 3** dargestellt:

Grobanalyse

[0061] Im Rahmen der Grobanalyse werden für jedes Werkstückteil die Schwerpunktlage und der Radius R_1 , R_2 des das Werkstückteil einhüllenden Kreises ermittelt. Dieser Radius R_1 , R_2 bildet die maximale Höhe, die das kippende Werkstückteil bei einer Verkippung um seinen Schwerpunkt erreichen kann. Um Kollisionsrisiken zwischen zwei Werkstückteilen auszuschließen, werden vom Abstand SP der Schwerpunktlagen jeweils der zuvor berechnete Radius und vorzugsweise eine für den Schneidkopf charakteristische Größe SK subtrahiert. Welche für den Schneidkopf charakteristische Größe verwendet wird, hängt insbesondere von der Größe des Radius der Einhüllenden ab, da dieser ausschlaggebend dafür ist, mit welchem Werkstückteil des Schneidkopfes das Werkstückteil kollidieren kann. Entsprechend wird vorzugsweise die bis zu dieser Höhe maximale Ausdehnung des Schneidkopfes verwendet. Zwischen allen Werkstückteilpaaren mit $SP - R_1 - R_2 - SK > 0$ liegt kein Kollisionsrisiko vor.

Detailanalyse:

[0062] Für alle Werkstückteilpaare, die sich in der Grobanalyse als kollisionsgefährdet erweisen (Differenz < 0), wird eine detaillierte Betrachtung durchgeführt, in der eine Störkontur **4A** eines ersten Werkstückteils A ermittelt wird. **Fig. 4** zeigt ein Werkstückteilpaar mit einem ersten Werkstückteil A und einem zweiten Werkstückteil B mit Schneidkonturen **5A**, **5B**, wobei das erste Werkstückteil A in der Schneidreihenfolge vor dem zweiten Werkstückteil B liegt. In einer Simulation wird zunächst das erste Werkstückteil A um zwei zueinander linear unabhängige Achsen, die durch den Schwerpunkt verlaufen, gekippt. Während der Verkippung werden die Außenkonturlinien (verkippte Schneidkontur **5A**) des gekippten Werkstückteils A in die Werkstückebene projiziert. Die maximale Ausdehnung der projizierten Außenkonturlinien ergibt die Störkontur **4A** (gestrichelt) des ersten Werkstückteils A. In dem in **Fig. 4** gezeigten Beispiel werden die Werkstückteile A, B um 90° um ihren Schwerpunkt verkippert. Anschließend wird überprüft, ob eine Überschneidung der Störkontur **4A** des ersten Werkstückteils A mit der Schneidkontur **5B** des zweiten Werkstückteils B vorliegt. Dies ist im gezeigten Beispiel der Fall. Die beiden Werkstückteile A, B stehen daher miteinander in Konflikt.

[0063] Die Reihenfolge der Abarbeitung der Werkstückteile **2a**, **2b**, **2a**, **3b**, **3c**, d. h. die Schneidreihenfolge der einzelnen Werkstückteile **2a**, **2b**, **2a**, **3b**, **3c**, muss bei dieser Detailanalyse berücksichtigt werden, da Schneidkontur und Störkontur der einzelnen Werkstückteile **2a**, **2b**, **2a**, **3b**, **3c** sich in Größe und Geometrie unterscheiden können. Verglichen werden immer die Störkontur **4A** des zuerst zu schneidenden Werkstückteils (erstes Werkstückteil A) mit der Schneidkontur **5B** des später zu schneidenden Werkstückteils (zweites Werkstückteil B). Bei der Festlegung einer Schneidreihenfolge muss beachtet werden, dass Innenkonturen oder innen liegende Werkstückteile („Kind“-Teile), immer vorrangig vor Außenkonturen („Eltern“-Teilen) geschnitten werden. Bei der detaillierten Betrachtung von Kollisionsrisiken wird daher im ersten Schritt diese Eltern-Kind-Beziehung ausgewertet, da bei Eltern-Kind-Beziehungen die Schneidreihenfolge nicht verändert werden kann. Falls eine Überschneidung der Störkontur **4A** und der Schneidkontur **5B** von benachbarten Werkstückteilen vorliegt, besteht eine Kollisionsgefahr (Konflikt).

[0064] Falls keine Kollision ermittelt wird, kann die Überschneidungsprüfung mit einer erweiterten Störkontur **4A'** (gestrichpunktet) durchgeführt werden. Bei der erweiterten Störkontur **4A'** wird die Schneidkopfgeometrie berücksichtigt (wie bereits im Rahmen der Grobanalyse) beschrieben.

[0065] Denselben Effekt erreicht man, wenn zur Schneidkontur **5B** des zweiten Werkstückteils B ein (von der Schneidkopfgeometrie abhängiger) konstanter Abstand SK (z. B. der größten Außendurchmesser der Schneiddüse) addiert wird (= vergrößerte Schneidkontur). Anschließend wird geprüft, ob eine Überschneidung dieser erweiterten Schneidkontur des zweiten Werkstückteils B mit der Störkontur **4A** des ersten Werkstückteils A, und somit eine Kollisionsgefahr vorliegt.

[0066] Falls eine Kollisionsgefahr festgestellt wird, kann die Reihenfolge der beiden Werkstückteile vertauscht werden (Rollentausch – rechtes Werkstückteil in **Fig. 4** ist dann erstes Werkstückteil A), um zu überprüfen, ob eine Veränderung der Schneidreihenfolge zu einer Lösung des Konflikts führt. Die Schneidreihenfolge wird vorzugsweise so lange variiert, bis eine minimale Anzahl an Microjoint notwendig ist, um Kollisionen zu verhindern.

Clusterbildung:

[0067] Die Bereiche, in denen sich die erweiterten Störkonturen **4A'** mit den Schneidkonturen **5B** bzw. sich die Störkonturen **4A** mit den vergrößerten Schneidkonturen überschneiden, werden als Kollisionsbereiche **6** bezeichnet (schraffierte Bereiche in **Fig. 5**). Alle Werkstückteile, die über diese Kollisionsbereiche **6** verbunden sind, werden einem „Cluster“ I, II, III zugeordnet. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass lediglich innerhalb des Clusters I, II, III zwischen einzelnen Werkstückteilen **2a, 2b, 3a, 3b, 3c** Kollisionswechselwirkungen vorliegen. Zwischen benachbarten Clustern I, II, III selbst liegen keine Stellen mit Kollisionsgefahr vor. Je nach der Belegung des Werkstücks **1** mit zu schneidenden Werkstückteilen **2a, 2b, 3a, 3b, 3c** können sich ein oder mehrere Cluster I, II, III ausbilden. In dem in **Fig. 5** gezeigten Beispiel bilden die Werkstückteile drei Cluster I, II, III. Die folgenden Verfahrensschritte (Wahl der Werkstückteile mit Microjoints, Schneidbahnplanung des ersten und zweiten Verfahrenswegs und die Bahnoptimierung) können dann für die einzelnen Cluster I, II, III nacheinander und unabhängig voneinander abgearbeitet werden.

Optimierung der Verfahrenwege und Microjoint-Positionen

[0068] Nach der Kollisionsanalyse erfolgt eine Bahnplanung, bei welcher der erste und der zweite Verfahrensweg des Schneidkopfes bestimmt und optimiert werden. Der erste Verfahrensweg legt fest, wie die Werkstückteile (mit und ohne Microjoints) geschnitten werden. Der zweite Verfahrensweg beschreibt den Weg des Schneidkopfes beim Lösen der gesetzten Microjoints.

[0069] Als Ausgangspunkt für das Optimierungsverfahren werden Positionen der Microjoints und die

Schneid- und Freischneidreihenfolge vorläufig festgelegt, welche den ersten und den zweiten Verfahrensweg bestimmen. Der zweite (und vorzugsweise auch der erste) Verfahrensweg werden anschließend optimiert. Dazu werden die Positionen der Microjoints/Einstichstellen und/oder die Freischneidreihenfolge/Schneidreihenfolge variiert. Dieser Prozess erfolgt iterativ, wie in **Fig. 6** dargestellt. Der Optimierungsprozess stellt ein numerisches Verfahren da und läuft automatisch ab. Die Konvergenz des Verfahrens wird durch das Optimierungskriterium „keine Kollision“ und einen speziell auf diese Problemstellung abgestimmten Formalismus zur Modifikation erreicht, der im Folgenden beschrieben ist:

Fig. 7 zeigt den Ablauf des erfindungsgemäßen Optimierungsverfahrens. Zunächst erfolgt eine Initialisierung. Hier wird festgelegt, welche Werkstückteile einen Microjoint benötigen und welche direkt freigeschnitten werden können. Es werden also diejenigen Werkstückteile identifiziert, bei denen ein ungelöster Konflikt vorliegt. Stehen zwei benachbarte Werkstückteile in Kollisionswechselwirkung, so muss an einem davon ein Microjoint gesetzt werden. Ansonsten ist kein Microjoint notwendig.

[0070] Durch das Vorsehen eines Microjoints an diesen konfliktbelasteten Werkstückteilen können benachbarte, in Kollisionswechselwirkung stehende Werkstückteile kollisionsfrei bearbeitet werden.

[0071] Bei der Festlegung der Positionen der Microjoints wird berücksichtigt, dass Microjoints nicht in Konfliktbereichen positioniert werden dürfen. Konfliktbereiche stellen diejenigen Abschnitte der Schneidkonturen der noch freizuschneidenden Werkstückteile dar, die durch eine Verkippung von bereits freigeschnittenen Werkstückteilen blockiert werden können. Die Abschnitte der Schneidkonturen, welche nicht in einem Konfliktbereich liegen, bilden den „erlaubten Bereich“. Die Bahnplanung erfolgt erfindungsgemäß so, dass der Schneidkopf niemals bereits freigeschnittene Werkstückteile überfährt. Zusätzlich kann eine Minimierung des zweiten Verfahrenswegs als weiteres Optimierungsziel gewählt werden. Für die Optimierung des zweiten Verfahrenswegs (Lösen der Microjoints) ist es nur notwendig, Werkstückteile mit Microjoints zu berücksichtigen. Hierbei werden die Microjoints unter Berücksichtigung des erlaubten Bereichs zum minimal möglichen Abstand zum nächsten Werkstückteil verschoben. Bei der Optimierung des ersten Verfahrenswegs hingegen werden nur Werkstückteile ohne Microjoint berücksichtigt. Hierbei ist das Ziel, die optimale Einstichstellen, also die Position auf der Schneidkontur, an der das Ausschneiden des entsprechenden Werkstückteils beginnt, zu finden.

[0072] **Fig. 8a–Fig. 8e** zeigen den Cluster II mit Werkstückteilen **2a, 2b, 3a, 3b, 3c**. Anhand dieses Clusters II wird beispielhaft die Microjoint-Posi-

tionierung, Bahnplanung und Bahnoptimierung gezeigt. Die Bahnplanung beginnt stets in der untersten Generation K mit den Werkstückteilen **2a**, **2b**. Die Schneidreihenfolge (**2a-2b-3a-3b-3c**) sowie die Freischneidreihenfolge (**2a-3a-3b**) wurde im vorliegenden Beispiel vorab festgelegt. Der Konfliktcheck hat zuvor bereits ergeben, dass die benachbarten Werkstückteile **2a**, **2b** eine potentielle Kollisionsgefahr aufweisen, also über einen Kollisionsbereich **6** (Schraffierung zwischen den Werkstückteilen **2a**, **2b**) verbunden sind (**Fig. 8a**). Daher benötigt Werkstückteil **2a** einen Microjoint **7** (dargestellt als schwarzes Quadrat), der zunächst an eine beliebige Position gesetzt wird. Das benachbarte Werkstückteil **2b** ist somit geschützt, steht zudem nicht mit dem Elternteil **3a** in Konflikt und benötigt daher keinen Microjoint.

[0073] Im nächsten Schritt wird das Werkstückteil **3a** betrachtet. Dies steht mit den benachbarten Werkstückteilen **3b**, **3c** in Konflikt und benötigt daher ebenfalls einen Microjoint **9**. Ebenso benötigt Werkstückteil **3b** einen Microjoint **10**, da es mit Werkstückteil **3c** in Konflikt steht. Durch das Setzen der Microjoints **7**, **9**, **10** lösen sich nun alle Kollisionsbereiche **6** (Schraffierungen) auf. Dafür entstehen einige Konfliktbereiche **8** (mit Kreuzen gekennzeichnet), in denen sich die Microjoints **7**, **9**, **10** nicht befinden dürfen, da in diesen Konfliktbereichen **8** eine Verkippung eines freigeschnittenen Werkstückteils das Lösen der Microjoints **7**, **9**, **10** stören kann. In **Abb. 8a** befindet sich der Microjoint **7** von Werkstückteil **2a** im Konfliktbereich **8**. Wenn das Werkstückteil **2b** beim Schneiden kippt, könnte der Microjoint **7** an Werkstückteil **2a** nicht mehr gelöst werden. Die Position des Microjoints **7** muss daher im Rahmen der Bahnoptimierung geändert werden (s. u.).

[0074] Für die Werkstückteile **2b**, **3c** ohne Microjoint werden Einstichstellen **11**, **12** festgelegt.

[0075] Nach Festlegung der Microjoints **7**, **9**, **10** und der Einstichstellen **11**, **12** können nun ein erster Verfahrensweg **13** für den Schneidprozess und ein zweiter Verfahrensweg **14** für den Freischneidprozess festgelegt werden. Der zweite Verfahrensweg **14** verbindet die Microjoints **7**, **9**, **10** vorzugsweise auf direktem Wege (**Fig. 8b**). Diese vorläufige Festlegung muss allerdings anschließend noch optimiert werden. **Fig. 8b** zeigt, an welchen Stellen Optimierungsbedarf (mit Blitzen markiert) besteht: Microjoint **7** liegt im Konfliktbereich **6**; auf dem Weg von Microjoint **7** zu Microjoint **9**, wird das zuvor freigeschnittene Werkstückteil **2b** überfahren; auf dem Weg von Microjoint **9** zu Microjoint **10** werden die zuvor freigeschnittenen Werkstückteile **2b**, **3a** überfahren; nach Lösen des Microjoints **10** wird das eben gelöste Werkstückteil **3b** überfahren. Um den Microjoint **7** aus den Konfliktbereichen zu bringen, die Wege zu kürzen und dafür zu sorgen, dass bereits freigeschnittene Werkstückteile nicht mehr überfahren werden, erfolgt die

Bahnoptimierung, bei der die Microjoints **7**, **9**, **10** verschoben werden. Dabei wird so lange iterativ optimiert, bis freigeschnittene Werkstückteile nicht mehr überfahren werden, vorzugsweise bis die folgenden Kriterien alle erfüllt sind:

1. Alle Microjoints befinden sich in erlaubten Bereichen
2. Freigeschnittene Werkstückteile werden nicht mehr überfahren werden
3. Minimal möglicher Verfahrensweg zum nächsten Werkstückteil

[0076] **Fig. 8c** zeigt einen optimierten zweiten Verfahrensweg **14** mit optimierten Microjoints **7**, **9**, **10**.

[0077] Vor oder nach Ermittlung des optimierten zweiten Verfahrenswegs **14** kann zusätzlich auch der erste Verfahrensweg **13** optimiert werden. Im vorliegenden Beispiel erfolgt die Optimierung des ersten Verfahrenswegs **13** nach der Optimierung des zweiten Verfahrenswegs. **Fig. 8d** zeigt den ersten Verfahrensweg **13** mit den im Rahmen der Optimierung des zweiten Verfahrenswegs verschobenen Microjoints **7**, **9**, **10**. Die Microjoints **7**, **9**, **10** und die Einstichstellen **11**, **12** geben vor, an welcher Stelle der Schneidkopf an der Schneidkontur angesetzt werden soll. Der erste Verfahrensweg **13** verbindet die Microjoints **7**, **9**, **10** und die Einstichstellen **11**, **12** vorzugsweise auf direktem Wege. **Fig. 8d** zeigt deutlich, dass auch für den ersten Verfahrensweg **13** Optimierungsbedarf besteht: auf dem Weg von Einstichstelle **11** zu Microjoint **9**, wird das zuvor freigeschnittene Werkstückteil **2b** überfahren; auf dem Weg von Einstichstelle **12** zum Microjoint **7** werden das zuvor freigeschnittene Werkstückteil **3c** überfahren. Die Einstichstellen werden nun so gewählt, dass ein Überfahren von bereits freigeschnittenen Werkstückteilen nicht notwendig ist. Zusätzlich kann bzgl. eines minimalen ersten Verfahrenswegs optimiert werden

[0078] **Fig. 8e** zeigt den Verlauf eines optimierten ersten Verfahrenswegs **13** mit optimierten Einstichstellen **11**, **12**. Der optimierte erste Verfahrensweg **13** verläuft so, dass lediglich noch nicht geschnittene oder mit einem Microjoint versehene Werkstückteile vom Schneidkopf überfahren werden.

[0079] Das erfindungsgemäße Verfahren optimiert das Auftrennen der Microjoints in einem Schneidprozess, insbesondere einem Laserschneidprozess. Im Rahmen der Erfindung wird sichergestellt, dass keine freigeschnittenen Werkstückteile beim Auftrennen der Microjoints überfahren werden, indem die Microjoint-Positionen entsprechend gewählt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht einen kollisionsfreien Schneidprozess durch das Vorsehen von im Rahmen der Konfliktanalyse ermittelten Microjoints und einen kollisionsfreien Freischneidprozess durch die erfindungsgemäße Positionierung der Microjoints. Hierdurch kann ein prozesssicheres Ab-

arbeiten des Werkstücks bei gleichzeitiger Effizienzsteigerung bei der Programmierung und Abarbeitung gewährleistet werden. Des Weiteren kann die Prozesssicherheit unabhängig von Ausführung und Zustand der Blechauflage gewährleistet werden. Zusätzlich wird eine Qualitätssteigerung erreicht, da nur Bauteile mit Kollisionsgefahr mittels Microjoints fixiert werden.

Bezugszeichenliste

1	Werkstück
2a, 2b	Werkstückteile der Generation K
3a, 3b, 3c	Werkstückteile der Generation E
4A, 4B	Störkonturen der Werkstückteile A, B
4A'	Erweiterte Störkonturen des Werkstückteils A
5a, 5b	Schneidkonturen der Werkstückteile A, B
6	Kollisionsbereiche = Bereiche, in denen sich die erweiterten Störkontur eines Werkstückteils mit der Schneidkontur eines anderen Werkstückteils überschneidet
7, 9, 10	Microjoint
8	Konfliktbereich = den Bereich der Schneidkonturen von zweiten Werkstückteilen, der innerhalb der Störkontur, vorzugsweise innerhalb der erweiterte Störkontur, eines zuvor freizuschneidenden (ersten) Werkstückteils liegt.
11, 12	Einstichstellen
13	erster Verfahrensweg
14	Zweiter Verfahrensweg
I, II, III	Cluster
A	Erstes Werkstückteil eines Werkstückteilpaars (liegt in der Schneidreihenfolge vor Werkstückteil B)
B	Zweites Werkstückteil eines Werkstückteilpaars (liegt in der Schneidreihenfolge hinter Werkstückteil A)
E	Eltern-Generation
K	Kind-Generation
R1, R2	Radien der Einhüllenden je eines Werkstückteils
SK	eine geometrische Abmessung des Schneidkopf
SP	Abstand der Schwerpunkte zweier Werkstückteile

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 02063693 A [0002]
- JP 2005230828 A [0002]
- DE 19503377 C2 [0003]

Patentansprüche

1. Verfahren zur trennenden Bearbeitung eines plattenförmigen Werkstücks (1) mit auszuschneidenden Werkstückteilen (2a, 2b, 3a, 3b, 3c), wobei jedes Werkstückteil (2a, 2b, 3a, 3b, 3c) in einem Schneidprozess mit Hilfe einer Schneiddüse eines Schneidkopfes entlang einer Schneidkontur (5A, 5B) geschnitten wird, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

(a) Ermittlung von kollisionsgefährdeten Werkstückteilen (2a, 3a, 3b), die im Schneidprozess unter Beibehaltung eines Microjoints (7, 9, 10) geschnitten werden sollen;

(b) Bestimmen von Positionen der Microjoints (7, 9, 10);

(c) Bestimmen einer Schneidreihenfolge zum Schneiden der Werkstückteile (2a, 2b, 3a, 3b, 3c) und einer Freischneidreihenfolge zum Lösen der Microjoints (7, 9, 10);

(d) Durchführen des Schneidprozesses, wobei mehrere Werkstückteile (2a, 2b, 3a, 3b, 3c) unter Auslassung der Microjoints (7, 9, 10) in der Schneidreihenfolge geschnitten werden, wobei sich der Schneidkopf entlang eines ersten Verfahrenswegs (13) bewegt;

(e) Nach Beenden des Schneidprozesses, Durchführen eines Freischneidprozesses, wobei die Microjoints (7, 9, 10) in der Freischneidreihenfolge gelöst werden, wobei sich der Schneidkopf entlang eines zweiten Verfahrenswegs (14) bewegt; wobei die Positionen der Microjoints (7, 9, 10) und die Freischneidreihenfolge so gewählt wird, dass der zweite Verfahrensweg (14) nicht über frei geschnittene Werkstückteile verläuft.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Ermittlung der Werkstückteile (2a, 3a, 3b) mit Microjoint (7, 9, 10), folgende Schritte durchgeführt werden:

– Festlegen von Werkstückteilpaaren mit einem ersten Werkstückteil (A) und einem zweiten Werkstückteil (B);

– Ermittlung von Konflikten zwischen den Werkstückteilen (A, B) jedes Werkstückteilpaars, wobei für jedes Werkstückteilpaar ermittelt wird, ob durch eine Verkipfung des ersten Werkstückteils (A) das Schneiden des zweiten Werkstückteils (B) behindert wird;

– Festlegung von Microjoints (7, 9, 10), für jedes erste Werkstückteil, für welches ein Konflikt ermittelt wurde.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Verfahrensweg (14) optimiert wird, indem die Positionen der Microjoints (7, 9, 10) und/oder die Freischneidreihenfolge variiert werden und als Optimierungskriterium die Minimierung der Länge des zweiten Verfahrenswegs (14) dient.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Verfahrensweg (13) optimiert wird, indem die Positionen von Einstichstellen (11, 12) zum Ausschneiden von Werkstückteilen (2b, 3c) ohne Microjoint und/oder die Schneidreihenfolge variiert werden und als Optimierungskriterium die Minimierung der Länge des ersten Verfahrenswegs (13) dient.

5. Verfahren einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**,

dass zur Ermittlung der Werkstückteile mit Microjoint in Schritt (a) folgende Schritte durchgeführt werden:

a. Bestimmung der Schwerpunkte zweier benachbarten Werkstückteile (A, B);

b. Bestimmung der Radien (R1, R2) der Einhüllenden der benachbarten Werkstückteile (A, B);

c. Festlegen, dass kein Microjoint notwendig ist, wenn $SP - R1 - R2 > 0$, vorzugsweise wenn $SP - R1 - R2 - SK > 0$, mit

SP = Abstand der Schwerpunkte des Werkstückteilpaars

R1 = Radius des Einhüllenden eines ersten Werkstückteils (A)

R2 = Radius des Einhüllenden eines zweiten Werkstückteils (B)

SK = eine den Schneidkopfes kennzeichnende Größe, insbesondere der Durchmesser der Schneiddüse, eines Düsenhalters zur Halterung der Düse oder des Schneidkopfs.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass

für den Fall, dass mindestens ein Werkstückteilpaar ermittelt wird, für das gilt: $SP - R1 - R2 < 0$, vorzugsweise dass gilt: $SP - R1 - R2 - SK < 0$, eine Detailanalyse für das entsprechende Werkstückteilpaar durchgeführt wird mit folgenden Verfahrensschritten,

– Bestimmung einer Störkontur (4A) für zumindest das erste Werkstückteil (A), indem ein Verkippen des betreffenden ersten Werkstückteils (A) um mindestens zwei linear unabhängige Achsen simuliert und die Schneidkontur (5A) des ersten Werkstückteils (A) während des simulierten Verkippens in die Werkstückebene projiziert werden,

– Überprüfen, ob eine Überschneidung der Störkontur (4A) des ersten Werkstückteils (A) mit der Schneidkontur (5B) des zweiten Werkstückteils (B) des Werkstückteilpaars vorliegt;

– Festlegen, dass kein Microjoint vorgesehen wird, wenn keine Überschneidung vorliegt.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass für den Fall, dass mindestens ein Werkstückteilpaar ermittelt wird, für das gilt: $SP - R1 - R2 < 0$, vorzugsweise dass gilt: $SP - R1 - R2 - SK < 0$, eine Detailanalyse für das entsprechende Werkstückteilpaar durchgeführt wird mit folgenden Verfahrensschritten,

- Bestimmung einer Störkontur (**4A**) für zumindest das erste Werkstückteil (A), indem ein Verkippfen des betreffenden ersten Werkstückteils (A) um mindestens zwei linear unabhängige Achsen simuliert und die Schneidkontur (**5A**) des ersten Werkstückteils (A) während des simulierten Verkippfens in die Werkstückebene projiziert werden,
- Bestimmung einer erweiterten Störkontur (**4A'**) für zumindest das erste Werkstückteil (A), indem die zur bestimmte Störkontur (**4A**) über ihren gesamten Umfang um einen Abstandswert, vorzugsweise um eine geometrische Abmessung des Schneidkopfes, vergrößert wird;
- Überprüfen, ob eine Überschneidung der erweiterten Störkontur (**4A'**) des ersten Werkstückteils (A) mit der Schneidkontur (**5B**) des zweiten Werkstückteils (B) des Werkstückteilpaars vorliegt;
- Festlegen, dass kein Microjoint vorgesehen wird, wenn keine Überschneidung vorliegt.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beiden linear unabhängigen Achsen durch den Schwerpunkt des Werkstücks (**1**) verlaufen.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die simulierte Verkippung des Werkstücks (**1**) $\pm 90^\circ$ oder $\pm 180^\circ$ beträgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass für diejenigen Werkstückteile (**2a**, **3a**, **3b**) jeweils ein Microjoint (**7**, **9**, **10**) vorgesehen wird, deren Störkontur (**4A**) oder deren erweiterte Störkontur (**4A'**) sich mit der Schneidkontur (**5B**) eines nachfolgend zu schneidenden, Werkstückteils (**2b**, **3a**, **3b**, **3c**) überschneidet, dass die Anzahl der Microjoints (**7**, **9**, **10**) für die Schneidreihenfolge ermittelt wird, und dass eine Optimierung durchgeführt wird, bei der durch Variation der Schneidreihenfolge der Werkstückteile die Anzahl der Microjoints (**7**, **9**, **10**) minimiert wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Positionen der Microjoints (**7**, **9**, **10**) so gewählt werden, dass sie außerhalb von Konfliktbereichen (**8**) liegen, wobei der Konfliktbereich (**8**) eines zweiten Werkstückteils (B), den Bereich der Schneidkonturen (**5B**) des zweiten Werkstückteils (B) darstellt, der innerhalb der Störkontur (**4A**), vorzugsweise innerhalb der erweiterten Störkontur (**4A'**), des zuvor freizuschneidenden Werkstückteils (A) liegt.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Werkstückteile Kindteile und Elternteile umfassen,

wobei Kindteile Werkstückteile (**2a**, **2b**) sind, deren Schneidkonturen von einer Schneidkontur eines anderen Werkstückteils umschlossen werden, wobei Elternteile Werkstückteile (**3a**, **3b**, **3c**) sind, deren Schneidkonturen eine Schneidkontur eines anderen Werkstückteils umschließen oder an ein ein anderes Werkstück (**2a**, **2b**) umschließendes Werkstück (**3a**) angrenzen, wobei die Kindteile einer anderen Generation (E, K) zugeordnet werden als die Elternteile, wobei die Schneidreihenfolge so festgelegt wird, dass Kindteile vor Elternteilen geschnitten werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12 und einem der Ansprüche 6 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detailanalyse zwischen Werkstückteilen verschiedener Generationen (E, K) vor der Detailanalyse zwischen Werkstückteilen derselben Generation (E, K) durchgeführt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass Cluster (I, II, III) festgelegt werden, wobei ein Cluster (I, II, III) alle Werkstückteile (**2a**, **2b**, **3b**, **3c**) des Werkstücks (**1**) umfasst, deren Schneidkonturen (**5A**, **5B**) und Störkonturen (**4A**), vorzugsweise deren Schneidkonturen (**5A**, **5B**) und erweiterte Störkonturen (**4A'**), sich überschneiden, und dass die Verfahrensschritte (a)–(d) für jeden Cluster (I, II, III) separat durchgeführt werden.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

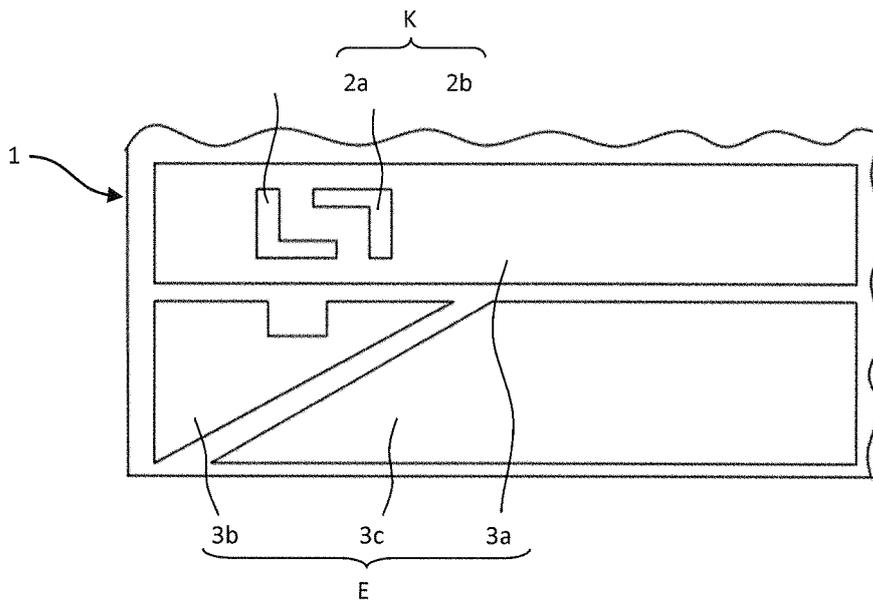


Fig. 1

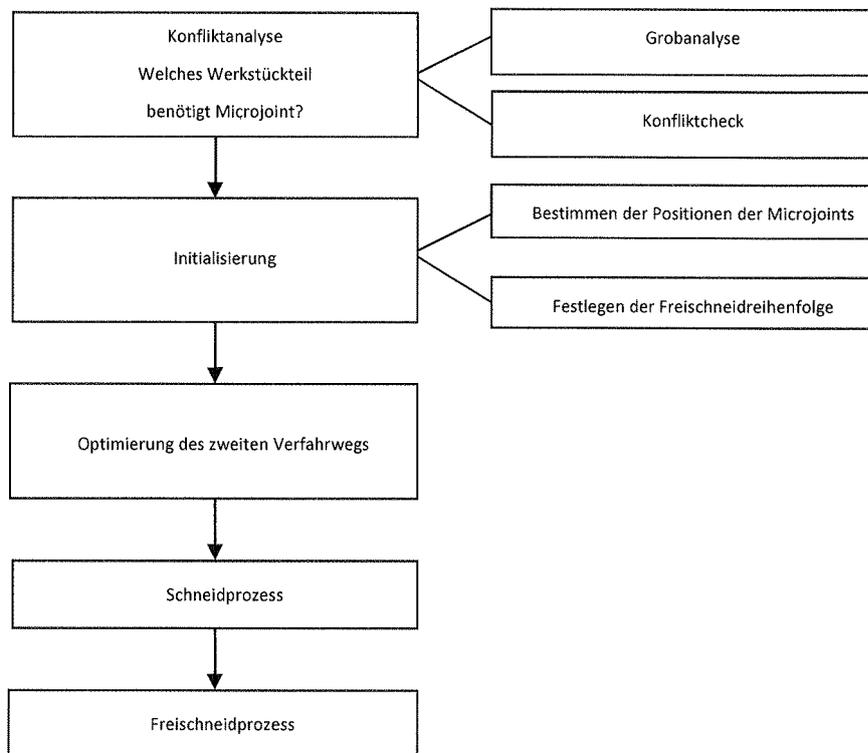


Fig. 2

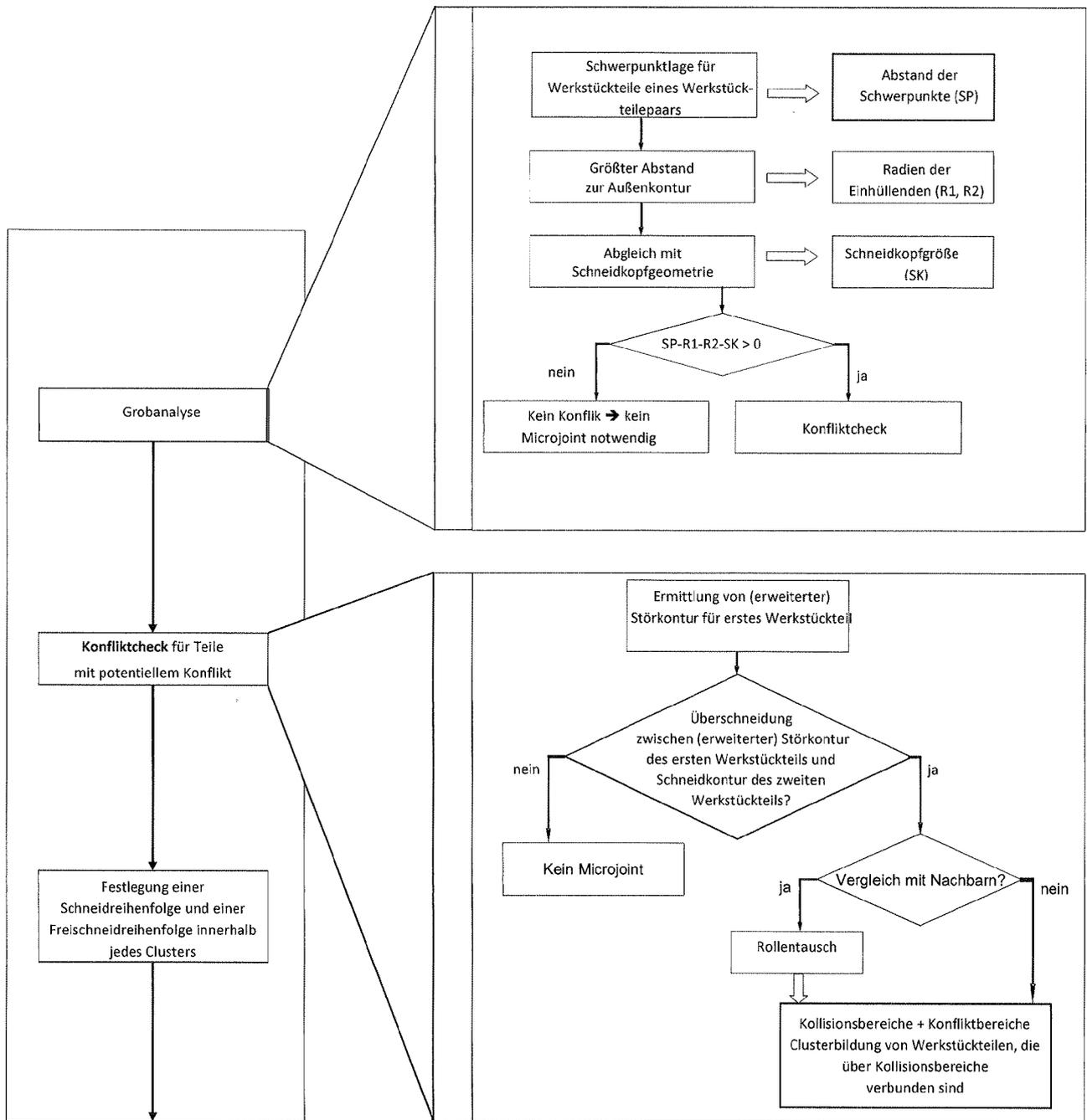


Fig. 3

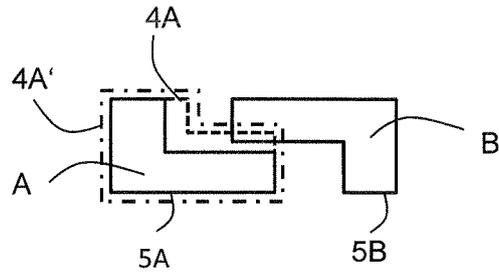


Fig. 4

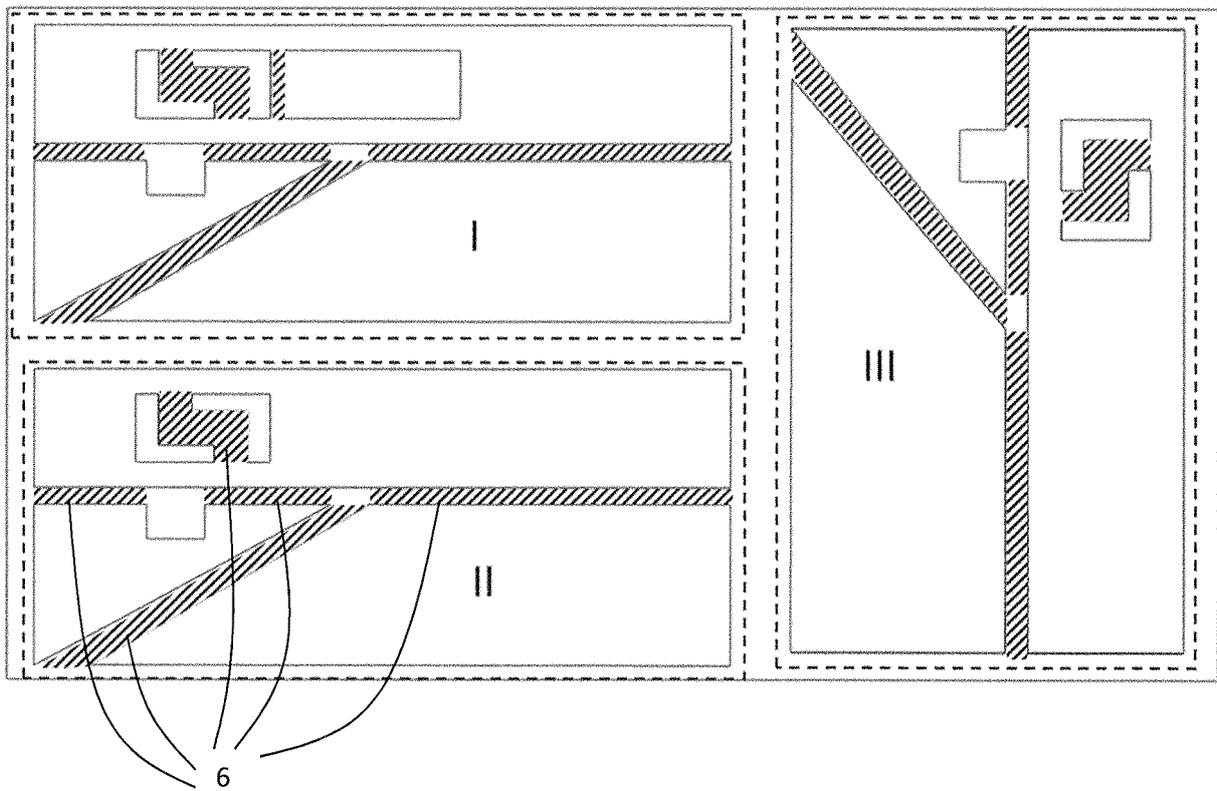


Fig. 5

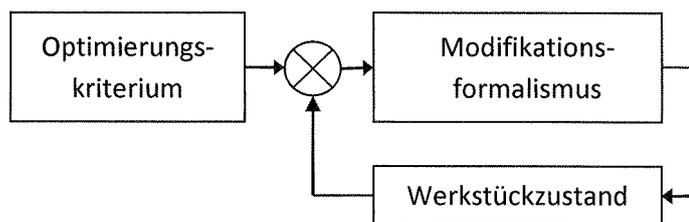


Fig. 6

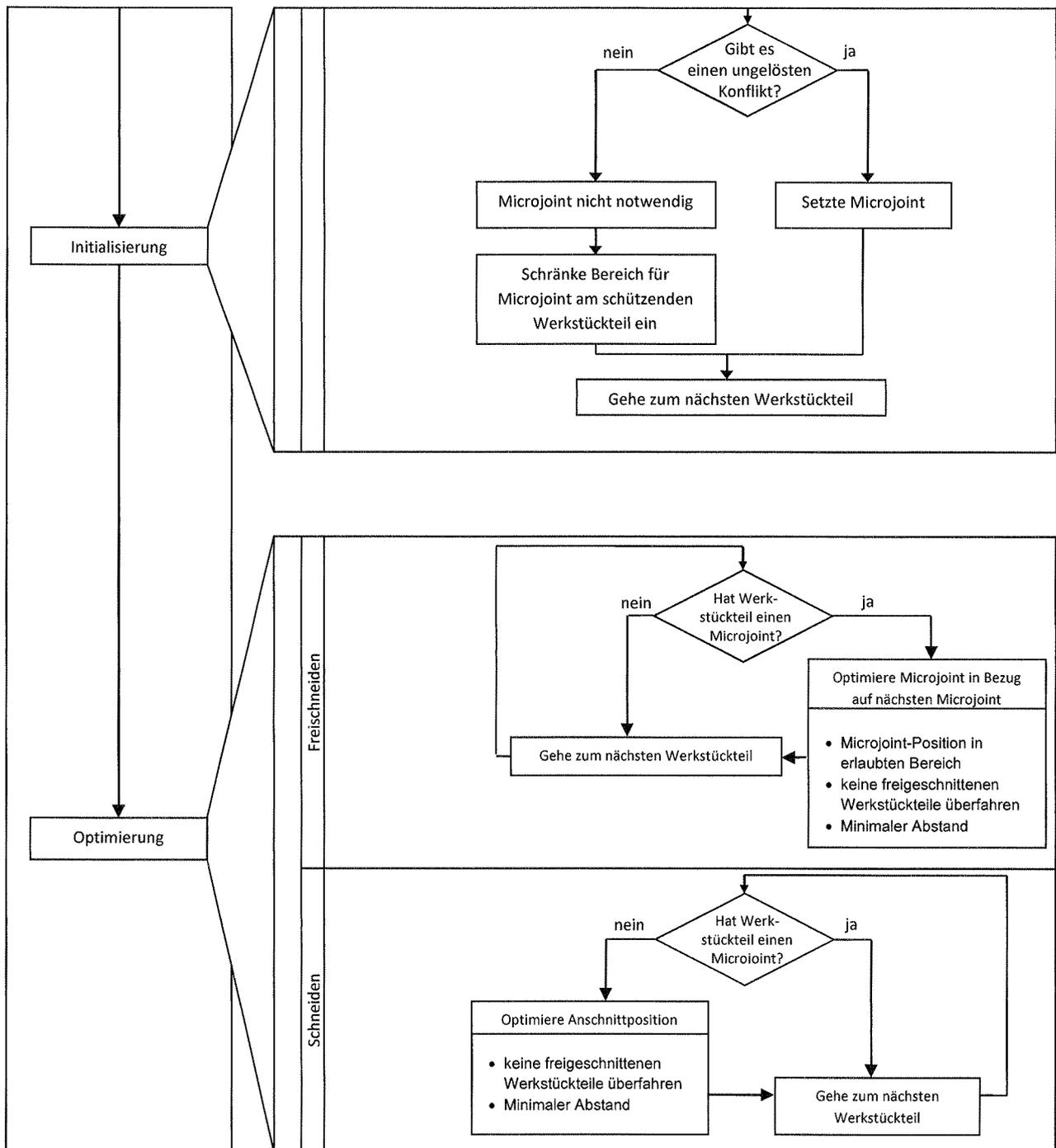


Fig. 7

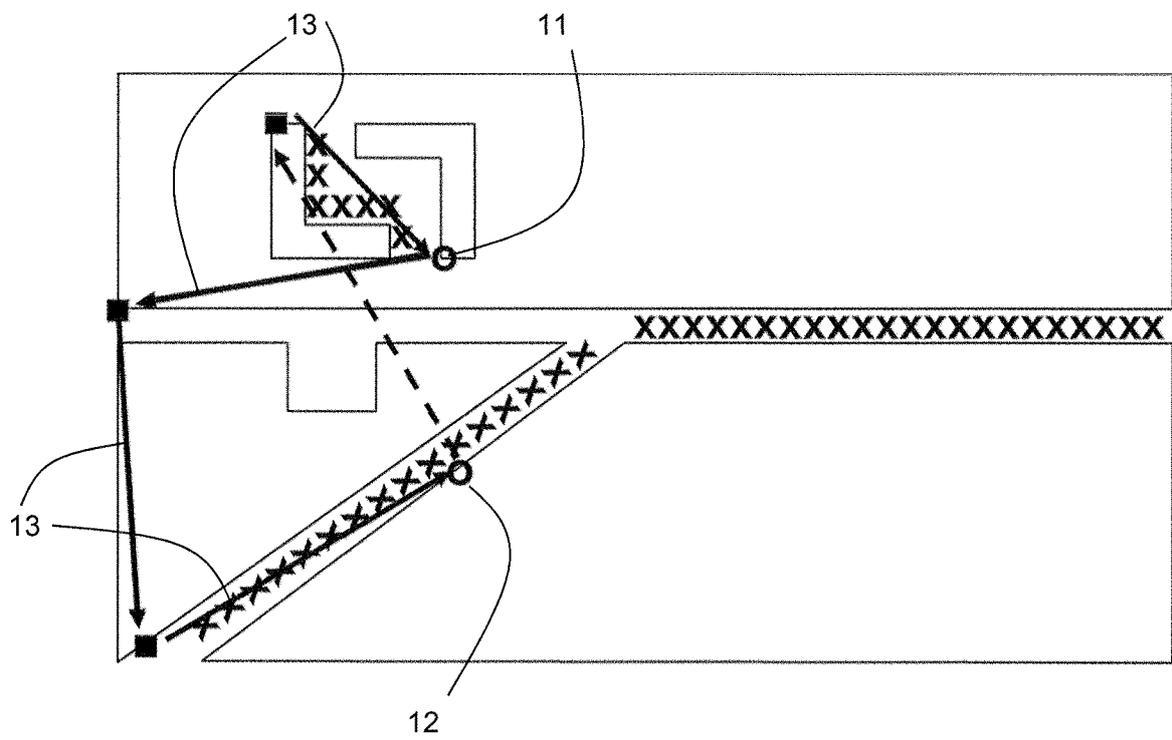


Fig. 8e