



(10) **AT 517235 B1 2016-12-15**

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50327/2015
(22) Anmeldetag: 23.04.2015
(45) Veröffentlicht am: 15.12.2016

(51) Int. Cl.: **B23K 26/14** (2014.01)
B23K 7/00 (2006.01)
G05D 7/00 (2006.01)
G05D 16/20 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 102007061718 B3
US 4439294 A
US 4935596 A

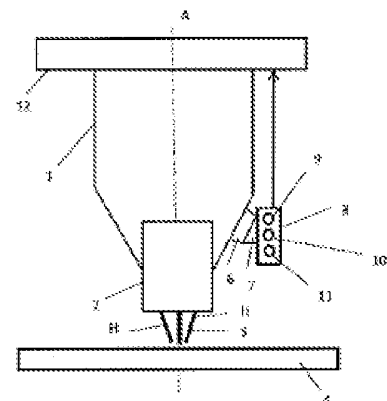
(73) Patentinhaber:
Framag Industrieanlagenbau GmbH
4873 Frankenburg (AT)

(74) Vertreter:
Kliment & Henhapel Patentanwaelte OG
1010 Wien (AT)

(54) Vorrichtung zur Überwachung von Düsen

(57) Verfahren und Vorrichtung zur Anzeige oder Regelung des Betriebszustandes der Austrittsdüse (2) für schneidendes oder schneidunterstützendes Arbeitsgas eines Schneidbrenners, wobei vorgeschlagen wird, dass mithilfe eines Vibrationssensors (6) aufgrund des Betriebes der Austrittsdüse (2) durch Körper- und/oder Luftschall auftretende Vibrationen als zeitabhängiges Vibrationssignal (V) gemessen werden und ein Frequenzspektrum (F) des gemessenen Vibrationssignals (V) für zumindest einen Frequenzbereich (f_i, f_{i+1}) ermittelt wird, wobei mittels zweier Einhüllende (E_1, E_2) der Signalspitzen des Frequenzspektrums (F) in dem zumindest einen Frequenzbereich (f_i, f_{i+1}) eine Signalbreite (S_i) oder bei mehreren Frequenzbereichen (f_i, f_{i+1}) eine Signalbreitenverteilung ermittelt wird, die zur Identifizierung eines Ist-Betriebszustandsbereiches der Austrittsdüse (2) einem von zumindest drei vorgegebenen Betriebszustandsbereichen der Austrittsdüse (2) zugeordnet wird, und in weiterer Folge ein dem Ist-Betriebszustandsbereich zugeordnetes Anzeige- oder Regelsignal generiert wird. Dadurch ist es möglich den Betriebszustand der Austrittsdüse (2) hinsichtlich eines optimalen Schneidergebnisses zu bewerten und in weiterer Folge mittels Anzeige oder Regelung zu optimieren.

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Anzeige oder Regelung des Betriebszustandes der Austrittsdüse für schneidendes oder schneidunterstützendes Arbeitsgas eines Schneidbrenners gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1, sowie eine Vorrichtung zur Anzeige oder Regelung des Betriebszustandes der Austrittsdüse für schneidendes oder schneidunterstützendes Arbeitsgas eines Schneidbrenners gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 4.

[0002] In der Brennschneidtechnik werden Brennschneidmaschinen eingesetzt, bei denen in einem Brennerkörper eines Schneidbrenners eine Austrittsdüse für schneidendes oder schneidunterstützendes Arbeitsgas eingesetzt ist. Die Ausführung der Austrittsdüse kann dabei je nach verwendetem Schneidbrenner variieren, so kann sie etwa eine Schneiddüse für die Zufuhr eines schneidenden Arbeitsgases (auch als Schneidgas bezeichnet) und eine Heizdüse für die Zufuhr eines schneidunterstützenden Arbeitsgases (auch als Heizgas bezeichnet) umfassen, wobei das Schneidgas über eine axiale Schneidgasleitung der Schneiddüse dem Werkstück zugeführt wird, und das Heizgas über eine ringspaltförmige Heizgasleitung oder in Form von konzentrisch um die Schneidgasleitung angeordneten Heizgasleitungen dem Werkstück zugeführt wird. Bei dem Schneidgas kann es sich etwa um Schneidsauerstoff handeln, und beim Heizgas um ein Brenngas-Sauerstoff-Gemisch, das durch eine Heizgaskammer bereitgestellt wird. Die vom Heizgas abgegebene und die bei der Verbrennung des Werkstücks entstehende Wärme ermöglicht eine fortlaufende Verbrennung durch das Schneidgas und folglich ein Schneiden des Werkstücks. Im Rahmen eines als Laserbrenners ausgeführten Schneidbrenners wird die thermische Energie zum Trennen des Werkstücks in Form eines Laserstrahls bereitgestellt, wobei die Austrittsdüse konzentrisch zum Laserstrahl angeordnet ist und dem Werkstück ein schneidunterstützendes Arbeitsgas zuführt, das den abgetragenen Werkstoff aus der Schnittfuge treibt und den Schnitvorgang somit unterstützt. Bei einem als Plasmaschneidbrenner ausgeführten Schneidbrenner umfasst die Austrittsdüse eine Schneiddüse für die Zufuhr eines Plasmagases als schneidendes Arbeitsgas.

[0003] Der Betriebszustand der Austrittsdüse für schneidendes oder schneidunterstützendes Arbeitsgas eines Schneidbrenners umfasst einerseits die Vorschubgeschwindigkeit relativ zum Werkstück und den Abstand der Austrittsdüse zum Werkstück, aber auch Betriebszustände wie Durchflussmengen und Betriebsdruck des Arbeitsgases. Der Betriebszustand der Austrittsdüse wird durch Einstellung steuerbarer Betriebsparameter wie Vorschubgeschwindigkeit, Abstand zum Werkstück oder Betriebsdruck und Durchflussgeschwindigkeit des Arbeitsgases insbesondere so gewählt, dass das Schneidergebnis optimal ist. In der Praxis treten jedoch auch Einflussgrößen auf, die nicht oder kaum steuerbar sind, wie etwa Störungen des Schneidstrahls, Verschleiß oder Verschmutzung der Austrittsdüse, sowie Werkstückveränderungen hinsichtlich Dicke, Zusammensetzung oder Temperatur. Diese in der Regel schwer beherrschbaren Einflussgrößen beeinträchtigen das Schneidergebnis und können sogar zum Versagen des Schneidbrenners und längeren Stillstandzeiten etwa für den Austausch der Austrittsdüse führen. Daher wäre es wünschenswert, den momentanen Betriebszustand der Austrittsdüse in Echtzeit hinsichtlich eines optimalen Schneidergebnisses bewerten und nötigenfalls korrigieren zu können.

[0004] Es besteht somit das Ziel der Erfindung darin, den Betriebszustand der Austrittsdüse hinsichtlich eines optimalen Schneidergebnisses unter Einbeziehung schwer beherrschbarer und kaum messbarer Einflussgrößen wie Werkstückveränderungen oder Verschleiß der Austrittsdüse zu bewerten, und in weiterer Folge mittels Anzeige oder Regelung des bewerteten Betriebszustandes das Schneidergebnis eines Schneidbrenners optimieren zu können.

[0005] Diese Ziele werden durch die Merkmale von Anspruch 1 sowie durch die Merkmale von Anspruch 4 erreicht. Anspruch 1 bezieht sich auf ein Verfahren zur Anzeige oder Regelung des Betriebszustandes der Austrittsdüse für schneidendes oder schneidunterstützendes Arbeitsgas eines Schneidbrenners, bei dem erfindungsgemäß vorgeschlagen wird, dass mithilfe eines

Vibrationssensors aufgrund des Betriebes der Austrittsdüse durch Körper- und/oder Luftschall auftretende Vibrationen als zeitabhängiges Vibrationssignal gemessen werden und ein Frequenzspektrum des gemessenen Vibrationssignals für zumindest einen Frequenzbereich ermittelt wird, wobei mittels zweier Einhüllende der Signalspitzen des Frequenzspektrums in dem zumindest einen Frequenzbereich eine Signalbreite oder bei mehreren Frequenzbereichen eine Signalbreitenverteilung ermittelt wird, die zur Identifizierung eines Ist-Betriebszustandsbereiches der Austrittsdüse einem von zumindest drei vorgegebenen Betriebszustandsbereichen der Austrittsdüse zugeordnet wird, und in weiterer Folge ein dem Ist-Betriebszustandsbereich zugeordnetes Anzeige- oder Regelsignal generiert wird.

[0006] Erfindungsgemäß wird somit zur Einbeziehung schwer beherrschbarer und kaum messbarer Einflussgrößen in der betrieblichen Praxis eines Schneidbrenners ein zeitabhängiges Vibrationssignal herangezogen, das aus jenen Vibrationen, die aufgrund des Betriebes der Austrittsdüse durch Körper- und/oder Luftschall auftreten, gewonnen wird und das gewissermaßen als „akustischer Fingerabdruck“ einer weiteren Auswertung unterzogen wird. Aus dem zeitabhängigen Vibrationssignal wird erfindungsgemäß über bekannte Techniken der Fouriertransformation ein Frequenzspektrum für zumindest einen Frequenzbereich ermittelt. Wie noch näher ausgeführt werden wird kann im Frequenzspektrum für die Gesamtheit der Maxima und Minima eine Signalbreite definiert werden.

[0007] Um diese Signalbreite im Frequenzspektrum für eine Bewertung oder Regelung des Betriebszustandes der Austrittsdüse heranziehen zu können, müssen die Amplituden im Frequenzraum einerseits hinreichend genau vom Vibrationssignal ableitbar sein und andererseits auch hinreichend genau mit einem bestimmten Betriebszustand der Austrittsdüse korrelieren. Daher müssen im Zuge der Fouriertransformation eine ausreichende Länge des für die Fouriertransformation verwendeten Vibrationssignals sowie eine ausreichende Samplingrate verwendet werden, da die Länge und Samplingrate die Frequenzauflösung des entstehenden Frequenzspektrums nach der Fouriertransformation definieren. Je schlechter die Frequenzauflösung ist, desto fehlerbehafteter sind die Amplituden im Frequenzspektrum und desto unzuverlässiger ist die Zuordnung zu unterschiedlichen Betriebszuständen. Die Anmelderin hat jedoch festgestellt, dass es bei durchaus praktikabler Wahl der Signallängen des transformierten Vibrationssignals und der Samplingraten möglich ist, die Amplituden des Frequenzspektrums hinreichend genau abzubilden, um sie nicht nur für eine zuverlässige Detektion unterschiedlicher Betriebszustände zu verwenden, sondern auch für eine effiziente Regelung, da die benötigten Signallängen deutlich unter einer Sekunde liegen und daher mehrere Regelsignale pro Sekunde gewonnen werden können.

[0008] Die Anmelderin hat ferner festgestellt, dass die Korrelation der Signalbreiten im Frequenzspektrum mit bestimmten Betriebszuständen der Austrittsdüse hinreichend genau ist, um jedenfalls drei unterschiedliche Betriebszustände mit hoher Zuverlässigkeit identifizieren zu können. Bislang durchgeführte Versuche legen zwar nahe, dass auch mehr als drei Betriebszustände zuverlässig identifiziert werden können, aber auch die zuverlässige Erkennung von drei Betriebszuständen erlaubt bereits überaus praktische Anwendungen. So können etwa ein unkritischer Betriebszustand, ein subkritischer Betriebszustand sowie ein kritischer Betriebszustand der Austrittsdüse definiert werden, etwa hinsichtlich eines Verschleißes oder einer Verstopfung der Austrittsdüse. Auf diese Weise kann mithilfe der Detektion eines subkritischen Betriebszustandes bereits präventiv ein drohendes Versagen der Austrittsdüse oder eine inakzeptable Schnittqualität angezeigt werden. Vorzugsweise wird daher auch vorgeschlagen, dass es sich bei den zumindest drei vorgegebenen Betriebszustandsbereichen der Austrittsdüse um einen unkritischen, einen kritischen und zumindest einen subkritischen Betriebszustandsbereich der Austrittsdüse handelt, und bei Identifizierung eines der zumindest drei Betriebszustandsbereiche als Ist-Betriebszustandsbereich der betreffende Betriebszustandsbereich visuell von den anderen Betriebszustandsbereichen unterscheidbar angezeigt wird. Die visuelle Anzeige kann etwa in Form einer grünen Leuchtanzeige erfolgen, falls ein unkritischer Betriebszustand als Ist-Betriebszustandsbereich identifiziert wurde, in Form einer gelben Leuchtanzeige, falls ein subkritischer Betriebszustand als Ist-Betriebszustandsbereich identifiziert wurde, und in Form einer

roten Leuchtanzeige, falls ein kritischer Betriebszustand als Ist- Betriebszustandsbereich der Austrittsdüse identifiziert wurde.

[0009] Des Weiteren kann mithilfe der Identifizierung unterschiedlicher Betriebszustände der Austrittsdüse auch eine einfache Regelung der Austrittsdüse ermöglicht werden. Hierfür wird vorgeschlagen, dass es sich bei den zumindest drei vorgegebenen Betriebszustandsbereichen der Austrittsdüse um einen Soll-Betriebszustandsbereich und zumindest zwei Abweichungsbereiche der Austrittsdüse handelt, und bei Identifizierung eines der zumindest zwei Abweichungsbereiche als Ist-Betriebszustandsbereich der Austrittsdüse ein Regelsignal generiert wird, das den Ist-Betriebszustandsbereich der Austrittsdüse in den Soll-Betriebszustandsbereich überführt. Der Soll-Betriebszustandsbereich kann etwa ein mit einer bestimmten Schnittqualität korrelierender Bereich der Schnittgeschwindigkeit sein, der sozusagen als „akustischer Fingerabdruck“ im Vibrationssignal dargestellt wird. Das Vibrationssignal stellt hierfür einen umfassenden Indikator dar, in dem sich auch schwer beherrschbare und kaum messbare Einflussgrößen wie etwa Werkstückveränderungen entlang der Schnittlinie manifestieren. Erweitert sich etwa eine voreingestellte Schnittgeschwindigkeit aufgrund von zunächst unbekanntem Werkstückveränderungen als zu hoch, so zeigt sich das über eine Veränderung des Vibrationssignals, die im Frequenzspektrum als veränderte Signalbreite identifiziert werden kann. Falls die ermittelte Signalbreite in einen als Abweichungsbereich vorgegebenen Betriebszustandsbereich fällt, so wird ein Abweichungsbereich als Ist-Betriebszustandsbereich identifiziert und ein entsprechendes Regelsignal generiert, das den Ist-Betriebszustandsbereich der Austrittsdüse wieder in den Soll- Betriebszustandsbereich überführt. Die entsprechende Nachregelung steuerbarer Betriebsparameter wie Vorschubgeschwindigkeit, Abstand zum Werkstück oder Betriebsdruck und Durchflussgeschwindigkeit des Arbeitsgases können dabei im Rahmen des fachmännischen Könnens vorgenommen werden.

[0010] Besonders effektiv hat sich dabei erwiesen, das Frequenzspektrum für mehrere Frequenzbereiche zu bestimmen, für die jeweils separate Signalbreiten ermittelt werden. Es ergibt sich somit eine diskrete Signalbreitenverteilung über den gesamten Frequenzraum, wobei eine bestimmte Signalbreitenverteilung einem vorgegebenen Betriebszustand zugeordnet werden kann. Die Kalibrierung erfolgt dabei wie im Fall einer einzigen Signalbreite anhand von Referenzmessungen des Vibrationssignals. So kann etwa das Vibrationssignal einer neuen Austrittsdüse, die weder Verschleiß noch Verschmutzung zeigt, für die Definition eines unkritischen Betriebszustandes verwendet werden, sowie Austrittsdüsen mit bekannten und als tolerabel bewerteten Verschleiß- oder Verschmutzungserscheinungen für die Definition eines subkritischen Betriebszustandes, und Austrittsdüsen mit bekannten und als intolerabel bewerteten Verschleiß- oder Verschmutzungserscheinungen für die Definition eines kritischen Betriebszustandes. Ferner können auch Referenzmessungen des Vibrationssignals für optimale Schnittgeschwindigkeiten herangezogen und für die Definition eines Soll-Betriebszustandsbereiches sowie von Abweichungsbereichen verwendet werden. Dabei kann es vorteilhaft sein, die Referenzmessungen vor Ort durchzuführen, da die Betriebsbedingungen im konkreten Anwendungsfall durchaus variieren können, und die Kalibrierung des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie der erfindungsgemäßen Vorrichtung somit anwendungsspezifisch vorzunehmen.

[0011] Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird erfindungsgemäß auch eine Vorrichtung zur Anzeige oder Regelung des Betriebszustandes der Austrittsdüse für schneidendes oder schneidunterstützendes Arbeitsgas eines Schneidbrenners vorgeschlagen, bei der ein Vibrationssensor zur Messung der aufgrund des Betriebes der Austrittsdüse durch Körper- und/oder Luftschall auftretenden Vibrationen vorgesehen ist, sowie eine Auswerteeinheit, die dem gemessenen Vibrationssignal zur Identifizierung eines Ist-Betriebszustandsbereiches der Austrittsdüse einen von zumindest drei vorgegebenen Betriebszustandsbereichen zuordnet, wobei eine Anzeige- oder Regelungseinheit vorgesehen ist, die ein dem Ist-Betriebszustandsbereich der Austrittsdüse zugeordnetes Anzeige- oder Regelsignal zur Anzeige oder Regelung des Ist-Betriebszustandsbereiches der Austrittsdüse generiert.

[0012] Wie bereits ausgeführt wurde kann die Anzeige- oder Regelungseinheit vorzugsweise zumindest ein Leuchtmittel umfassen, das den identifizierten Ist-Betriebszustandsbereich visuell

von den anderen Betriebszustandsbereichen unterscheidbar zur Anzeige bringt. Insbesondere kann die Anzeige- oder Regelungseinheit drei Leuchtmittel umfassen, wobei zwei Leuchtmittel einem unkritischen und einem kritischen Betriebszustand zugeordnet sind, und ein weiteres Leuchtmittel einem subkritischen Betriebszustand zugeordnet ist.

[0013] Die Erfindung wird in weiterer Folge anhand von Ausführungsbeispielen mithilfe der beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen hierbei die

[0014] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Brennerkörpers mit Austrittsdüse und einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

[0015] Fig. 2 den Brennerkörper mit Austrittsdüse der Fig. 1 von unten gesehen,

[0016] Fig. 3 eine schematische Darstellung eines zeitabhängigen Vibrationssignals,

[0017] Fig. 4a ein erstes Frequenzspektrum, das aus dem Vibrationssignal der Fig. 3 gewonnen wurde,

[0018] Fig. 4b ein zweites Frequenzspektrum, das aus dem Vibrationssignal der Fig. 3 gewonnen wurde, und die

[0019] Fig. 4c ein drittes Frequenzspektrum, das aus dem Vibrationssignal der Fig. 3 gewonnen wurde.

[0020] Zunächst wird auf die Fig. 1 Bezug genommen, die eine schematische Darstellung eines Brennerkörpers 1 eines Schneidbrenners mit einer Mittelachse A und einer axial angeordneten Austrittsdüse 2 zeigt. Wie insbesondere auch in der Fig. 2 ersichtlich ist, umfasst die Austrittsdüse 2 eine axial verlaufende und zentral angeordnete Schneidgasleitung 3, über die ein Schneidgas S als schneidendes Arbeitsgas dem Werkstück 4 zugeführt wird. Die Austrittsdüse 2 umfasst ferner mehrere konzentrisch um die Schneidgasleitung 3 angeordnete Heizgasleitungen 5, über die ein Heizgas H als schneidunterstützendes Arbeitsgas dem Werkstück 4 zugeführt wird. Die vom Heizgas H abgegebene und die bei der Verbrennung des Werkstücks 4 entstehende Wärme ermöglicht eine fortlaufende Verbrennung durch das Schneidgas S und folglich ein Schneiden des Werkstücks 4, etwa eine Bramme.

[0021] Die Geräuscentwicklung bei der Bearbeitung des Werkstücks 4 mit einem Schneidbrenner ist in der Regel sehr groß. Dabei wird ein Teil des Luftschalls in die Austrittsdüse und den Brennerkörper 1 rückgekoppelt. Die dadurch verursachten Vibrationen des Brennerkörpers 1 werden im Folgenden auch als Körperschall bezeichnet. Erfindungsgemäß wird das akustische Feld innerhalb und außerhalb des Brennerkörpers 1 ausgenutzt, um Aussagen über den Betriebszustand treffen zu können und in weiterer Folge Optimierungen des Betriebszustandes vorzunehmen. Hierfür ist ein Vibrationssensor 6 im Nahbereich des Brennerkörpers 1 angeordnet, vorzugsweise direkt am Brennerkörper 1 selbst. Der Vibrationssensor 6 misst Vibrationen, die aufgrund des Betriebes der Austrittsdüse durch Körper- und/oder Luftschall auftreten, als zeitabhängiges Vibrationssignal V, wie es etwa in der Fig. 3 dargestellt ist.

[0022] Das Vibrationssignal V wird einer Auswerteeinheit 7 bereitgestellt, die zur Identifizierung eines Ist- Betriebszustandsbereiches der Austrittsdüse 2 dem gemessenen Vibrationssignal V einen von zumindest drei vorgegebenen Betriebszustandsbereichen zuordnet. Hierfür wird das zeitabhängige Vibrationssignal V einer Fouriertransformation unterworfen, um ein Frequenzspektrum F des Vibrationssignals V zu gewinnen, beispielsweise mithilfe der Diskreten Fouriertransformation (DFT), die etwa über eine so genannte schnelle Fouriertransformation (FFT) ausgeführt wird. Für die Fouriertransformation muss das zeitabhängige Vibrationssignal V mit einer ausreichend hohen Samplingrate über eine ausreichend lange Zeitdauer abgetastet werden. Erhält eine gewöhnliche DFT eine Anzahl von N Datenpunkten eines abgetasteten Vibrationssignals V zur Auswertung, so gibt sie auch N Datenpunkte zurück, die „Amplituden“ des Frequenzspektrums F. Zur Darstellung Amplitude- über-Frequenz werden entsprechend ebenfalls N Frequenzwerte benötigt. Die maximal detektierbare Frequenz bei der DFT ist die halbe Samplingrate. Die Amplituden der zum Vibrationssignal V beitragenden Schwingungen können im Frequenzspektrum F in Form von Signalspitzen abgelesen werden. Die Gesamtheit der als

Minima und Maxima auftretenden Signalspitzen kann über zwei parallel zur Frequenzachse verlaufende Einhüllende E_1 , E_2 begrenzt werden, wobei der Abstand der beiden Einhüllenden E_1 , E_2 im Frequenzraum eine Signalbreite S des Frequenzspektrums F definiert, wie im Folgenden anhand der Fig. 4 erläutert werden wird. Für die Ermittlung der Signalbreite S kann das Frequenzspektrum auch in Frequenzbereiche f_i , f_{i+1} ($i=1...M$) unterteilt werden, für die jeweils eine Signalbreite S_i ermittelt wird. Die sich ergebende Anzahl von M Signalbreiten S_i bildet eine Signalbreitenverteilung.

[0023] Um diese Signalbreiten S_i beziehungsweise die Signalbreitenverteilung für eine Bewertung des Betriebszustandes heranziehen zu können ist darauf zu achten, im Zuge der Fouriertransformation eine ausreichende Länge des für die Fouriertransformation verwendeten Vibrationssignals V sowie eine ausreichende Samplingrate zu verwenden und beide Parameter im Zuge der praktischen Anwendung konstant zu halten, da die Länge und Samplingrate die Frequenzauflösung des entstehenden Frequenzspektrums F nach der Fouriertransformation definieren. Je schlechter die Frequenzauflösung ist, desto fehlerbehafteter sind nämlich die Amplituden im Frequenzspektrum F und desto unzuverlässiger ist die Zuordnung zu unterschiedlichen Betriebszuständen. Die Anmelderin hat jedoch festgestellt, dass es durch Wahl praktikabler Signallängen des transformierten Vibrationssignals V von unterhalb einer Sekunde und praktikabler Samplingraten möglich ist, die Amplituden des Frequenzspektrums F hinreichend genau abzubilden, um sie für eine zuverlässige Detektion von zumindest drei Betriebszuständen verwenden zu können. Dabei hat sich herausgestellt, dass auch eine weitere mögliche Fehlerquelle ausgeschlossen werden kann. Die Höhe der Signalspitzen eines Frequenzspektrums F wird nämlich auch durch die Wahl des Zeitintervalls, in dem die Daten für die Fouriertransformation akquiriert werden, beeinflusst. Wird durch ungeschickte Wahl dieses Zeitintervalls eine nicht-ganzzahlige Zahl an Vibrationsperioden aufgenommen, verbreitert dies die Signalspitzen im Frequenzspektrum F und verringert deren Höhe. Die Anmelderin hat jedoch festgestellt, dass dieser Effekt für den vorliegenden Anwendungsfall der Analyse eines akustischen Feldes eines Schneidbrenners zur Bewertung der Betriebszustände der Austrittsdüse 2 vernachlässigbar ist.

[0024] Um die Signalbreiten S_i im Frequenzspektrum F für eine Bewertung des Betriebszustandes der Austrittsdüse 2 heranziehen zu können ist ferner darauf zu achten, im Zuge der Fouriertransformation stets dieselbe mathematische Normierung für die Fouriertransformierte vorzunehmen, die aber vom jeweils verwendeten mathematischen Algorithmus abhängt. Wird somit stets derselbe Algorithmus verwendet, was in der Praxis durch herstellereitig erfolgte Konfigurierung der Ausweiteeinheit 7 der Fall sein wird, können in weiterer Folge ohne weiteres unterschiedliche Signalbreiten S_i unterschiedlichen Betriebszustandsbereichen zuverlässig zugeordnet werden.

[0025] Die Genauigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens ist hinreichend hoch, um zumindest drei unterschiedliche Betriebszustandsbereiche mit hoher Zuverlässigkeit identifizieren zu können, womit bereits überaus praktische Anwendungen möglich werden, wie anhand der Fig. 4a-c erläutert wird. Die Fig. 4a-c zeigen dabei Beispiele unterschiedlicher Frequenzspektren F für einen Frequenzbereich f_i , f_{i+1} die aus unterschiedlichen Vibrationssignalen V abgeleitet werden könnten. Die Fig. 4a zeigt etwa ein Frequenzspektrum F mit vergleichsweise niedrigen Signalspitzen. Die Maxima und Minima dieses Frequenzspektrums F können mithilfe zweier zur Frequenzachse paralleler Einhüllende E_1 , E_2 eingegrenzt werden, wobei der Abstand einer ersten Einhüllenden E_1 zur Frequenzachse durch das höchste Maximum der Signalspitzen festgelegt wird, und der Abstand einer zweiten Einhüllenden E_2 zur Frequenzachse durch das kleinste Minimum. Der Normalabstand der beiden Einhüllenden E_1 , E_2 zueinander definiert die Signalbreite S_i im betreffenden Frequenzbereich f_i , f_{i+1} .

[0026] In weiterer Folge wird die auf diese Weise ermittelte Signalbreite S_i mit drei vorgegebenen Betriebszustandsbereichen verglichen, die anhand von Referenzmessungen gewonnen wurden. Ein erster Betriebszustandsbereich ist etwa für Signalbreiten S_i definiert, die unterhalb eines ersten Schwellwertes S_1 liegen und in weiterer Folge als unkritischer Betriebszustandsbereich bezeichnet wird. Falls die ermittelte Signalbreite S_i unterhalb dieses ersten Schwellwertes

S_1 liegt, wird dieser erste, unkritische Betriebszustandsbereich als momentaner Ist-Betriebszustandsbereich identifiziert (siehe Fig. 4a).

[0027] Ein zweiter Betriebszustandsbereich ist für Signalbreiten S_i definiert, die oberhalb des ersten Schwellwertes S_1 liegen, aber unterhalb eines zweiten Schwellwertes S_2 , und in weiterer Folge als subkritischer Betriebszustandsbereich bezeichnet wird. Falls die ermittelte Signalbreite S_i oberhalb des ersten Schwellwertes S_1 liegt, aber unterhalb des zweiten Schwellwertes S_2 , wird dieser zweite, subkritische Betriebszustandsbereich als momentaner Ist-Betriebszustandsbereich identifiziert (siehe Fig. 4b).

[0028] Ein dritter Betriebszustandsbereich ist für Signalbreiten S_i definiert, die oberhalb des zweiten Schwellwertes S_2 liegen und in weiterer Folge als kritischer Betriebszustandsbereich bezeichnet wird. Falls die ermittelte Signalbreite S_i oberhalb des zweiten Schwellwertes S_2 liegt, wird dieser dritte, kritische Betriebszustandsbereich als momentaner Ist-Betriebszustandsbereich identifiziert (siehe Fig. 4c).

[0029] Falls mehrere Frequenzbereiche f_i, f_{i+1} analysiert werden und somit mehrere Signalbreiten S_i in Form einer Signalbreitenverteilung zur Verfügung stehen, kann eine Mittelung der Signalbreiten S_i vorgenommen werden, oder eine Zuordnung bestimmter Signalbreitenverteilungen zu bestimmten Betriebszustandsbereichen. So kann etwa eine Folge zunehmender Signalbreiten S_i bei zunehmender Frequenz für ein und dasselbe Vibrationssignal V charakteristisch für ein bestimmtes Ereignis sein, etwa eine Verstopfung der Schneidgasleitung 3. Ein Maximum einer Signalbreitenverteilung für einen bestimmten Frequenzbereich f_i, f_{i+1} könnte wiederum charakteristisch für ein anderes Ereignis sein, etwa wenn das Schneidgas S ins Leere ausbläst und auf kein Werkstück 4 trifft, etwa beim Anschnitt an der Brammenkante. Im Zuge von Referenzmessungen können Ereignisse, deren Erkennen gewünscht ist, auf charakteristische Eigenheiten der mit ihnen assoziierten Signalbreiten S_i oder deren Signalbreitenverteilungen analysiert werden und zukünftige Frequenzspektren F auf diese Eigenheiten untersucht werden.

[0030] In weiterer Folge generiert eine Anzeige- oder Regelungseinheit 8 ein dem jeweiligen Ist-Betriebszustandsbereich zugeordnetes Anzeige- oder Regelsignal. Falls es sich bei den zumindest drei vorgegebenen Betriebszustandsbereichen der Austrittsdüse 2 um einen unkritischen, einen kritischen und zumindest einen subkritischen Betriebszustandsbereich der Austrittsdüse 2 handelt, so kann bei Identifizierung eines unkritischen Betriebszustandsbereiches als Ist-Betriebszustandsbereich eine visuelle Anzeige in Form einer grünen Leuchtanzeige 9 erfolgen. Falls ein subkritischer Betriebszustand als Ist-Betriebszustandsbereich identifiziert wurde, kann etwa ein Anzeigesignal in Form einer gelben Leuchtanzeige 10 generiert werden, und falls ein kritischer Betriebszustand als Ist-Betriebszustandsbereich identifiziert wurde, in Form einer roten Leuchtanzeige 11. Falls der kritische Betriebszustandsbereich hinsichtlich eines Verschleißes oder einer Verstopfung der Austrittsdüse 2 definiert wurde, kann auf diese Weise mithilfe der Detektion eines subkritischen Betriebszustandsbereiches bereits präventiv ein drohendes Versagen der Austrittsdüse 2 oder eine inakzeptable Schnittqualität angezeigt werden.

[0031] Des Weiteren kann mithilfe der Identifizierung unterschiedlicher Betriebszustandsbereiche der Austrittsdüse 2 auch eine einfache Regelung der Austrittsdüse 2 ermöglicht werden. Hierfür werden für drei vorgegebene Betriebszustandsbereiche der Austrittsdüse 2 ein Betriebszustandsbereich als Soll-Betriebszustandsbereich und zwei andere Betriebszustandsbereiche als Abweichungsbereiche definiert. Unter Bezugnahme auf die Fig. 4 kann etwa ein erster Abweichungsbereich für Signalbreiten S_i definiert werden, die gemäß Fig. 4a unterhalb eines ersten Schwellwertes S_1 liegen. Falls die ermittelte Signalbreite S_i unterhalb dieses ersten Schwellwertes S_1 liegt, wird dieser erste Abweichungsbereich als momentaner Ist-Betriebszustandsbereich identifiziert und ein Regelsignal generiert, das den Ist-Betriebszustandsbereich der Austrittsdüse 2 in den Soll-Betriebszustandsbereich überführt.

[0032] Als Soll-Betriebszustandsbereich ist dabei jener Betriebszustandsbereich definiert, bei dem die Signalbreite S_1 oberhalb des ersten Schwellwertes S_1 liegt, aber unterhalb eines zweiten Schwellwertes S_2 (siehe Fig. 4b). Falls die ermittelte Signalbreite S_i oberhalb des ersten Schwellwertes S_1 liegt, aber unterhalb des zweiten Schwellwertes S_2 , wird dieser Soll-Betriebszustandsbereich als momentaner Ist- Betriebszustandsbereich identifiziert und kein Regelsignal generiert.

[0033] Ein zweiter Abweichungsbereich kann für Signalbreiten S_1 definiert werden, die gemäß Fig. 4c oberhalb des zweiten Schwellwertes S_2 liegen. Falls die ermittelte Signalbreite S_i oberhalb des zweiten Schwellwertes S_2 liegt, wird dieser zweite Abweichungsbereich als momentaner Ist- Betriebszustandsbereich identifiziert und wiederum ein Regelsignal generiert, das den Ist- Betriebszustandsbereich der Austrittsdüse 2 in den Soll-Betriebszustandsbereich überführt. Der Soll- Betriebszustandsbereich kann etwa ein mit einer bestimmten Schnittqualität korrelierender Bereich der Schnittgeschwindigkeit sein, der sich sozusagen als „akustischer Fingerabdruck“ im Vibrationssignal V darstellt und im Frequenzspektrum F als charakteristische Signalbreite S_i oder charakteristische Signalbreitenverteilung sichtbar wird. Erweist sich etwa eine voreingestellte Schnittgeschwindigkeit aufgrund von zunächst unbekanntem Werkstückveränderungen als zu hoch, so zeigt sich das über eine Veränderung des Vibrationssignals V , die im Frequenzspektrum F als veränderte Signalbreite S_i identifiziert werden kann. Falls die ermittelte Signalbreite S_i in einen als Abweichungsbereich vorgegebenen Betriebszustandsbereich fällt, so wird ein entsprechendes Regelsignal generiert, das von der Anzeige- oder Regelungseinheit 8 an eine Steuerung 12 des Schneidbrenners übermittelt wird, um den Ist-Betriebszustandsbereich der Austrittsdüse 2 wieder in den Soll-Betriebszustandsbereich zu überführen. Die entsprechende Nachregelung steuerbarer Betriebsparameter wie Vorschubgeschwindigkeit, Abstand zum Werkstück 4 oder Betriebsdruck und Durchflussgeschwindigkeit des Arbeitsgases können dabei im Rahmen des fachmännischen Könnens vorgenommen werden.

[0034] Mithilfe der Erfindung ist es somit möglich, den Betriebszustand der Austrittsdüse 2 hinsichtlich eines optimalen Schneidergebnisses unter Einbeziehung schwer beherrschbarer und kaum messbarer Einflussgrößen wie Werkstückveränderungen oder Verschleiß der Austrittsdüse 2 zu bewerten, und in weiterer Folge mittels Anzeige oder Regelung des bewerteten Betriebszustandes das Schneidergebnis eines Schneidbrenners zu optimieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Anzeige oder Regelung des Betriebszustandes der Austrittsdüse (2) für schneidendes oder schneidunterstützendes Arbeitsgas eines Schneidbrenners, **dadurch gekennzeichnet**, dass mithilfe eines Vibrationssensors (6) aufgrund des Betriebes der Austrittsdüse (2) durch Körper- und/oder Luftschall auftretende Vibrationen als zeitabhängiges Vibrationssignal (V) gemessen werden und ein Frequenzspektrum (F) des gemessenen Vibrationssignals (V) für zumindest einen Frequenzbereich ($f_i, f_{i+1}, i=1,2,\dots,M$) ermittelt wird, wobei mittels zweier Einhüllende (E_1, E_2) der Signalspitzen des Frequenzspektrums (F) in dem zumindest einen Frequenzbereich (f_i, f_{i+1}) eine Signalbreite (S_i) oder bei mehreren Frequenzbereichen (f_i, f_{i+1}) eine Signalbreitenverteilung ermittelt wird, die zur Identifizierung eines Ist-Betriebszustandsbereiches der Austrittsdüse (2) einem von zumindest drei vorgegebenen Betriebszustandsbereichen der Austrittsdüse (2) zugeordnet wird, und in weiterer Folge ein dem Ist-Betriebszustandsbereich zugeordnetes Anzeige- oder Regelsignal generiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei den zumindest drei vorgegebenen Betriebszustandsbereichen der Austrittsdüse (2) um einen unkritischen, einen kritischen und zumindest einen subkritischen Betriebszustandsbereich der Austrittsdüse (2) handelt, und bei Identifizierung eines der zumindest drei Betriebszustandsbereiche als Ist- Betriebszustandsbereich der betreffende Betriebszustandsbereich visuell von den anderen Betriebszustandsbereichen unterscheidbar angezeigt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei den zumindest drei vorgegebenen Betriebszustandsbereichen der Austrittsdüse (2) um einen Soll-Betriebszustandsbereich und zumindest zwei Abweichungsbereiche der Austrittsdüse (2) handelt, und bei Identifizierung eines der zumindest zwei Abweichungsbereiche als Ist- Betriebszustandsbereich der Austrittsdüse (2) ein Regelsignal generiert wird, das den Ist- Betriebszustandsbereich der Austrittsdüse (2) in den Soll-Betriebszustandsbereich überführt.
4. Vorrichtung zur Anzeige oder Regelung des Betriebszustandes der Austrittsdüse (2) für schneidendes oder schneidunterstützendes Arbeitsgas eines Schneidbrenners, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Vibrationssensor (6) zur Messung der aufgrund des Betriebes der Austrittsdüse (2) durch Körper- und/oder Luftschall auftretenden Vibrationen vorgesehen ist, sowie eine Auswerteeinheit (7), die dem gemessenen Vibrationssignal (V) zur Identifizierung eines Ist-Betriebszustandsbereiches der Austrittsdüse (2) einen von zumindest drei vorgegebenen Betriebszustandsbereichen zuordnet, wobei eine Anzeige- oder Regelungseinheit (8) vorgesehen ist, die ein dem Ist-Betriebszustandsbereich der Austrittsdüse (2) zugeordnetes Anzeige- oder Regelsignal zur Anzeige oder Regelung des Ist- Betriebszustandsbereiches der Austrittsdüse (2) generiert.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anzeige- oder Regelungseinheit (8) zumindest ein Leuchtmittel (9,10,11) umfasst, das den identifizierten Ist-Betriebszustandsbereich visuell von den anderen Betriebszustandsbereichen unterscheidbar zur Anzeige bringt.
6. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anzeige- oder Regelungseinheit (8) drei Leuchtmittel (9,10,11) umfasst, wobei zwei Leuchtmittel (9, 11) einem unkritischen und einem kritischen Betriebszustandsbereich zugeordnet sind, und ein weiteres Leuchtmittel (10) einem subkritischen Betriebszustandsbereich zugeordnet ist.
7. Schneidbrenner mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 6.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

1/3

Fig. 1

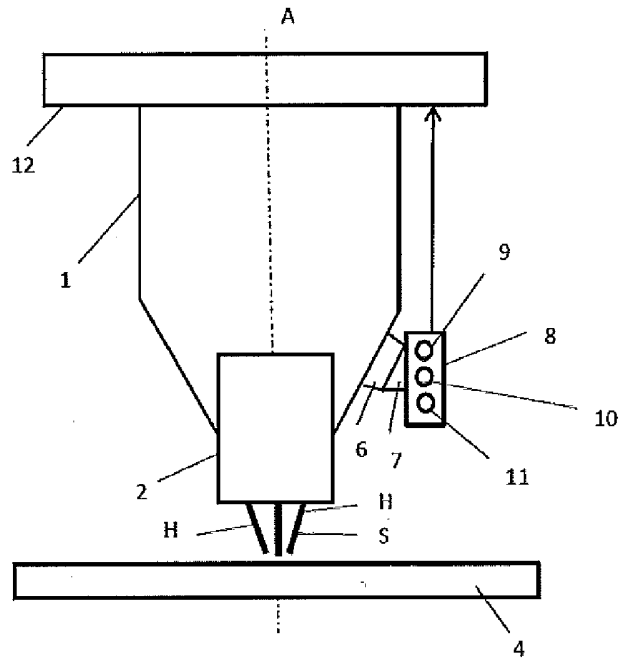
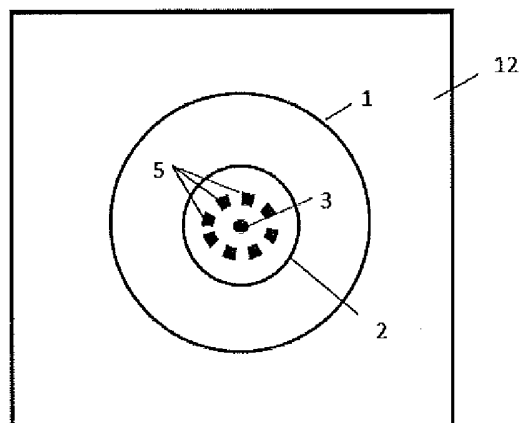


Fig. 2



2/3

Fig. 3

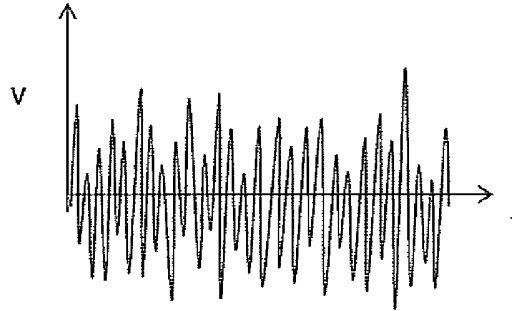


Fig. 4a

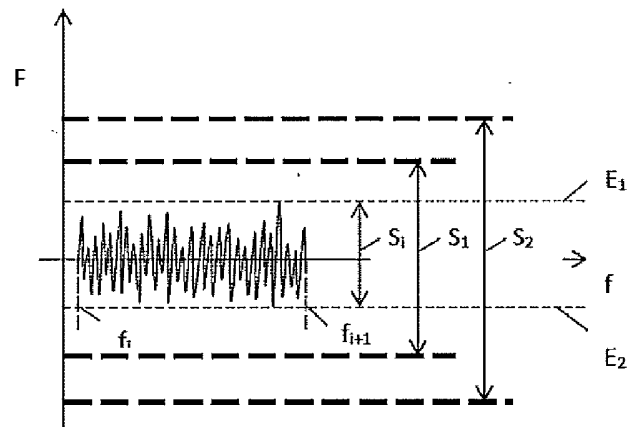
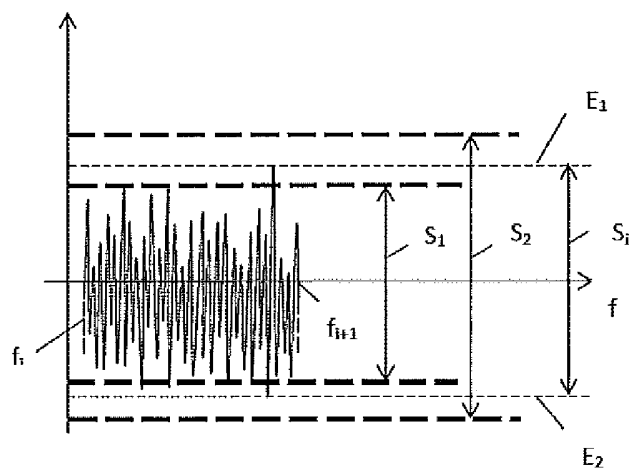


Fig. 4b



3/3

Fig. 4c

