

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum thermischen Beschichten, insbesondere Hochgeschwindigkeitsflammspritzen.

[0002] Thermische Beschichtungsverfahren, insbesondere Spritzverfahren und deren Vorrichtungen unterscheiden insbesondere hinsichtlich der eingesetzten Materialien und Medien zur Erzeugung thermischer und kinetischer Energie. Die Vorrichtungen sind üblicherweise in Abhängigkeit der Verfahren unterschiedlich aufgebaut.

[0003] Beim Hochgeschwindigkeitsflammspritzen besteht das Problem einer hohen Spritzstrahldivergenz. Das bedeutet, dass der Strahl in einer Strömungsrichtung expandiert, was zu einer inhomogenen Verteilung von Partikelphasen und deren Geschwindigkeiten beiträgt. Daraus folgen unter anderem ein inhomogener Schichtaufbau, hohe Porositäten, Oxidation der Partikelphasen und ein geringer Auftragswirkungsgrad.

[0004] Infolge eines Geschwindigkeitsgefälles zwischen Spritzstrahl und Umgebung treten radiale turbulente Austauschvorgänge auf, welche Umgebungs-substanz mitreißen und dabei den Strahl verzögern. Ein Impulsaustausch mit der „ruhenden“ Umgebungsluft ist ein Hauptgrund für die Aufweitung des Freistrahls. Durch die Divergenz des Spritzstrahls gelangt ein nicht unerheblicher Teil der Partikelfraktion in langsamere Außenbezirke.

[0005] Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung der vorgenannten Art anzugeben, mit denen die vorgenannten Nachteile vermieden werden und mit denen eine bauteilschonende Beschichtung von Oberflächen präzise und mit hoher Beschichtungseffizienz erfolgen kann.

[0006] Die Aufgabe wird hinsichtlich des Verfahrens erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1, hinsichtlich der Vorrichtung erfindungsgemäß durch die Merkmale der Ansprüche 8 und 9 gelöst.

[0007] Demzufolge ist ein Verfahren zum thermischen Beschichten, insbesondere Hochgeschwindigkeitsflammspritzen, vorgesehen, bei dem ein Spritzstrahl, der ein Gasgemisch aber auch ein Einzelgas als Gaskomponente enthalten kann, mit Hilfe eines Brenngases erzeugt wird und eine verdrallte Hüllgasströmung den Spritzstrahl zumindest teilweise umschließt und der Spritzstrahl und die Hüllgasströmung beschleunigt werden, insbesondere durch eine Expansionsdüse geführt werden, zur Erhöhung einer Strömungsgeschwindigkeit des Spritzstrahls und der Hüllgasströmung.

[0008] Die vorliegende Aufgabe wird erfindungsgemäß

maß auch durch eine Vorrichtung zum thermischen Beschichten, insbesondere Hochgeschwindigkeitsflammspritzen, gelöst, wobei eine Düse zur Erzeugung eines Spritzstrahls, der ein Gasgemisch oder ein Einzelgas enthält, vorgesehen ist und der Düse in Strömungsrichtung eine Expansionsdüse nachgeordnet ist.

[0009] Insbesondere ist zusätzlich, vorzugsweise stromab der Düse und stromauf der Expansionsdüse ein Drallerzeuger vorgesehen, durch den der Spritzstrahl mit einem, einem Drehimpuls aufweisenden Hüllgasstrom umgeben ist.

[0010] Zur Erzeugung von besonders hohen Geschwindigkeiten des Spritzstrahls hat sich gezeigt, dass mit einem Nachschalten einer Expansionsdüse überschallschnelle Strömungsgeschwindigkeiten erzielbar sind. Ein solcher auch als ein Gas-Partikelstrahl bezeichneter Spritzstrahl weist jedoch Instabilitäten auf, insbesondere durch Wirbelbildung im Grenzschichtbereich zur umgebenden Atmosphäre, so dass zusätzlich ein Drallerzeuger vorgesehen ist, der eine Hüllgasströmung, die einen Drehimpuls aufweist, erzeugt, die eine stabilisierende Wirkung auf den Spritzstrahl hat, so dass dieser eine wesentlich präzisere gerichtete, strömungsberuhigte Gestalt hat.

[0011] Die vorliegende Aufgabe wird erfindungsgemäß auch durch eine Vorrichtung zum thermischen Beschichten, insbesondere Hochgeschwindigkeitsflammspritzen, gelöst, wobei eine Düse zur Erzeugung eines Spritzstrahles vorgesehen und ein Drallerzeuger zur Erzeugung einer verdrallten Hüllgasströmung vorgesehen ist. Vorzugsweise ist der Düse in Strömungsrichtung des Spritzstrahles eine Expansionsdüse als Strahlbeschleuniger nachgeordnet, und es ist vorzugsweise der Drallerzeuger zur Düse derart angeordnet ist, dass die Hüllgasströmung den Spritzstrahl wenigstens mit Eintritt in die Expansionsdüse umhüllt.

[0012] Die verdrallte Hüllgasströmung ist als gezielt rotierende Strömung ausgebildet. Hingegen ist der Spritzstrahl an sich ein in axialer Richtung stark expandierender Gas-Partikel-Strahl, der im Grenzbereich zu einem Umgebungsmedium, vorzugsweise Luft, infolge von Impulsaustauschvorgängen und hierdurch verursachten Wirbelbildungen zur instationären Eigenbewegung neigt. Die Hüllgasströmung wirkt auf den Spritzstrahl stabilisierend und teilweise fokussierend, so dass hierdurch die Expansion verringert und die Beschichtungsergebnisse verbessert werden. Mittels des Drallerzeugers wird die Hüllgasströmung mit einem Drehimpuls beaufschlagt, wodurch der Spritzstrahl mit einer Hüllgasglocke umschlossen wird. Diese führt neben den kinematischen Vorteilen auch zu einer deutlich geringeren Aufheizung der Vorrichtung, wodurch höhere Prozessleistungen ohne ein Erreichen kritischer Temperaturer-

höhungen möglich sind. Durch die Expansionsdüse wird zudem die Hüllgasströmung mit dem Spritzstrahl auf überschallschnelle Geschwindigkeiten gebracht, wobei mit Eintritt der beiden Strömungen in die Expansionsdüse, die Hüllgasströmung den Spritzstrahl umhüllt.

[0013] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens und der vorzugsweise zur seiner Durchführung vorgesehenen Vorrichtung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0014] Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausbildung der Erfindung weist der Spritzstrahl und die Hüllgasströmung bei Austritt aus der Expansionsdüse Überschallgeschwindigkeit auf. Durch die Überhöhung der Geschwindigkeiten lassen sich noch dichtere Spritzschichten erzielen, die auch eine hohe Maßgenauigkeit aufweisen. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass durch Überschallgeschwindigkeit des Spritzstrahles die Spritzschichten bessere Hafteigenschaften als bisher aufweisen und nur minimal Veränderungen der beschichteten Werkstoffen zu beobachten sind.

[0015] Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umströmt die Hüllgasströmung den Spritzstrahl in Form einer Helix. Die Hüllgasströmung wird durch einen Drallerzeuger mit einem Drehimpuls beaufschlagt, was insbesondere stabilisierend auf den stark expandierenden Spritzstrahl wirkt. In Versuchen, bei denen Brenner mit und ohne Verdrallung gegenübergestellt wurden, hat sich gezeigt, dass Einrichtungen mit Verdrallung eine deutlich homogenere und konzentrierte Verteilung des Spritzzusatzwerkstoffes (des aufzuspritzenden Materialgemisches) erzeugen.

[0016] In vorteilhafter Weise wird der Spritzstrahl aus einem Brenngasgemisch (z. B. Äthylen und Sauerstoffgemisch) und Materialpartikeln gebildet, wobei in dem Spritzstrahl die Materialpartikel zum Teil aufgeschmolzen werden. In Abhängigkeit von einer Schmelztemperatur der Partikel können diese aber auch vollständig oder gar nicht aufschmelzen, wobei im letzteren Falle die Partikel die Beschichtung auf dem zu beschichteten Bauteil im wesentlichen unter Umwandlung ihre kinetischen Energie beim Auftreffen auf das Bauteil bewirken. Das aufzuspritzende Material wird vorzugsweise in einer leicht mit dem Brenngas mischbaren Partikelform zur Bildung des Spritzstrahles bereitgestellt, kann aber auch in fester oder flüssiger Form mit dem Brenngas zur Bildung des Spritzstrahles in eine fluidisierte Mischung gebracht werden.

[0017] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die Hüllgasströmung aus einem Kühlgas gebildet, zur Kühlung einer Düseneinrichtung, aufweisend eine Düse zur Erzeugung des Spritz-

strahls, einen Drallerzeuger zur Erzeugung der Hüllgasströmung und eine Expansionsdüse. Ein zusätzlicher Effekt der verdrallten Hüllgasströmung ist eine deutlich geringere Aufheizung der Düseneinrichtung gegenüber konventionellen Brennern. Dadurch ist es möglich, höhere Prozessleistungen ohne kritische Temperaturerhöhung der Düseneinrichtung zu realisieren. Insbesondere kann eine fast doppelte Prozessleistung realisiert werden.

[0018] Nach einer vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung weist der Spritzstrahl nach Verlassen der Expansionsdüse Unterschallgeschwindigkeit auf.

[0019] Die vorgenannten Vorteile sind auch auf Verfahren anwendbar, bei denen die Spritzstrahlgeschwindigkeit im Unterschallbereich für die entsprechenden Medien liegen. Zusätzlich ist es auch möglich das Verfahren auf jegliche andere thermische Spritzverfahren anzuwenden, wobei auch darauf hingewiesen ist, dass auch Kaltgasverfahren mit eingeschlossen sind.

[0020] Nach einer besonderen Ausführungsform der Erfindung ist die Expansionsdüse eine Lavaldüse, die insbesondere einen Querschnitt aufweist, der in einer Durchströmrichtung der Lavaldüse sich verengt und sich nach einem Übergang wieder bis zu einem Gasaustritt wieder weitet. Lavaldüsen sind Düsen, die sich zunächst verengen und nach einem Übergang wieder weiten. Hierdurch wird das durchströmende Gas auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt. Durch die hohe Geschwindigkeiten können noch bessere Ergebnisse, z. B. eine geringere Porosität und gute Anbindung an den Grundwerkstoff, erreicht werden.

[0021] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist der Drallerzeuger radial im Bereich der Düse angeordnet, wobei er wenigstens teilweise in Umfangsrichtung die Düse umschließt, und wobei der Drallerzeuger insbesondere ringförmig ausgebildet ist. Die Düse und der Drallerzeuger sind zweiteilig ausgebildet, wobei der Drallerzeuger über die Düse geschoben und festgelegt wird. Beide Bauteile weisen eine zylindrische Kontur auf, wobei der Drallerzeuger mittig eine Aussparung aufweist, die der Düse an einen Außendurchmesser angepasst sind.

[0022] Weiterhin weist der Drallerzeuger in einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung Kanäle auf, die sich von einer Eingangsseite zu einer Ausgangsseite des Drallerzeugers erstrecken, im wesentlichen entlang einer Längsmittelachse des Drallerzeugers, wobei die Kanäle auf der Eingangsseite eine Eingangsöffnung und auf der Ausgangsseite eine Austrittsöffnung aufweisen. Die Kanäle in dem Drallerzeuger dienen der Erzeugung einer Hüllgasströmung und verlaufen im wesentlichen geneigt entlang einer Längsmittelachse des Drallerzeugers und

damit auch korrespondierend zu einer Längsmittelachse der Düse. Beide Längsmittelachsen sind parallel zueinander angeordnet. Die Eingangsseite mit der Eintrittsöffnung der einzelnen Kanäle ist der Ausgangsseite gegenüberliegend angeordnet, wobei die Eingangsseite auf einer stromaufwärts gelegenen Seite des Drallerzeugers angeordnet ist. Die Ausgangsseite mit den Austrittsöffnungen ist entsprechend auf der anderen Seite des Drallerzeugers angeordnet, benachbart zu einem Einströmbereich der Expansionsdüse.

[0023] Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Eintrittsöffnung der einzelnen Kanäle benachbart zu einer in einer radialen Richtung des Drallerzeugers gelegenen Außenseite auf der Eingangsseite angeordnet, wohingegen die Austrittsöffnung in einem Bereich zu einer in der radialen Richtung gelegenen Innenseite angeordnet ist. Die Innenseite entspricht dabei einer inneren Mantelfläche des Drallerzeugers. Die Austrittsöffnung können zum einen ganz auf der Innenseite angeordnet sein, die Innenseite und Ausgangsseite schneiden oder nur auf der Ausgangsseite angeordnet sein. Durch die nach innen, in Richtung der Längsmittelachse gerichtete Ausrichtung der Kanäle strömt die Hüllgasströmung auf den Spritzstrahl zu, wodurch eine bessere Umhüllung erreicht werden kann.

[0024] Gemäß einer ebenso vorteilhaften Ausgestaltung erstrecken sich die Kanäle zumindest teilweise in Umfangsrichtung des Drallerzeugers. Zusätzlich zur oben beschriebenen Ausrichtung der Kanäle in Radialrichtung des Drallerzeugers, sind die Kanäle auch in Umfangsrichtung ausgerichtet. Die Kanäle verlaufen somit nicht achsparallel zu der Längsmittelachse des Drallerzeugers, sondern windschief zu der Längsmittelachse.

[0025] Vorteilhafterweise ist eine Längserstreckung der Kanäle zur Längsmittelachse und der Umfangsrichtung des Drallerzeugers geneigt. Damit wird durch die Ausrichtung der Kanäle zur Längsmittelachse der Düse und gleichzeitig auch der Strömungsrichtung des Spritzstrahls die Hüllgasströmung verdrallt, also in eine rotierende Bewegung versetzt. Die Verdrallung wirkt auf die Hüllgasströmung stabilisierend.

[0026] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist die Austrittsöffnung der Kanäle in dem Drallerzeuger tangential gekippt in Bezug auf eine Längsmittelachse der Expansionsdüse. Die Expansionsdüse ist koaxial zur Düse und zum Drallerzeuger angeordnet. Zur Erzeugung der Verdrallung der Hüllgasströmung hat sich deshalb vorteilhaft herausgestellt, dass die Austrittsöffnungen der Kanäle zu der Strömungsrichtung des Spritzstrahl so angeordnet sind, dass ein Hüllgas in einem Winkel den Spritzstrahl umströmt. Durch die koaxiale Anordnung wird

der Spritzstrahl vornehmlich axial die Expansionsdüse durchströmen. Das Hüllgas wird nach Eintritt in die Expansionsdüse geleitet und zu einer beschleunigten rotierenden Strömung angeregt.

[0027] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist die Austrittsöffnung der Kanäle einen Anstellwinkel auf, der mit einem Eingangswinkel einer Innenkontur der Expansionsdüse korrespondiert, insbesondere diesem zumindest annähernd entspricht. Es hat sich gezeigt, dass die Hüllgasströmung erhöhten Kühleffekt auf die Vorrichtung hat und vorzugsweise mit einem der Innenkontur entsprechenden Winkel in die Expansionsdüse einzuleiten ist, um eine optimale Verdrallung, sprich Rotation um den Spritzstrahl, zu erzielen. Entsprechend des oben genannten Querschnitts der Expansionsdüse, die vorteilhafterweise eine Lavaldüse ist, weist die Innenkontur in einem Eingangsbereich einen sich verjüngenden Querschnitt auf, wobei eine rotationssymmetrische Wandung dieses Bereiches in einem Winkel zu Längsmittelachse des Lavaldüse steht. Der Anstellwinkel der Kanäle entspricht diesem Winkel der Wandung zu der Längsmittelachse der Expansionsdüse.

[0028] Vorteilhaft weisen die Kanäle einen zylindrischen Querschnitt auf und sind insbesondere rotationssymmetrisch in dem Drallerzeuger angeordnet. Zur gleichmäßigen Umströmung des Spritzstrahl und damit einer verbesserten Stabilisierung desselben, sind die Kanäle über den Umfang des Drallerzeugers gleichmäßig angeordnet und verteilt. Somit ist gewährleistet, dass der Spritzstrahl nicht nur teilweise umströmt ist. Zudem bewirkt eine möglichst hohe und über den Umfang des Drallerzeugers verteilte Anzahl an Kanälen auch eine vollflächige Umströmung des Spritzstrahls.

[0029] In einer weiteren Ausbildung der Erfindung weist die Düse einen Materialkanal und einen oder mehrere Brenngaskanäle auf, wobei der Materialkanal vorzugsweise axial und die Brenngaskanäle zumindest teilweise achsenparallel sich in der Düse erstrecken. Mit dem auf der Längsmittelachse gelegenen Materialkanal kann ein aufzuspritzendes Material direkt durch eine Materialaustrittsöffnung, im allgemeinen in Partikelform in einem Trägergas suspendiert, einem Mischbereich der Düse zugeführt werden, wo es mit einem Brenngas vermischt wird. Das Brenngas gelangt durch die Brenngaskanäle ebenfalls in den Mischbereich der Düse, wobei die Brenngaskanäle in einem zum Mischbereich gelegenen Abschnitt der Düse zur Längsmittelachse der Düse gerichtet sind. Die Brenngaskanäle sind gleichmäßig über einen Umfang der Düse angeordnet, womit eine gleichmäßig Umströmung des Materials im Mischbereich und eine optimale Vermischung von Brenngas und Material erzielt wird. Vorzugsweise wird das aufzuspritzende Material in Partikelform mittels eines

Trägergases durch die Düse in dem also als eine „gasförmige Suspension“ durch die Auftragseinrichtung in den Druckbereich der Düse zugeführt. Die Vorbereitung des aufzuspritzenden Materiales ist hierauf aber nicht beschränkt. Vielmehr kann das Auftragsmaterial auch in stabil-fester oder flüssiger, z. B. bereits vorgeschmolzener Form mit dem Brenngas vermischt werden.

[0030] Nach einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist der Drallerzeuger eine Tangentialdüse. Bei der vorliegenden Tangentialdüse ist die Strömungsrichtung eines durchgeleiteten Mediums nach innen auf die Längsmittelachse gerichtet, wodurch sich die Verdrallung der Strömung ergibt.

[0031] Gemäß eine vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung enden die Kanäle des Drallerzeugers stromabwärts oder -aufwärts zu einer Gasaustrittsmündung der Düse. Im allgemeinen ist die Anordnung der Austrittsöffnungen der Kanäle stromabwärts zur Gasaustrittsmündung der Düse wünschenswert. In alternativen Ausgestaltungen der Vorrichtung kann aber auch eine stromaufwärts oder eine in der gleichen Ebene vorgesehenen Anordnung der Austrittsöffnungen Kanäle Vorteile bringen, so dass der Spritzstrahl möglichst von Beginn an von der Hüllgasströmung umströmt wird. Auch fungiert das Hüllgas als ein Kühlgas, so dass die Anordnung stromaufwärts weitere vorteilhafte Kühlwirkungen, insbesondere an der Gasaustrittsmündung der Düse und zu einem den Spritzstrahl möglicherweise umgebenden Gehäuse, ergibt.

[0032] Vorzugsweise können die Austrittsöffnungen des Drallerzeugers auch innerhalb des Expansionsdüse angeordnet sein. Dabei kann der Drallerzeuger zum Teil in dem Eingangsbereich des Expansionsdüse, insbesondere mit den Austrittsöffnungen, angeordnet sein, oder der Drallerzeuger und die Expansionsdüse sind derart miteinander gekoppelt, dass die Expansionsdüse Austrittsöffnungen es Drallerzeugers beispielsweise im Eingangsbereich aufweist.

[0033] Ebenso kann es vorteilhaft sein, wenn die Kanäle sich annähernd in Form einer Helix durch den Drallerzeuger erstrecken. Sofern die Kanäle stromaufwärts zur Gasaustrittsöffnung angeordnet sind, ist mit einer helixartigen Form der Kanäle ein frühzeitige Verdrallung möglich. Zusätzlich kann mit dieser Form der Kanäle auch die Verdrallung noch verstärkt werden.

[0034] Gemäß einem besonderes vorteilhaften Ausführungsbeispiel ist die Düse, der Drallerzeuger und die Expansionsdüse durch die Hüllgasströmung kühlbar. Das Hüllgas wirkt gleichzeitig auch als Kühlgas, um die Vorrichtung, die durch die hohen Temperaturen des Brenngases stark erhitzt wird, zu kühlen. Die Kühlwirkung kann sich auch auf den Brenngasstrahl

(Spritzstrahl) erstrecken.

[0035] Die Erfindung wird nachstehend anhand eines bevorzugtes Ausführungsbeispielen und zugehöriger Zeichnungen näher erläutert. In diesen zeigen:

[0036] [Fig. 1](#) einen axialen Längsschnitt durch eine Spritzeinrichtung in schematischer Darstellung,

[0037] [Fig. 2](#) einen axialen Längsschnitt durch die Spritzeinrichtung ähnlich [Fig. 1](#), jedoch unter zeichnerischer Darstellung von in der Schnittebene nicht sichtbarer Kanäle, und mit Veränderung der Verbindung zwischen Düse und Düsengrundkörper im Bereich einer Materialführung des aufspritzenden Materiales,

[0038] [Fig. 3](#) eine Vorderansicht nach [Fig. 1](#),

[0039] [Fig. 4](#) eine Vorderansicht eines Drallerzeugers,

[0040] [Fig. 5](#) einen Schnitt A-A nach [Fig. 4](#),

[0041] [Fig. 6](#) eine perspektivische Darstellung des Drallerzeugers nach [Fig. 4](#), und

[0042] [Fig. 7](#) einen Schnitt B-B nach [Fig. 6](#).

[0043] Ein axialer Längsschnitt durch eine Spritzeinrichtung zum thermischen Beschichten von Oberflächen, insbesondere zum Hochgeschwindigkeitsflammspritzen, ist in [Fig. 1](#) dargestellt. Dabei wird eine Düseneinrichtung gezeigt mit einem Düsengrundkörper **1**, an dem eine Düse **4** und ein Drallerzeuger **5** durch eine Befestigungshülse **2**, die zum Beispiel in hier nicht dargestellter Weise auf den ein Außengewinde tragenden Düsengrundkörper **1** aufgeschraubt ist, gehalten sind. Darüber hinaus ist eine Expansionsdüse **6** mit der Befestigungshülse **2** gegen die Düse **4** und den Drallerzeuger **5** verspannt.

[0044] Die Düse **4** weist ein zylindrische Form auf, wobei in einem Endbereich **7** ([Fig. 2](#)) der Düse **4** ein Mündungsbereich konisch verjüngt ist. Anderen Konturierungen sind möglich. Die Düse **4** weist eine axiale Bohrung **8** als Materialkanal auf, der in dem Endbereich **7** der Düse **4** mit einer Materialaustrittsöffnung endet. Auf einer dem Endbereich **7** gegenüberliegenden Seite der Düse **4** korrespondiert der Materialkanal **8** mit einer Bohrung **9** in dem Düsengrundkörper **3**, die vorzugsweise einen gleichen Querschnitt wie der Materialkanal **8** aufweist.

[0045] Durch die Bohrung **9** bzw. den Materialkanal **8** wird das aufzuspritzende Material in Partikelform in einen Gastrom als Träger- und Transportgas zur Vermischung mit einem Brenngasstrom geführt.

[0046] Bezüglich einer Trennebene zwischen Düse

4 und Düsenkörper 1 zeigt [Fig. 2](#) eine Modifikation in Gestalt einer in diesem Bereich eingesetzten Verbindungshülse 30, die die Strömungsübergabe zwischen den düsenseitigen Kanälen 8, 11 und den grundkörperseitigen Versorgungskanälen/-bohrungen 9, 10 verbessert.

[0047] Die Düse 4 ist benachbart zu dem Düsengrundkörper 3 durch die Befestigungshülse 2 angeordnet. Die mit dem Materialkanal 8 korrespondierende Bohrung 9 ist ebenfalls axial in dem Düsengrundkörper 3 angeordnet. Parallel zur axialen Bohrung 9 verläuft eine weitere Bohrung, nämlich ein Brenngaskanal 10. Der Brenngaskanal 10 erstreckt sich wie die Bohrung 9 in einer Längserstreckung der Düsen-einrichtung. In der [Fig. 1](#) ist nur ein Brenngaskanal 10 dargestellt. Es kann eine Mehrzahl von Brenngaskanälen 10 vorgesehen sein, die zum Beispiel ein Athylen/Sauerstoff-Gemisch als Brenngas transportieren.

[0048] In der Düse 4 sind neben dem Materialkanal 8 die Brenngaskanäle 11 zumindest teilweise parallel angeordnet. In der [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ist ein erster Abschnitt 12 dargestellt, der einen gleichen Querschnitt, wie einen Querschnitt des Brenngaskanal 10 in dem Düsengrundkörper 3 aufweist. Nach dem ersten Abschnitt 12 der Brenngaskanäle 11 verjüngt sich der Querschnitt, wobei zusätzlich eine Längserstreckung der Brenngaskanäle 11 auf eine Längsmittelachse 13 der Düse 4 gerichtet ist. Die Brenngaskanäle 11 enden in dem Endbereich 7 der Düse 4. Der Endbereich 7 bildet einen Mischbereich, in dem ein Brenngas und der gasförmige Teilchenstrom des aufzutragenden Materials gemischt werden. Durch die Ausrichtung des Materialkanals 8 und der Brenngaskanäle 11 wird eine gute Mischung zwischen Brenngas und Teilchenstrom erreicht, da eine Brenngasströmung bei Austritt aus der Düse auf den Partikelstrom gerichtet ist.

[0049] Wie den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) zu entnehmen ist, sind die Brenngaskanäle 11 gleichmäßig und rotationssymmetrisch um den Materialkanal 8 in der Düse angeordnet und weisen im wesentlichen einen zylindrischen Querschnitt auf. Durch die Verringerung des Querschnitts in den Brenngaskanälen 11 wird die Strömungsgeschwindigkeit der Brenngasströmung erhöht.

[0050] Die Düse 4 ist derart dimensioniert, dass sie beabstandet innerhalb des Raumes, gebildet durch die Befestigungshülse 2, angeordnet ist. Zwischen der Düse 4 und einer Innenwandung 14 der Befestigungshülse 2 ist ein Zwischenraum gebildet. Dieser Zwischenraum entspricht in einem Querschnitt vorzugsweise einem Querschnitt einer Bohrung in dem Düsengrundkörper 3. Diese Bohrung ist ein Hüllgaskanal 15. Durch die ringartige Ausbildung des Zwischenraums in der Befestigungshülse 2 ist es ausrei-

chend, wenn in dem Düsengrundkörper 3 nur ein Hüllgaskanal 15 vorgesehen ist. Dennoch können in anderen Ausführungsbeispielen mehrere Hüllgaskanäle 15 angeordnet sein.

[0051] Durch die Befestigungshülse 2 ist auch der Drallerzeuger 5 gehalten, der als zylindrischer Ringkörper ausgebildet ist. Der Drallerzeuger 5 ist dabei zumindest teilweise zwischen Düse 4 und Innenwandung 14 angeordnet, wobei der Drallerzeuger 5 den Zwischenraum vollständig in radialer Richtung ausfüllt. Der Drallerzeuger 5 ist, wie in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ersichtlich, in Endbereich 7 der Düse 4 festgelegt, so dass zwischen Drallerzeuger 5 und dem Düsengrundkörper 3 ein Zylinderraum verbleibt.

[0052] Der Drallerzeuger 5 weist Kanäle 16 auf, die sich im wesentlichen in einer Längserstreckung des Drallerzeugers 5 erstrecken. In [Fig. 7](#) ist der Verlauf eines Kanals 16 gezeigt, wobei sich der Kanal 16 von einer von einer Eingangsseite 17 der Düse 4 in Richtung eines gegenüberliegenden Bereiches erstreckt. Eine Austrittsöffnung 18 ist auf einer Innenwandung 24 des Drallerzeugers angeordnet, wohingegen eine Eintrittsöffnung 19 in einem radial außen liegenden Bereich auf der Eingangsseite 17 angeordnet ist. Somit erstreckt sich der Kanal 16 quer durch den zylindrischen Kreisring des Drallerzeugers 5.

[0053] Zusätzlich ist, wie der [Fig. 4](#) zu entnehmen ist, die Längserstreckung der Kanäle 16 teilweise in Umfangsrichtung des Drallerzeugers 5 gerichtet. Die Kanäle 16 weisen demnach nicht durch die geneigte Längserstreckung in dem Drallerzeuger 5 auf eine Längsmittelachse, die der Längsmittelachse 9 entspricht, sondern an dieser vorbei. Die Längserstreckung der Kanäle 16 ist windschief zur Längsmittelachse 9.

[0054] In dem Drallerzeuger 5 sind mehrere Kanäle 16 verteilt, die rotationssymmetrisch über den Umfang angeordnet sind. Die Austrittsöffnungen 18 liegen um den Mischbereich der Düse 4 angeordnet, wobei die Austrittsöffnungen 18 in dem Ausführungsbeispiel insbesondere stromabwärts zu einer Strömungsrichtung des Brenngases liegen.

[0055] An den Drallerzeuger 5 angrenzend und gemeinsam durch Flansche von der Befestigungshülse 2 geklemmt ist die Expansionsdüse 6 angeordnet. Expansionsdüse 6 und Drallerzeuger 5 liegen in Dichtlage zu einander. Die Expansionsdüse 6 ist koaxial zur Düse 4, zum Düsengrundkörper 3 und zum Drallerzeuger 5 positioniert. Die Expansionsdüse 6 ist durch die Befestigungshülse 2 gehalten, wozu sie an einer Eingangsseite einen flanschartigen Vorspruch 20 aufweist, der eine Deckwandung 21 der Befestigungshülse 2 hintergreift. Der Vorspruch 20 ist somit zwischen Drallerzeuger 5 und Deckwandung 21 eingeklemmt, wodurch die Expansionsdüse 6 ge-

halten wird.

[0056] Die Expansionsdüse weist eine zentrale Bohrung **24** auf, wobei an der Eingangsseite eine Eintrittsöffnung **22** in der Expansionsdüse **6** vorgesehen ist. Ein Querschnitt der Eintrittsöffnung **22** entspricht dabei in etwa einem Querschnitt der inneren Ausnehmung des Drallerzeugers **5**. Die Expansionsdüse **6** entspricht dem Aufbau einer Lavaldüse. Demnach verjüngt sich der Querschnitt in Strömungsrichtung der Expansionsdüse **6** zuerst, um im Verlauf der zentralen Bohrung sich zu einer Austrittsöffnung **23** wieder zu weiten. Die zentrale Bohrung **24** entspricht somit einem Rotationshyperboloid.

[0057] Die zentrale Bohrung **24** der Lavaldüse **6** weist eine Innenkontur auf, die zur Eingangsseite einen Eingangswinkel aufweist. Zu diesem Eingangswinkel ausgerichtet ist eine Längserstreckung der Kanäle **16** in dem Drallerzeuger **5**. Die Innenkontur würde demnach auf einer gedachten Bahn bis zu den Eintrittsöffnungen **19** der Kanäle **16** in dem Drallerzeuger **5** unter diesem Eingangswinkel weiter verlaufen. Ein Anstellwinkel der Kanäle **16** an den Austrittsöffnungen **18** entspricht dem Eingangswinkel der zentralen Bohrung **24**.

[0058] Die Funktionsweise der Düseneinrichtung wird nachfolgend näher beschrieben. Durch den Materialkanal **8** in dem Düsengrundkörper **1** gelangt ein Materialstrom (z. B. Partikelstrom im Trägergas) in den Mischbereich der Düse **4**, der dem Endbereich **7** entspricht. Das Material kann sowohl in fester als auch flüssiger Form vorliegen, wobei das feste Partikelmaterial sowohl Pulver-, stab- oder drahtförmig vorliegen kann. In weiteren Ausführungsbeispielen der Düseneinrichtung kann der Materialkanal **8** auch seitlich zum Endbereich **7** geführt sein. Allein ein Austrittsöffnung des Materialkanales **8** sollte axial in der Düse **4** angeordnet sein.

[0059] Weiterhin gelangt durch die Brenngaskanäle **11** Brenngas. Das Brenngas ist meist ein Gemisch aus einem besonders brennbarem Gas, z. B. Äthylen und Sauerstoff. Über die Brenngaskanäle **10** und **11** gelangt das Brenngas in den Mischbereich, wo durch die hohen Temperaturen, die bei der Verbrennung des Brenngases entstehen, das Auftragsmaterial im allgemeinen zumindest teilweise aufgeschmolzen wird.

[0060] Das Brenngas wird unter Druck in den Brenngaskanälen **11** geführt. Das Brenngas und das Auftragsmaterial werden zu einem Spritzstrahl vermischt und entströmen im wesentlichen entlang der Längsmittelachse **9** der Düse **4** in Richtung Expansionsdüse **6**.

[0061] Neben dem Brenngas und dem Material wird auch ein Hüllgas (vorzugsweise ein Edelgas (Inert-

gas) aber auch ggf. Stickstoff oder Luft) durch die weitere in dem Düsengrundkörper **3** angeordnete Bohrung **15** geführt. Das Hüllgas ist gleichzeitig auch ein Kühlgas. Das Hüllgas gelangt über die Bohrung **15** in den Zwischenraum zwischen Innenwandung der Befestigungshülse **2** und der Düse **4**. Von dort gelangt es in die Kanäle **16** des Drallerzeugers **5**. Durch dessen Austrittsöffnungen **18** strömt es zu mindestens teilweise in den Mischbereich, wobei die Austrittsöffnungen **18** derart angeordnet sind, dass das Hüllgas direkt und gleichgerichtet in die zentrale Bohrung **24** der Expansionsdüse **6** strömt.

[0062] Durch die spezielle Anordnung und Ausrichtung der Kanäle **16** in dem Drallerzeuger **5** strömt das Hüllgas tangential auf den Spritzstrahl, wobei es seitlich durch die Innenkontur der Expansionsdüse **6** begrenzt und geführt wird. Durch die geneigte Einströmung der Hüllgasströmung und die runde Bohrung in der Expansionsdüse **6** wird die Hüllgasströmung in eine rotierende bzw. verdrallte Strömung versetzt. Der Hüllgasströmung wird also ein Drehimpuls verliehen.

[0063] Die verdrallte Hüllgasströmung behält ihren Drehimpuls auch in der Expansionsdüse **6**, wodurch die Hüllgasströmung auch nach Austritt aus der Expansionsdüse **6** einen rotierenden Strömungsverlauf aufweist. Die verdrallte Hüllgasströmung wirkt somit stabilisierend auf den Spritzstrahl, der ansonsten eine gewisse Strahldivergenz aufweist. Der Spritzstrahl (Temperatur z. B. im Bereich von 2500°C–3000°C) expandiert unter normalen Bedingungen durch den Kontakt mit der Umgebung. Dieses Expansion kann durch die verdrallte Hüllgasströmung beseitigt oder zumindest verringert werden, wodurch eine homogenere und konzentrierte Verteilung von Spritzpartikeln erzielbar ist. Ebenso wird ein Flambereich des Spritzstrahl stabilisiert, der ohne Verdrallung des Hüllgases im Umfangsbereich zu Instabilität neigt. Der Flambereich flackert mit einer verdrallten Hüllgasströmung weniger, was weiteren positiven Einfluß auf das Spritzergebnis hat.

[0064] Das Hüllgas wirkt auch gleichzeitig als Kühlgas. Durch die Einspeisung des Kühlgases durch den Düsengrundkörper **2** wird thermische Energie abgeführt, wodurch kritische Temperaturerhöhungen der Düseneinrichtung vermieden werden. Auch wird durch die Hüllgasströmung der Spritzstrahl selbst gekühlt, was insbesondere auf ein zu bespritzenden Körper positive Auswirkungen hat, da dieses nicht übererhitzt wird. Dadurch und durch die geringe Aufheizung der Düseneinrichtung können höhere Prozeßleistungen erzielt werden.

[0065] In einer anderen Ausführungsform ist die Ausbildung der Kanäle **16** in dem Drallerzeuger in Form einer Helix möglich. Dadurch wird schon in dem Drallerzeuger das Hüllgas bzw. Kühlgas in Rotation

versetzt, was die Stabilisierung des Spritzstrahls weiterhin verbessert. Zudem könnte ein solcher Drallerzeuger auch in anderen Spritzverfahren einsetzbar sein, die keine nachgeschaltete Expansionsdüse oder dergleichen aufweisen. Insbesondere ist diese für Verfahren interessant, die im Unterschallbereich des Spritzstrahles arbeiten.

[0066] Die Drallbeaufschlagung des Hüllgasstromes kann auch in anderer Weise als den hier vorgesehenen Drallerzeuger **5**, wie z. B. durch rotierende mechanische Drehflügel und auch stromab der Expansionsdüse **6** erfolgen.

[0067] Das thermische Beschichten umfasst auch ein dreimpulsstabilisiertes Kaltspritzen (hier ist das Brenngas im allgemeinen kein Gasgemisch da auf ein Oxidationsgas (Sauerstoff) verzichtet werden kann) sowie verschiedene Ausführungsformen des Lichtbogenspritzens.

[0068] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum thermischen Beschichten und eine Vorrichtung, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens, insbesondere Hochtemperaturflammspritzen, von Oberflächen. Ein Spritzstrahl wird von einer mit einem Drehimpuls beaufschlagten Hüllgasströmung umströmt. Spritzstrahl und Hüllgasströmung werden zusätzlich durch eine Expansionsdüse geführt, die einer Düse zur Erzeugung des Spritzstrahls und einem Drallerzeuger zur Erzeugung der Hüllgasströmung in einer Strömungsrichtung nachgeordnet ist. Die Hüllgasströmung stabilisiert den Spritzstrahl. Weiterhin wird einer Strahldivergenz des Spritzstrahls durch die Hüllgasströmung eingegrenzt. Zusätzlich wirkt die Hüllgasströmung auch kühlend auf die Vorrichtung und den Spritzstrahl.

Patentansprüche

1. Verfahren zum thermischen Beschichten, insbesondere Hochgeschwindigkeitsflammspritzen, bei dem ein Brenngas und aufzuspritzendes Material enthaltender Spritzstrahl erzeugt wird und eine verdrallte Hüllgasströmung den Spritzstrahl zumindest teilweise umschließt und der Spritzstrahl und die Hüllgasströmung beschleunigt werden, insbesondere durch eine Expansionsdüse **(6)** geführt werden, zur Erhöhung einer Strömungsgeschwindigkeit des Spritzstrahls und der Hüllgasströmung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Spritzstrahl und die Hüllgasströmung bei Austritt aus der Expansionsdüse **(6)** Überschallgeschwindigkeit aufweisen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Hüllgasströmung den Spritzstrahl in Form einer Helix umströmt.

4. Verfahren nach zumindest einem davorstehenden Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Hüllgasströmung aus einem Kühlgas gebildet wird, zur Kühlung einer Düseneinrichtung, aufweisend eine Düse **(4)** zur Erzeugung des Spritzstrahls, einen Drallerzeuger **(5)** zur Erzeugung der Hüllgasströmung und eine Expansionsdüse **(6)**.

5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Hüllgasströmung aus zumindest einem inerten Gas besteht, das den Spritzstrahl gegen eine oxidierende Außenatmosphäre abschirmt.

6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren mit einem Überschuss an Kühlgas im Verhältnis zur Masse des Brenngases durchgeführt wird.

7. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Spritzstrahl nach Verlassen der Expansionsdüse **(6)** Unterschallgeschwindigkeit aufweist.

8. Vorrichtung zum thermischen Beschichten, insbesondere Hochgeschwindigkeitsflammspritzen, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 7, wobei eine Düse **(4)** zur Erzeugung eines Spritzstrahles mit Hilfe eines Brenngases vorgesehen ist und der Düse **(4)** in Strömungsrichtung eine Expansionsdüse **(6)** nachgeordnet ist.

9. Vorrichtung zum thermischen Beschichten, insbesondere Hochgeschwindigkeitsflammspritzen, insbesondere nach Anspruch 8, und insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 7, wobei eine Düse **(4)** zur Erzeugung eines Spritzstrahles und ein Drallerzeuger **(5)** zur Erzeugung einer verdrallten Hüllgasströmung, die den Spritzstrahl umgibt, vorgesehen ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass strömungstechnisch zwischen Düse **(4)** und Expansionsdüse **(6)** ein Drallerzeuger **(5)** zur Erzeugung einer verdrallten Hüllgasströmung, zur Umhüllung eines von der Düse **(4)** ausgehenden Spritzstrahles vorgesehen ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass eine Expansionsdüse **(6)** der Düse **(4)** in Strömungsrichtung des Spritzstrahles nachgeordnet ist.

12. Vorrichtung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Drallerzeuger **(5)** zur Düse derart angeordnet ist, dass die Hüllgasströmung den Spritz-

strahl wenigstens mit Eintritt derselben in die Expansionsdüse umhüllt.

13. Vorrichtung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass ein Drallerzeuger (5) stromab einer Expansionsdüse (6) angeordnet ist.

14. Vorrichtung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Expansionsdüse (6) eine Lavaldüse ist, insbesondere mit einem Querschnitt, der in einer Durchströmrichtung der Lavaldüse sich verengt und sich stromabwärts der Verengung wieder weitet.

15. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Drallerzeuger (5) radial im Bereich der Düse (4) angeordnet ist und wenigstens teilweise die Düse (4) umfangsseitig umschließt, wobei der Drallerzeuger (5) insbesondere ringförmig ausgebildet ist.

16. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 9 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Drallerzeuger (5) Kanäle (16) aufweist die sich von einer Eingangsseite zu einer Ausgangsseite des Drallerzeugers (5) erstrecken, im wesentlichen entlang einer Längsmittelachse (9) des Drallerzeugers (5), wobei die Kanäle (16) auf der Eingangsseite eine Eintrittsöffnung (19) und auf der Ausgangsseite eine Austrittsöffnung (18) aufweisen.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanäle (16) sich von der Eingangsseite zur Ausgangsseite des Drallerzeugers (5) in Richtung zu einer Längsmittelachse (9) des Drallerzeugers (5) radial einwärts erstrecken.

18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanäle (16) sich zumindest teilweise in Umfangsrichtung des Drallerzeugers (5) erstrecken.

19. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass eine Längserstreckung der Kanäle (16) zur Längsmittelachse (9) und in Umfangsrichtung des Drallerzeugers (5) geneigt ist, insbesondere windschief verläuft.

20. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Austrittsöffnung der Kanäle (16) in dem Drallerzeuger (5) tangential gekippt ist in Bezug auf eine Längsmittelachse (9) der Expansionsdüse (6).

21. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Austrittsöffnung der Kanäle (16) einen Anstellwinkel aufweist, der mit einem Eingangswinkel einer Innenkontur der Expansionsdüse (6) korrespondiert, insbe-

sondere diesem zumindest annähernd entspricht.

22. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 16 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanäle (16) einen zylindrischen Querschnitt aufweisen und insbesondere rotations-symmetrisch in dem Drallerzeuger (5) angeordnet sind.

23. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 8 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Düse (4) einen Materialkanal (8) und einen oder mehrere Brenngaskanäle (11) aufweist, wobei der Materialkanal (8) vorzugsweise axial und die Brenngaskanäle (11) zumindest teilweise achsenparallel sich durch die Düse (4) erstrecken.

24. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 8 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass der Drallerzeuger (5) eine Tangentialdüse ist.

25. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 16 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanäle (16) stromabwärts oder -aufwärts zu einem Endbereich der Düse (4) enden.

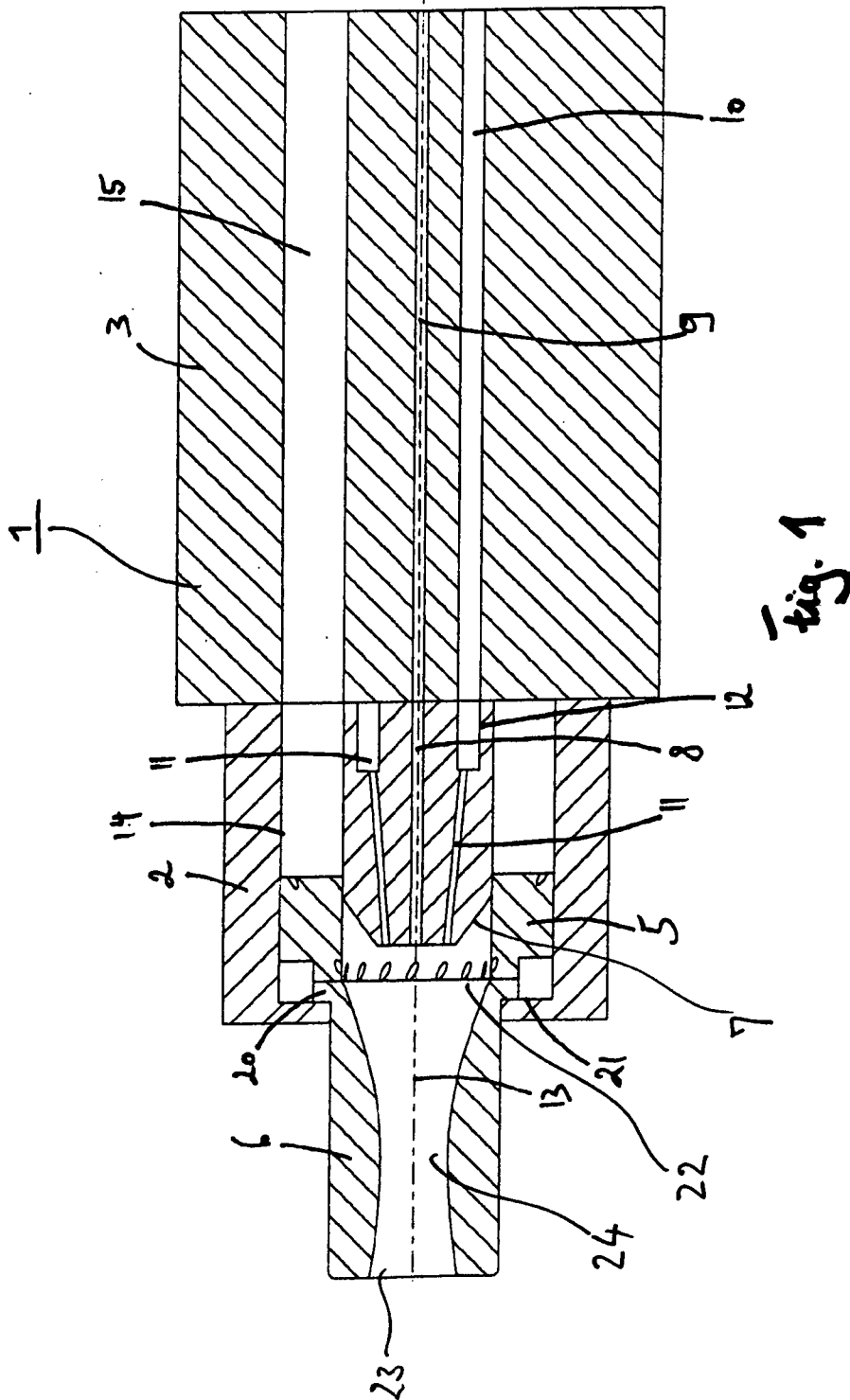
26. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 16 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass Austrittsöffnungen des Drallerzeugers (5) innerhalb der Expansionsdüse (6) angeordnet sind.

27. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 8 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanäle (16) sich annähernd in Form einer Helix durch den Drallerzeuger (5) erstrecken.

28. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 8 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Düse (4), und/oder der Drallerzeuger (5) und/oder die Expansionsdüse (6) durch die Hüllgasströmung kühlbar ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



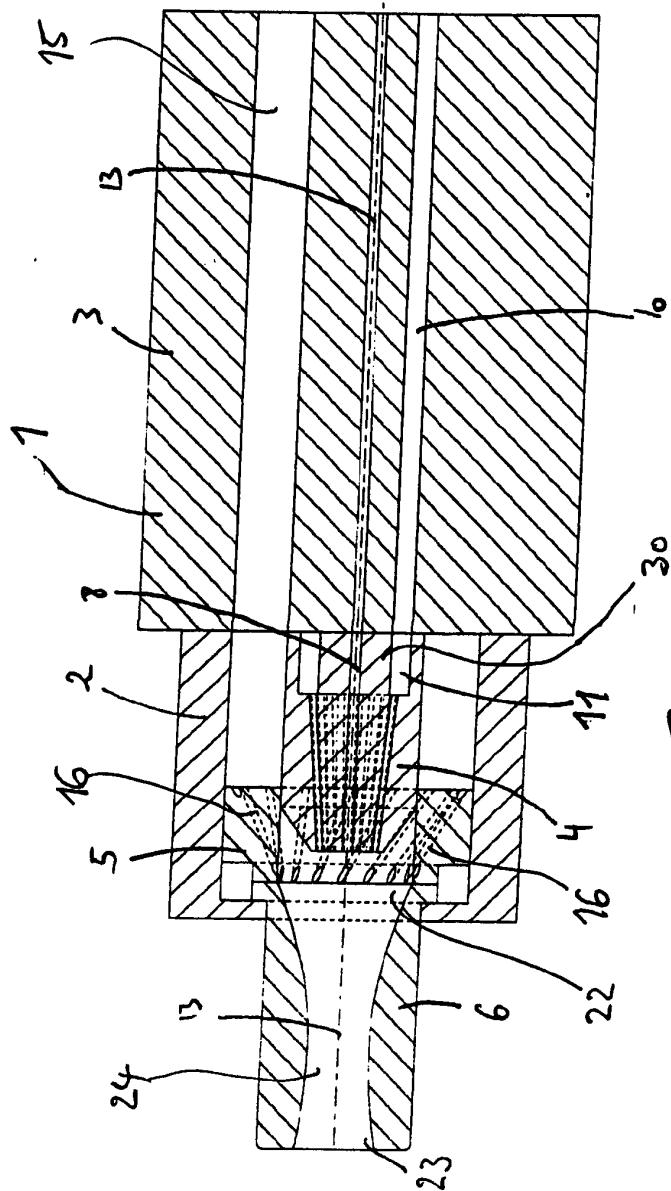


Fig. 2

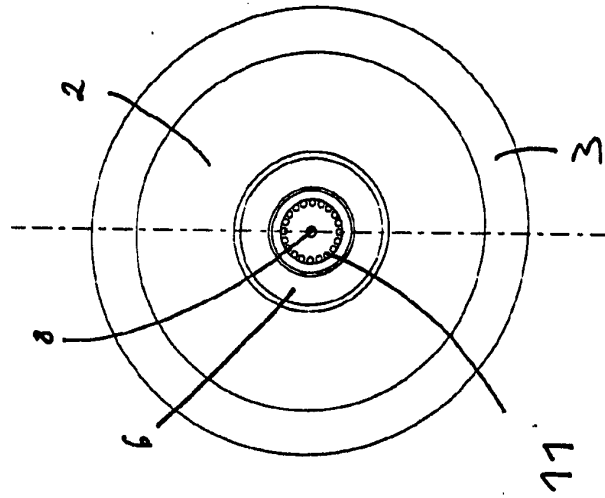


Fig. 3

SCHNITT A-A

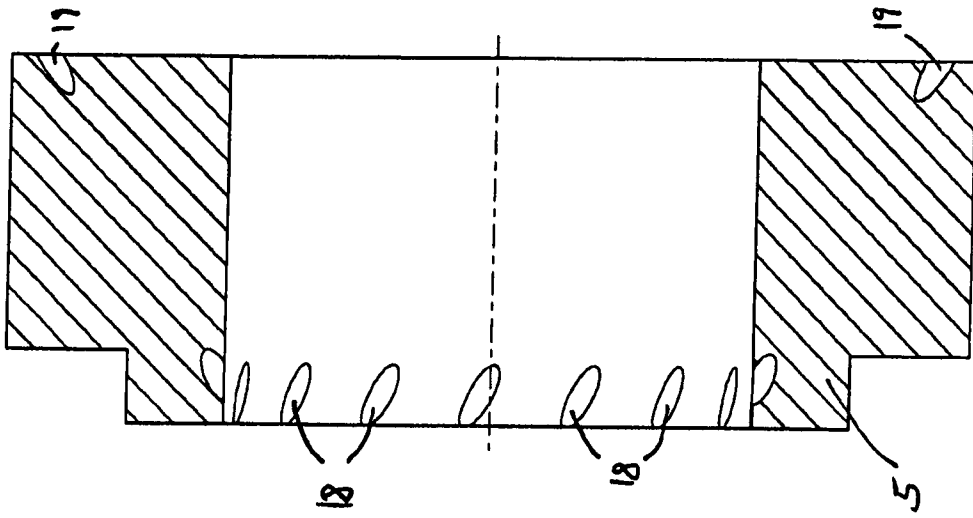


Fig. 5

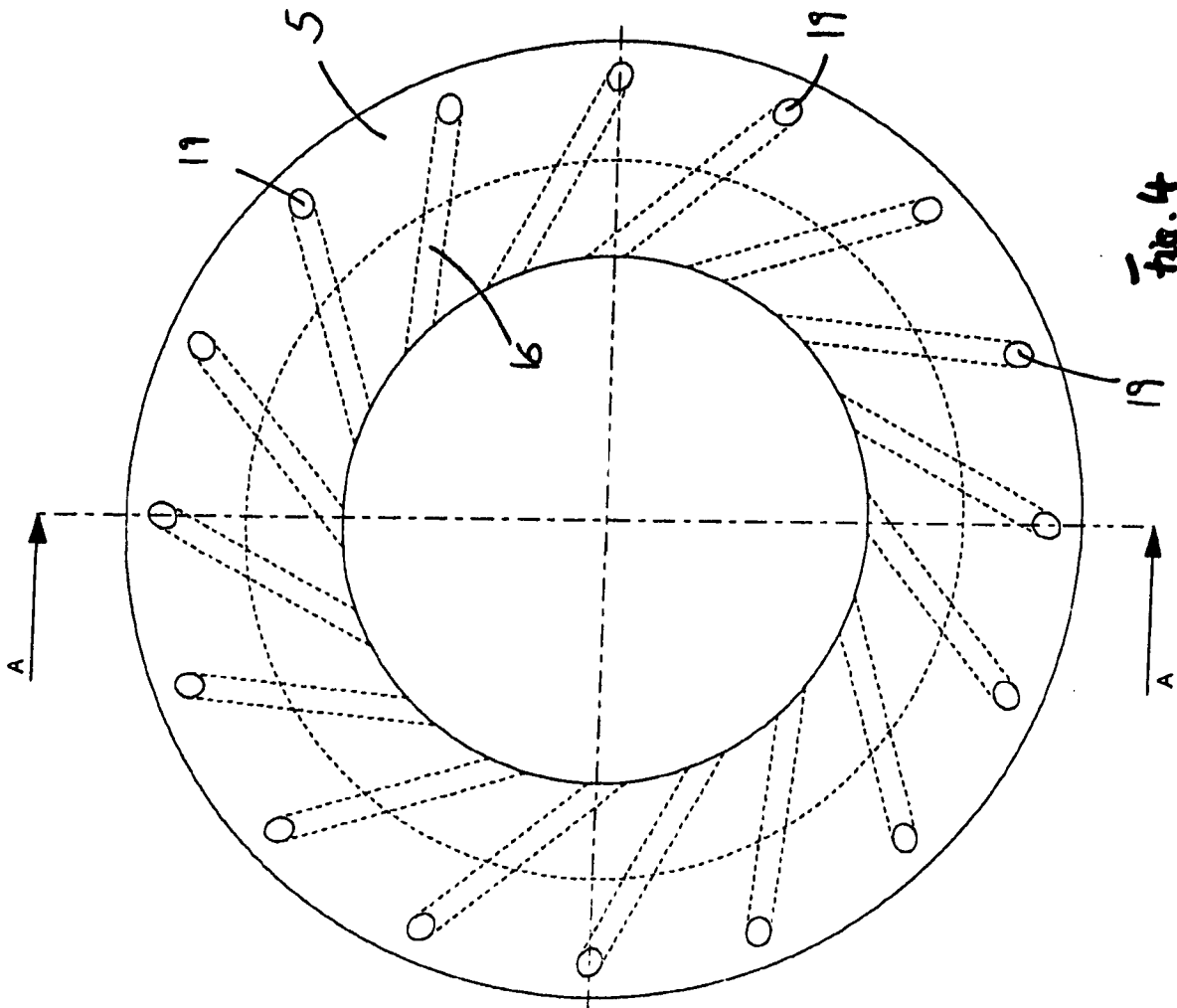


Fig. 4

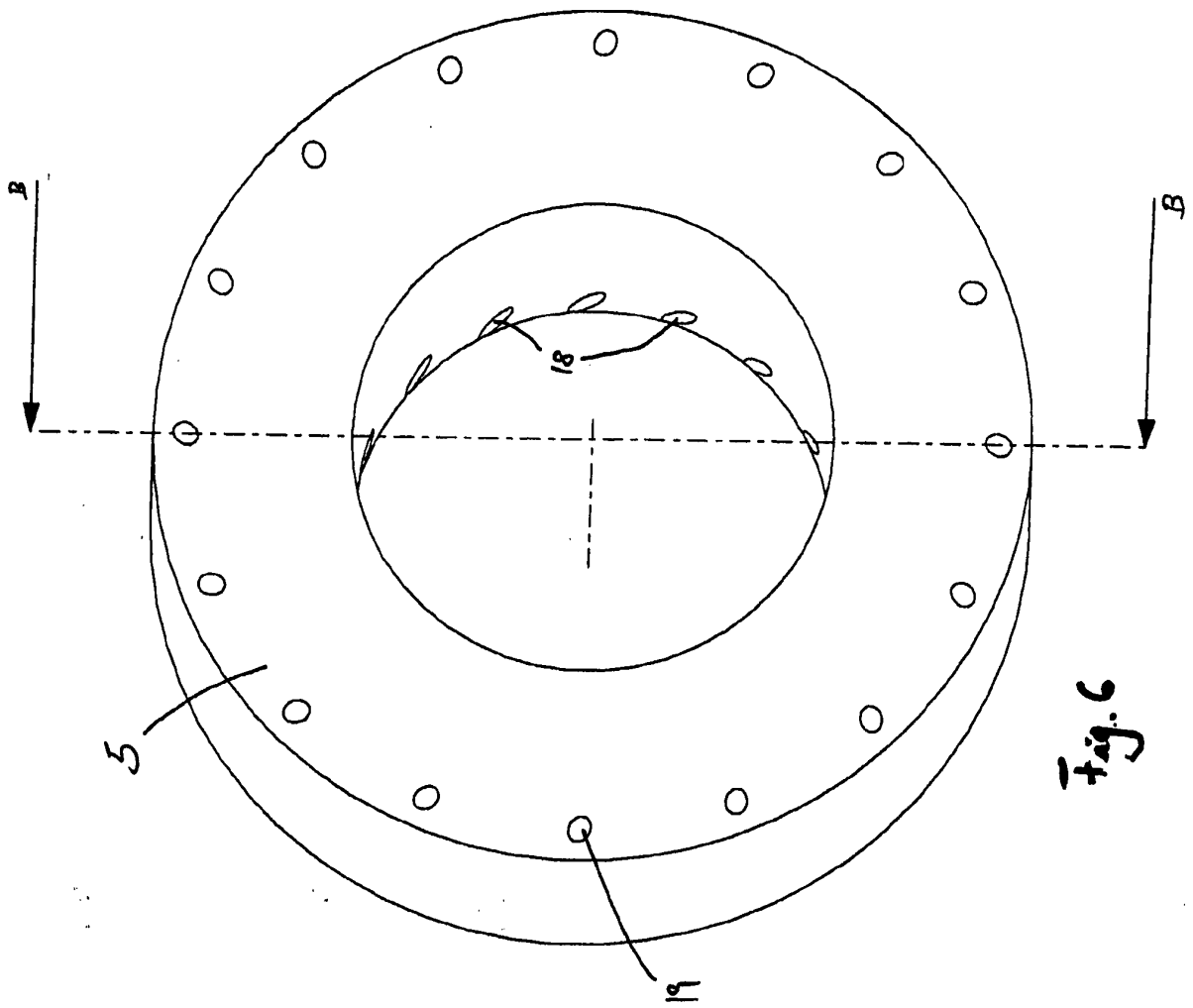


Fig. 6

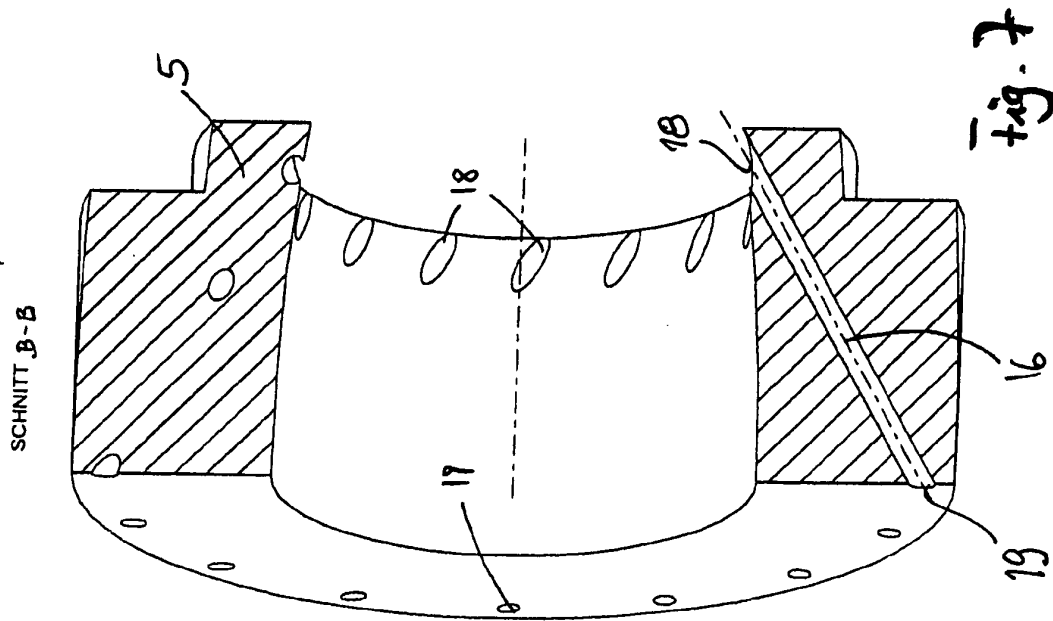


Fig. 7