



12

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

④5 Veröffentlichungstag der Patentschrift :  
**18.10.95 Patentblatt 95/42**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>: **H05H 1/34**, H05H 1/42

②① Anmelde­nummer : 92810094.0

②② Anmeldetag : 10.02.92

**(54) Plasmaspritzgerät zum Versprühen von pulverförmigem oder gasförmigem Material.**

**(30) Priorität : 21.02.91 DE 4105408**

④<sup>3</sup> Veröffentlichungstag der Anmeldung :  
26.08.92 Patentblatt 92/35

④5 Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung :  
**18.10.95 Patentblatt 95/42**

84 Benannte Vertragsstaaten :  
AT BE CH DE DK ES FR GB GR IT LI LU MC NL  
PT SE

**(56) Entgegenhaltungen :**  
**EP-A- 0 157 407**  
**EP-A- 0 249 238**  
**WO-A-90/03095**  
**WO-A-90/15516**  
**WO-A-91/05449**  
**DE-U- 1 819 916**

⑤⑥ **Entgegenhaltungen :**

DE-U- 1 932 150

**GB-A- 2 030 830**

**US-A- 3 106 633**

**US-A- 3 239 130**

**US-A- 3 360 988**

US-A- 4 577 461

**US-E- 32 908**

**Rutscher/Deutsch: Plasmatechnik, Seiten 244, 245, 262, 263**

**(73) Patentinhaber : Sulzer Metco AG  
Rigackerstrasse 21  
CH-5610 Wohlen 1 (CH)**

72 Erfinder : Landes, Klaus, Dr.-Ing.  
Melchiorstrasse 23  
W-8000 München 71 (DE)

74) Vertreter : **Rottmann, Maximilian R. et al**  
**c/o Rottmann, Zimmermann + Partner AG**  
**Glattalstrasse 37**  
**CH-8052 Zürich (CH)**

**EP 0 500 491 B1**

Anmerkung : Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

Zum Versprühen von z.B. pulverförmigem Material in schmelzflüssigem Zustand sind Plasmasspritzgeräte im Gebrauch, welche mit einem indirekten Plasmatron arbeiten, d.h. einem Plasmaerzeuger mit einem aus einer Düse ausströmenden, elektrisch nicht stromführenden Plasmastrahl. In der Regel wird das Plasma durch einen Lichtbogen erzeugt und durch einen Plasmakanal zu einer Ausströmdüse geleitet, wobei man zwischen Geräten mit Kurzlichtbogen und solchen mit Langlichtbogen unterscheidet.

Bei einem grossen Teil der heute technisch eingesetzten Plasmaspritzgeräte wird dem Plasma, das durch eine stromstarke Bogenentladung zwischen einer stiftförmigen Kathode und einer hohlzylinderförmigen Anode erzeugt wird, das aufzuschmelzende und achsial zu beschleunigende, z.B. pulverförmige Spritzmaterial, z.B. Metall- oder Keramikpulver, seitlich im Bereich der Anodenöffnung beigegeben. Diese Art der Pulvereingabe ist jedoch ungünstig, da die Pulverteilchen, abhängig von ihrer Grösse und Eintrittsgeschwindigkeit, eine unterschiedliche Behandlung im Plasmastrahl erfahren. Grosse Pulverteilchen z.B. durchfliegen den Plasmastrahl und werden nicht aufgeschmolzen. Dies führt zu einer schlechten Ausnützung des Spritzmaterials und zu einer Qualitätsminderung der plasmagespritzten Schicht. Ausserdem erschweren die komplexen Zusammenhänge der Betriebsparameter die Optimierung des Plasmaspritzprozesses. Vor allem die Störung des Plasmastrahls durch das seitlich einströmende, für den Pulvertransport nötige Trägergas wirkt sich nachteilig aus.

Aus der EP 0 249 238 A2 ist demgegenüber ein Plasmaspritzgerät bekannt, bei dem die Zufuhr des Spritzmaterials achsial erfolgt, und zwar durch ein Rohr, das an einer der Anode vorgesetzten Düse von der Seite radial in den Düsenhohlraum eingeführt und innerhalb desselben in die Düsenachse umgebogen ist. Die Anordnung des Zuführrohres innerhalb des Plasmastrahls führt jedoch zu Schwierigkeiten, weil das Zuführrohr und der Plasmastrahl sich gegenseitig ungünstig beeinflussen. Einerseits wird die Strömung des Plasmastrahls durch das Zuführrohr mechanisch behindert, andererseits wird das Zuführrohr im Zentrum des Plasmastrahls thermisch ausserordentlich stark beansprucht.

Energetisch besitzen die heutigen Plasmaspritzgeräte ausserdem einen sehr schlechten Wirkungsgrad. Dies rührt vor allem daher, dass bei anodenseitiger Zufuhr des Spritzmaterials nur der Energieanteil genutzt wird, welcher aus dem Lichtbogen in den freien Plasmastrahl übergeht. Andererseits fliesst ein Grossteil der zugeführten elektrischen Energie innerhalb des Plasmakanals über Wandverluste in das Kühlwasser ab und damit dem Energieinhalt des Plasmastrahls verloren.

Dies betrifft insbesondere auch Plasmatronen mit Langlichtbogen. Ein solches Gerät besitzt gemäss der EP 0 249 238 A2 einen von der Kathode zur Anode sich erstreckenden länglichen Plasmakanal, welcher durch eine Anzahl ringförmiger, voneinander elektrisch isolierter Neutroden gebildet ist. Der Langlichtbogen kann zwar eine grössere thermische Energie entwickeln als ein Kurzlichtbogen, ist aber in dem längeren, verhältnismässig engen Plasmakanal auch einer intensiveren Kühlung ausgesetzt.

Es zeigt sich also, dass unter diesen Umständen alle Bemühungen, eine möglichst hohe Energiekonzentration im freien Plasmastrahl zu erhalten, nämlich in dem Bereich, in welchem das Spritzmaterial zugeführt wird, aus den genannten Gründen nicht zu einer wesentlichen Verbesserung des Wirkungsgrades führen können.

Es sind zwar zahlreiche Vorschläge für Ausführungen von Plasmaspritzgeräten mit besseren Eigenschaften bekannt geworden. Insbesondere wurde vorgeschlagen, die Zufuhr des Spritzmaterials an das kathodenseitige Ende des Plasmakanals zu verlegen.

Das DE-GM 1 932 150 zeigt ein Plasmaspritzgerät dieser Art zum Versprühen von pulverförmigem Material, mit einem indirekten Plasmatron, das mit einem Kurzlichtbogen arbeitet. Eine hohlzylindrische Kathode arbeitet mit einer ebenfalls hohlzylindrischen, düsenförmig ausgebildeten Anode zusammen, wobei die Kathode in die koachsial zu dieser angeordneten Anode hineinragt. Die Hohlkathode dient zugleich als Zuführrohr für das Spritzmaterial, das auf diese Weise achsial in den Lichtbogenraum eingeführt wird. Das Plasmagas gelangt durch den Ringspalt zwischen Kathode und Anode in den Lichtbogenraum und anschliessend in die Anodendüse, durch welche der Plasmastrahl eingeschnürt wird. Ein Nachteil dieser Anordnung ist die durch die relativ hohen Stromstärken bedingte, relativ geringe Standzeit.

Die Verweilzeit des aus der Hohlkathode austretenden Spritzmaterials im Lichtbogenraum ist ziemlich kurz, so dass die Pulverteilchen in diesem Raum nur verhältnismässig wenig thermische Energie aufnehmen können, zumal der Lichtbogenansatz am Kathodenrand und daher ausserhalb der Pulverstrahlachse liegt. Es mag zwar von Vorteil sein, dass die Pulverteilchen unter diesen Umständen bis zum Austritt aus der Anodendüse noch nicht aufgeschmolzen sind und sich daher nicht an der Wandung der Anodendüse niederschlagen können. Hingegen ist dabei wiederum der überwiegende Energieanteil zum Aufschmelzen und Beschleunigen der Pulverteilchen vom freien Plasmastrahl aufzubringen.

Aus der WO-A-90/15516 ist ein Plasmaspritzgerät mit einem indirekten Plasmatron bekannt, das mit einem

Langlichtbogen und mit kathodenseitiger Spritzmaterialzufuhr arbeitet. Der Langlichtbogen ist auch in diesem Fall durch den langgestreckten Plasmakanal einer intensiven Kühlung ausgesetzt. Andererseits kann sich infolge der erhöhten thermischen Energie des Plasmastrahls ein Teil des bereits im Plasmakanal aufgeschmolzenen Spritzmaterials an der Wandung desselben niederschlagen und damit zu einer Verschmutzung und einer allmählichen Verengung des Plasmakanals führen. Gegenmassnahmen für diesen Fall sind bei diesem Gerät nicht vorgesehen.

Die Erfindung betrifft ein Plasmaspritzgerät zum Versprühen von pulverförmigem oder gasförmigem Material, mit einem indirekten Plasmatron zur Erzeugung eines Langlichtbogens, welches wenigstens eine Kathode, eine von der Kathode distanzierte, ringförmige Anode und einen sich von der Kathode zur Anode erstreckenden Plasmakanal aufweist, welcher durch den Anodenring und eine Anzahl ringförmiger, voneinander elektrisch isolierter Neutroden gebildet ist, und mit am kathodenseitigen Ende des Plasmakanals befindlichen Mitteln für eine achsiale Zufuhr des Spritzmaterials in den Plasmakanal.

Ausgehend von der bekannten Anordnung nach der WO-A-90/15516 bezweckt die Erfindung eine Verbesserung hinsichtlich des Wirkungsgrades und der Standzeit eines derartigen Plasmaspritzgerätes. Ausserdem soll sie sicherstellen, dass das zugeführte Spritzmaterial gleichmässiger aufbereitet wird.

Die Erfindung besteht darin, dass der Plasmakanal im kathodennahen Bereich der Lichtbogenstrecke eine durch eine ringförmige Einwölbung gebildete Einschnürungszone aufweist.

Die Einschnürungszone komprimiert das im Einlaufbereich des Plasmakanals gebildete Plasma und engt zugleich die elektrische Stromverteilung ein. Dies bewirkt gasdynamisch eine Erhöhung von Druck und Temperatur und elektrisch eine verstärkte Aufheizung im Zentrum des Plasmastrahls. Es wird ausserdem angenommen, dass die in der Einschnürungszone zusammengeführten elektrischen Stromlinien aufgrund der Anziehung paralleler Stromfäden auch im weiteren Bereich des Plasmakanals konzentriert bleiben und das Plasma dank eines sozusagen plasmadynamischen Pincheffektes komprimiert halten. Praktische Versuche mit der genannten Einschnürungszone haben jedenfalls gezeigt, dass in der achsennahen Zone des Kathodenraumes, in den das Spritzmaterial eingegeben wird, eine erhöhte Energiedichte und Geschwindigkeit des Plasmas entsteht. Damit wird der Wärmeübergang auf das Spritzmaterial, z.B. auf die Pulverteilchen zum Aufschmelzen derselben und die achsiale Beschleunigung der Pulverteilchen verbessert. Ohne die Einschnürungszone ist eine "kalte Seele" im Plasmastrahl auch visuell erkennbar. Die Einschnürungszone nach der Erfindung hat jedoch keine anodische Funktion.

Bei den vorbekannten Geräten ist zwar ebenfalls eine Einschnürung vorhanden. Diese befindet sich aber stets im wesentlichen ausserhalb des Lichtbogenbereichs und beeinflusst nur den freien Plasmastrahl, nicht aber den Lichtbogen. Bei dem Spritzgerät nach der WO-A-90/15516 besitzt zwar ein sich konisch erweiternder Plasmakanal an seinem kathodenseitigen Ende eine Engstelle. Diese befindet sich aber so nahe an den Kathoden, dass sie auf den Lichtbogen keinen wesentlichen Einfluss haben kann. Jedenfalls lässt sich auf diese Weise keine mit der durch die erfindungsgemässe Einwölbung beabsichtigten Einschnürung vergleichbare Wirkung erzielen.

Ein anderes, mit Langlichtbogen arbeitendes Plasmatron ist aus der US-A-3-360-988 bekannt. Dieses dient zur Aufheizung eines Druckluftstromes in einem Windkanal für Materialprüfzwecke. Ein Teil des als Überschalldüse ausgebildeten Plasmakanals ist als langgestreckter Engpass ausgebildet, an den sich ein konisch ausgeweiteter Kanalteil anschliesst. Infolge der hohen Durchlaufgeschwindigkeit des Plasmastrahls findet im Engpass keine nennenswerte Abkühlung des Plasmas statt. Da der Plasmastrahl überdies kein Spritzmaterial mit sich führt, entstehen hier keine Probleme hinsichtlich unerwünschter Ablagerungen. Eine Einwölbung im Sinne der Erfindung ist im Plasmakanal dieses Gerätes nicht vorhanden.

Ein wesentlicher Vorteil eines mit Langlichtbogen arbeitenden Plasmaspritzgerätes und mit im Kathodenraum achsial eingeführtem Spritzmaterial besteht darin, dass dem Spritzmaterial auf der ganzen Länge des energiereichen Lichtbogens thermische Energie zugeführt wird, so dass das Spritzmaterial bereits im geschmolzenen Zustand aus dem Plasmakanal austritt.

Von dieser Lichtbogenenergie wird bei den bekannten Plasmaspritzgeräten dieser Art nur der aus dem Lichtbogen in den freien Plasmastrahl übergehende Anteil genutzt, wobei jedoch ein erheblicher Teil der Lichtbogenenergie durch Wärmeübergang an die gekühlte Wandung des verhältnismässig engen Plasmakanals verlorengeht.

Durch die erfindungsgemässe Ausweitung des Plasmakanals von der Einschnürungszone zur Anode hin lässt sich demgegenüber der Wärmeverlust aus dem gebündelten Plasmastrahl ausserordentlich stark reduzieren und der Kühlmittelaufwand verringern. Dabei ist es gerade die Verlagerung der Energiekonzentration in den Lichtbogenraum, welche es ermöglicht, anstelle einer Anodendüse eine Anode mit grösserem Innendurchmesser vorzusehen, da an dieser Stelle eine weitere Beeinflussung des freien Plasmastrahls durch einen Düseneffekt nicht mehr nötig ist.

Gemäss einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung hat der Plasmakanal am anodenseitigen Ende

einen mindestens 1,5-mal so grossen Durchmesser wie an der engsten Stelle der Einschnürungszone. Dabei kann der auf die Einschnürungszone folgende, erweiterte Teil des Plasmakanals ganz oder teilweise zylindrisch oder konisch verlaufen. Beispielsweise kann der Hohlraum der Anode nach aussen konisch erweitert sein. Andererseits kann die Anode im Kanalprofil nach aussen versetzt sein, d.h. die ringförmige Anode kann einen grösseren Innendurchmesser aufweisen als die der Anode benachbarte Neutrode. Durch diese einzeln oder in Kombination getroffenen Massnahmen lässt sich nicht nur eine Ablagerung des Spritzmaterials an der Anode verhindern, sondern auch deren Wärmebelastung erheblich vermindern.

Die den Plasmakanal bildenden Neutroden sind üblicherweise durch ringförmige Isolierscheiben voneinander getrennt, welche in der Regel gegenüber der Kanalwandung zurückgesetzt sind, um sie einer übermäßigen Wärmeeinwirkung des Plasmastrahls zu entziehen. Infolgedessen ist die Kanalwandung durch Spalte zwischen den Neutroden unterbrochen, was zu unerwünschten Turbulenzen am Rande des Plasmastrahls führen kann, und zwar vor allem im Einlaufbereich des Plasmakanals, in welchem das Plasma von der Kanalwandung eingeeengt wird. Eine gasdynamisch günstige Lösung besteht darin, dass die der Kathode am nächsten liegende Neutrode sich wenigstens bis zur engsten Stelle der Einschnürungszone erstreckt. D.h. dass in diesem Bereich nur eine einzige Neutrode vorhanden ist, welche eine durchgehende Kanalwandung bildet.

Das Spritzmaterial wird vorzugsweise durch ein Rohr mit Hilfe eines Trägers in den Kathodenraum eingebracht. Von hier aus verlaufen die Teilchenbahnen aufgrund des Schroteffektes im wesentlichen innerhalb eines Kegels. Durch die genannte Ausweitung des Plasmakanals lässt sich nun erreichen, dass sich dieser Kegel gesamthaft ausschliesslich innerhalb des Plasmakanals ausbreitet und die Kanalwandung nicht schneidet, damit sich keine geschmolzenen Teilchen an der Kanalwandung ablagern können. Ein Auftreffen der Pulverteilchen auf die Kanalwandung in der Einschnürungszone führt dagegen nicht zu Ablagerungen, da die Pulverteilchen in diesem Bereich noch nicht geschmolzen sind.

Für die Zufuhr des Spritzmaterials kann in an sich bekannter Weise ein zentrales Rohr vorgesehen sein, das auf den Plasmakanal achsial ausgerichtet ist und in den Hohlraum der der Kathode am nächsten liegenden Neutrode ragt. Im Falle einer einzelnen Kathode ist diese vorzugsweise als Hohlkathode ausgebildet, welche zugleich das Rohr für die Zufuhr des Spritzmaterials bildet oder ein von dieser isoliertes Rohr umschliesst. Es können aber auch mehrere stabförmige Kathoden vorgesehen sein, welche im Kreis um das zentrale Rohr verteilt angeordnet sind.

In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt, und zwar zeigen:

- Fig. 1 ein Plasmaspritzgerät nach der Erfindung im Längs schnitt, mit drei Kathoden;  
Fig. 2 einen auf den Kathodenraum beschränkten Querschnitt nach der Linie II-II in Fig. 1 in grösserem Massstab;  
Fig. 3 eine schematische Schnittansicht des Plasmakanals gemäss der Ausführungsform nach Fig. 1 in grösserem Massstab, mit eingezeichneter Plasma- und Spritzmaterialströmung;  
Fig. 4 Einzelheiten einer anderen Ausführungsform des Plas maspritzgerätes im Längsschnitt, mit einer Hohlkathode; und  
Fig. 5 eine andere Ausführungsform des Anodenrings.

Das Plasmaspritzgerät nach den Fig. 1 und 2 besitzt drei stabförmige Kathoden 1, welche parallel zueinander verlaufen und im Kreis um die zentrale Längsachse 2 des Gerätes gleichmässig verteilt angeordnet sind, ferner eine von den Kathoden 1 distanzierte ringförmige Anode 3 und einen von den Kathoden 1 zur Anode 3 sich erstreckenden Plasmakanal 4. Der Plasmakanal 4 ist durch eine Anzahl ringförmiger, voneinander elektrisch isolierter Neutroden 6 bis 12 und die ringförmige Anode 3 gebildet.

Die Kathodenstäbe 1 sind in einem Kathodenträger 13 aus Isoliermaterial verankert. An diesen schliesst sich ein hülsenförmiger Anodenträger 14 aus Isoliermaterial an, der die Neutroden 6 bis 12 und die Anode 3 umgibt. Das Ganze wird zusammengehalten durch drei Metallhülsen 15, 16 und 17, wobei die erste Hülse 15 mit dem Kathodenträger 13 stirnseitig und die zweite Hülse 16 mit der ersten umfänglich verschraubt ist, während die dritte Hülse 17 einerseits an der zweiten Hülse 16 lose verankert und andererseits mit dem Anodenträger 14 umfänglich verschraubt ist. Die dritte Hülse 17 drückt ausserdem mit einem nach innen gerichteten Flanschrand 18 gegen den Anodenring 3 und hält damit die den Plasmakanal 4 bildenden Elemente zusammen, wobei sich die den Kathoden am nächsten liegende Neutrode 6 an einem Innenbund 19 des Anodenträgers 13 abstützt.

Die Kathodenstäbe 1 tragen an ihren freien Enden Kathodenstifte 20, welche aus einem elektrisch und thermisch besonders gut leitenden und zudem hochschmelzenden Material, z.B. thorisiertem Wolfram, bestehen. Dabei sind die Kathodenstifte 20 derart exzentrisch zur jeweiligen Achse der Kathodenstäbe 1 angeordnet, dass deren Längsachsen der zentralen Längsachse 2 näher liegen als diejenigen der Kathodenstäbe 1. An den Kathodenträger 13 ist auf der dem Plasmakanal 4 zugewandten Seite ein zentraler Isolierkörper 21 aus hochschmelzendem, insbesondere glaskeramischem Material angesetzt, aus dem die Kathodenstifte 20 heraus in den Hohlraum 22 der durch die erste Neutrode 6 gebildeten Einlaufdüse ragen. Der freiliegende Teil

der äusseren Mantelfläche des Isolierkörpers 21 liegt einem Teil der Düsenwandung radial gegenüber und bildet mit diesem Wandungsteil einen Ringkanal 23 für den Einlass des Plasmagases in den Düsenhohlraum 22.

Die Zufuhr des Spritzmaterials SM, z.B. Metall- oder Keramikpulver, in den Plasmastrahl erfolgt mit Hilfe eines Trägergases TG am kathodenseitigen Ende des Plasmakanals 4. Zu diesem Zweck ist ein in der Längsachse 2 verlaufendes und vom Isolierkörper 21 gehaltenes Rohr 24 vorgesehen, das ebenfalls in den Düsenhohlraum 22 mündet, wobei sich die Kathodenspitzen 20 über die Mündung 25 des Rohrs 24 hinaus erstrecken.

Das Plasmagas PG wird durch einen im Kathodenträger 13 vorgesehenen Querkanal 26 zugeführt, welcher in einen Längskanal 27 übergeht, aus dem das Plasmagas in einen Ringraum 28 und von da in den Ringkanal 23 gelangt. Zur Erzielung einer möglichst laminaren Einstromung des Plasmagases in den Düsenhohlraum 22 ist ein auf dem Isolierkörper 21 sitzender Verteilerring 29 mit einer Mehrzahl von Durchgangsbohrungen 30 vorgesehen, welche den Ringraum 28 mit dem Ringkanal 23 verbinden.

Die den Plasmakanal 4 bildenden Elemente, nämlich die Anode 3 und die Neutroden 6 bis 12, sind durch Ringscheiben 31 aus Isoliermaterial, z.B. Bornitrid, gegeneinander elektrisch isoliert und durch Dichtungsringe 32 gasdicht miteinander verbunden. Der Plasmakanal 4 weist im kathodennahen Bereich eine Einschnürungszone 33 auf und erweitert sich im Anschluss an diese Einschnürungszone 33 zur Anode 3 hin auf einen Durchmesser, welcher mindestens 1,5-mal so gross ist wie der Kanaldurchmesser an der engsten Stelle der Einschnürungszone 33. Nach dieser Erweiterung verläuft der Plasmakanal 4 zylindrisch bis an sein anodenseitiges Ende. Während die Neutroden 6 bis 12 z.B. aus Kupfer bestehen, ist die Anode 3 aus einem Aussenring 34, z.B. aus Kupfer, und einem Innenring 35 aus einem elektrisch und thermisch besonders gut leitenden und zudem hochschmelzenden Material, z.B. thoriertem Wolfram, aufgebaut.

Um die Plasmaströmung, insbesondere im Düsenbereich, nicht durch Spalte in der Wandung des Plasmakanals 4 zu behindern, erstreckt sich die den Kathodenstäben 1 am nächsten liegende Neutrode 6 über die ganze Einschnürungszone 33, damit die Kanalwandung 52 bis über die engste Stelle der Einschnürungszone hinaus einen stetigen Verlauf aufweist.

Die der Lichtbogen- und Plasmawärme unmittelbar ausgesetzten Teile sind weitgehend wassergekühlt. Zu diesem Zweck sind im Kathodenhalter 13, in den Kathodenstäben 1 und im Anodenhalter 14 verschiedene Hohlräume für die Zirkulation des Kühlwassers KW vorgesehen. Der Kathodenhalter 13 weist drei Ringräume 36, 37 und 38 auf, die mit Anschlussleitungen 39, 40 bzw. 41 verbunden sind, und der Anodenhalter 14 weist im Bereich der Anode 3 einen Ringraum 42 und im Bereich der Neutroden 6 bis 12 einen alle Neutroden umgebenden Hohlraum 43 auf. Kühlwasser KW wird über die Anschlussleitungen 39 und 41 zugeführt. Das Kühlwasser der Anschlussleitung 39 gelangt durch einen Längskanal 44 zunächst zu dem die thermisch am stärksten belastete Anode 3 umgebenden Ringraum 42. Von da strömt das Kühlwasser durch den Hohlraum 43 der Mantelfläche der Neutroden 6 bis 12 entlang zurück durch einen Längskanal 45 in den Ringraum 37. Das Kühlwasser der Anschlussleitung 41 fliesst in einen Ringraum 38 und aus diesem in je einen Hohlraum 46 der Kathodenstäbe 1, welcher durch eine zylindrische Trennwand 47 unterteilt ist. Aus den Kathodenstäben 1 gelangt das Kühlwasser schliesslich ebenfalls in den Ringraum 37, aus dem es über die Anschlussleitung 40 abfliesst.

Die Fig. 3 zeigt den ungefähren Verlauf des Lichtbogens 48 beim Betrieb des Plasmaspritzgerätes nach den Fig. 1 und 2, sowie den Strömungsverlauf des Plasmagases PG und die Flugbahn des Spritzmaterials SM. Man erkennt deutlich die Wirkung der Einschnürungszone 33 und der anschliessenden Erweiterung des Plasmakanals 4. Die von den einzelnen Kathodenstiften 20 ausgehenden Lichtbogenäste 49 vereinigen sich in unmittelbarer Nähe der Bogenansatzstellen, und zwar einerseits aufgrund des geringen gegenseitigen Abstandes der Kathodenstifte 20 und andererseits wegen der kathodennahen Einschnürungszone 33, welche das Plasma und die Stromlinien derart einengen, dass sich im Zentrum des Plasmakanals 4 bereits an der Stelle der Spritzmaterialzufuhr eine hohe Energiekonzentration ergibt und keine kalte Seele im Plasmastrahl auftritt. Im erweiterten Teil des Plasmakanals 4 ist der bestand der Kanalwandung 50 zum Plasmastrahl verhältnismässig gross. Unter diesen Umständen wird die Kanalwandung 50 in diesem Bereich thermisch weniger beansprucht, und die Kühlleistung lässt sich dementsprechend verringern.

Bei der Ausführungsform nach Fig. 4 ist eine einzelne Kathode 54 vorgesehen, welche als Hohlkathode ausgebildet ist. Die Neutroden-Kaskade 55 und der Anodenring 56, welche den Plasmakanal 57 bilden, sind im Prinzip gleich aufgebaut wie die entsprechenden Teile bei der Ausführungsform nach Fig. 1, mit dem Unterschied, dass die Einlaufdüse 58 hier flacher verlaufen kann und dass der Anodenring 56 einen grösseren Innendurchmesser aufweist als die dem Anodering 56 am nächsten liegende Neutrode 59. In die Hohlkathode 54 ist ein Rohr 60 für die Zufuhr des Spritzmaterials eingesetzt, dessen Mündung 61 gegenüber dem Ende der Kathode 54 zurücksteht. Ein Isolierrohr 62, welches die Mündung 61 des Rohres 60 überragt und das Rohr 60 mit einem Distanzring 63 radial fixiert, sorgt für die nötige Isolation zwischen Kathode 54 und Rohr 60 und schützt das letztere vor übermässiger Erwärmung. Im übrigen kann das Plasmaspritzgerät gleich oder ähnlich aufgebaut sein wie dasjenige nach Fig. 1.

Die Fig. 5 zeigt schliesslich noch eine andere Ausführungsform der Anode 64, bei welcher die Innenwan-

500 491 B1  
 dung 65 des eingesetzten Anodenrings 66 nach aussen konisch verläuft.

## Patentansprüche

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

1. Plasmaspritzgerät zum Versprühen von pulverförmigem oder gasförmigem Material, mit einem indirekten Plasmatron zur Erzeugung eines Langlichtbogens, welches wenigstens eine Kathode (1,20), eine von der Kathode distanzierte, ringförmige Anode (3) und einen sich von der Kathode zur Anode erstreckenden Plasmakanal (4) aufweist, welcher durch den Anodenring (3) und eine Anzahl ringförmiger, voneinander elektrisch isolierter Neutroden (6 bis 12) gebildet ist, und mit am kathodenseitigen Ende des Plasmakanals befindlichen Mitteln (24) für eine achsiale Zufuhr des Spritzmaterials (SM) in den Plasmakanal (4), dadurch gekennzeichnet, dass der Plasmakanal (4) im kathodennahen Bereich der Lichtbogenstrecke eine durch eine ringförmige Einwölbung gebildete Einschnürungszone (33) aufweist.
2. Plasmaspritzgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der auf die Einschnürungszone (33) folgende, erweiterte Teil des Plasmakanals (4) zylindrisch verläuft.
3. Plasmaspritzgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der auf die Einschnürungszone (33) folgende, erweiterte Teil des Plasmakanals (4) sich zur ringförmigen Anode (3) hin konisch erweitert.
4. Plasmaspritzgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die ringförmige Anode (56) einen grösseren Innendurchmesser aufweist als die der Anode benachbarte Neutrode (59) (Fig. 4).
5. Plasmaspritzgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenfläche (65) der Anode (64) nach aussen konisch erweitert ist (Fig. 5)
6. Plasmaspritzgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Durchmesser des Plasmakanals (4) am anodenseitigen Ende mindestens 1,5-mal so gross ist wie an der engsten Stelle der Einschnürungszone (33).
7. Plasmaspritzgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die der Kathode (1,20) am nächsten liegende Neutrode (6) sich vom kathodenseitigen Ende des Plasmakanals (4) bis wenigstens zur engsten Stelle der Einschnürungszone (33) erstreckt.
8. Plasmaspritzgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Zufuhr des Spritzmaterials (SM) ein zentrales Rohr (24) vorgesehen ist, das auf den Plasmakanal (4) achsial ausgerichtet ist und in den Hohlraum (22) der der Kathode (1,20) am nächsten liegenden Neutrode (6) ragt.
9. Plasmaspritzgerät nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere stabförmige Kathoden (1,20) vorgesehen sind, welche im Kreis um das zentrale Rohr (24) verteilt angeordnet sind.
10. Plasmaspritzgerät nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Kathoden (1,20) parallel zueinander verlaufen und symmetrisch um das zentrale Rohr (24) verteilt angeordnet sind.
11. Plasmaspritzgerät nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass als Kathode eine Hohlkathode (54) vorgesehen ist, welche zugleich das Rohr für die Zufuhr des Spritzmaterials bildet oder ein von dieser isoliertes Rohr (60) umschliesst (Fig. 4).

## Claims

55

1. Plasma spray gun for spraying powdered or gaseous materials, with an indirect plasmatron for producing a long arc, which comprises at least one cathode (1, 20), an annular anode (3) at a distance from the cathode and a plasma channel (4) extending from the cathode to the anode, which plasma channel is formed by the anode ring (3) and a number of annular neutrodes (6 to 12) insulated electrically from each other, and with means (24) located at the end of the plasma channel adjacent to the cathode, for an axial supply of the spray material (SM) into the plasma channel (4), characterized in that in the region of the arc segment close to the cathode, the plasma channel (4) comprises a constriction area (33) formed by an annular

arch.

2. Plasma spray gun according to Claim 1, characterized in that the enlarged part of the plasma channel (4) following the constriction area (33), extends cylindrically.
3. Plasma spray gun according to Claim 1, characterized in that the enlarged part of the plasma channel (4), following the constriction area (33), widens out conically towards the annular anode (3).
4. Plasma spray gun according to Claim 1, characterized in that the annular anode (56) has a larger inner diameter than the neutrode (59) adjacent to the anode (Figure 4).
5. Plasma spray gun according to Claim 1, characterized in that the inner surface (65) of the anode (64) is enlarged conically outwards (Figure 5).
6. Plasma spray gun according to Claim 1, characterized in that the diameter of the plasma channel (4) at the end adjacent to the anode is at least 1.5 times as large as at the narrowest point of the constriction area (33).
7. Plasma spray gun according to Claim 1, characterized in that the neutrode (6) lying closest to the cathode (1, 20) extends from the end of the plasma channel (4) adjacent to the cathode as far as at least the narrowest point of the constriction area (33).
8. Plasma spray gun according to Claim 1, characterized in that provided for the supply of the spray material (SM) is a central tube (24), which is aligned axially with the plasma channel (4) and projects into the cavity (22) of the neutrode (6) lying closest to the cathode (1, 20).
9. Plasma spray gun according to Claim 8, characterized in that a plurality of rod-like cathodes (1, 20) are provided, which are distributed in a circle around the central tube (24).
10. Plasma spray gun according to Claim 9, characterized in that the cathodes (1, 20) extend parallel to each other and are distributed symmetrically around the central tube (24).
11. Plasma spray gun according to Claim 8, characterized in that provided as the cathode is a hollow cathode (54), which simultaneously forms the tube for the supply of the spray material or encloses a tube (60) isolated from the latter (Figure 4).

## Revendications

1. Appareil de pulvérisation par plasma de matériaux en poudre ou gazeux, équipé d'un plasmatron indirect pour la production d'un arc long, qui présente au moins une cathode (1, 20), une anode (3) annulaire et espacée de la cathode et un canal à plasma (4) s'étendant de la cathode à l'anode, lequel est constitué par la bague d'anode (3) et un nombre de neutrodes (6 à 12) annulaires et isolées électriquement les unes des autres, et équipé de moyens (24) se trouvant à l'extrémité côté cathode du canal à plasma pour une arrivée axiale du matériau à pulvériser (SM) dans le canal à plasma (4), caractérisé en ce que le canal à plasma (4) présente dans la zone proche de la cathode du trajet de l'arc une zone de rétrécissement (33) formée par un bombement de forme annulaire.
2. Appareil de pulvérisation par plasma selon la revendication 1, caractérisé en ce que la partie élargie et consécutive à la zone de rétrécissement (30) du canal à plasma (4) présente une allure cylindrique.
3. Appareil de pulvérisation par plasma selon la revendication 1, caractérisé en ce que la partie élargie et consécutive à la zone de rétrécissement (33) du canal à plasma (4) s'élargit en forme de cône en direction de l'anode (3) annulaire.
4. Appareil de pulvérisation par plasma selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'anode (56) annulaire présente un diamètre intérieur supérieur à la neutrode (59) voisine de l'anode (figure 4).

5. Appareil de pulvérisation à plasma selon la revendication 1, caractérisé en ce que la surface interne (65) de l'anode (64) est élargie vers l'extérieur en forme de cône (figure 5).
6. Appareil de pulvérisation à plasma selon la revendication 1, caractérisé en ce que le diamètre du canal à plasma (4) est au moins 1,5 fois aussi grand à l'extrémité côté anode qu'à l'endroit le plus resserré de la zone de rétrécissement (33).
7. Appareil de pulvérisation à plasma, caractérisé en ce que la neutrode (6) la plus proche de la cathode (1,20) s'étend de l'extrémité côté cathode du canal à plasma (4) jusqu'au moins à l'endroit le plus resserré de la zone de rétrécissement (33).
8. Appareil de pulvérisation à plasma selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est prévu pour l'arrivée du matériau à pulvériser (SM) un tube (24) central qui est orienté axialement vers le canal à plasma (4) et dépasse dans la cavité (22) de la neutrode (6) située le plus près de la cathode (1,20).
9. Appareil de pulvérisation à plasma selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il est prévu plusieurs cathodes (1,20) en forme de barres (1,20) qui sont réparties en cercle autour du tube central (24).
10. Appareil de pulvérisation à plasma selon la revendication 9, caractérisé en ce que les cathodes (1,20) sont parallèles entre elles et réparties de façon symétrique autour du tube (24) central.
11. Appareil de pulvérisation à plasma selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il est prévu comme cathode une cathode creuse (54) qui forme en même temps le tube (60) pour l'arrivée du matériau à pulvériser ou entoure un tube isolé de celle-ci (figure 4).



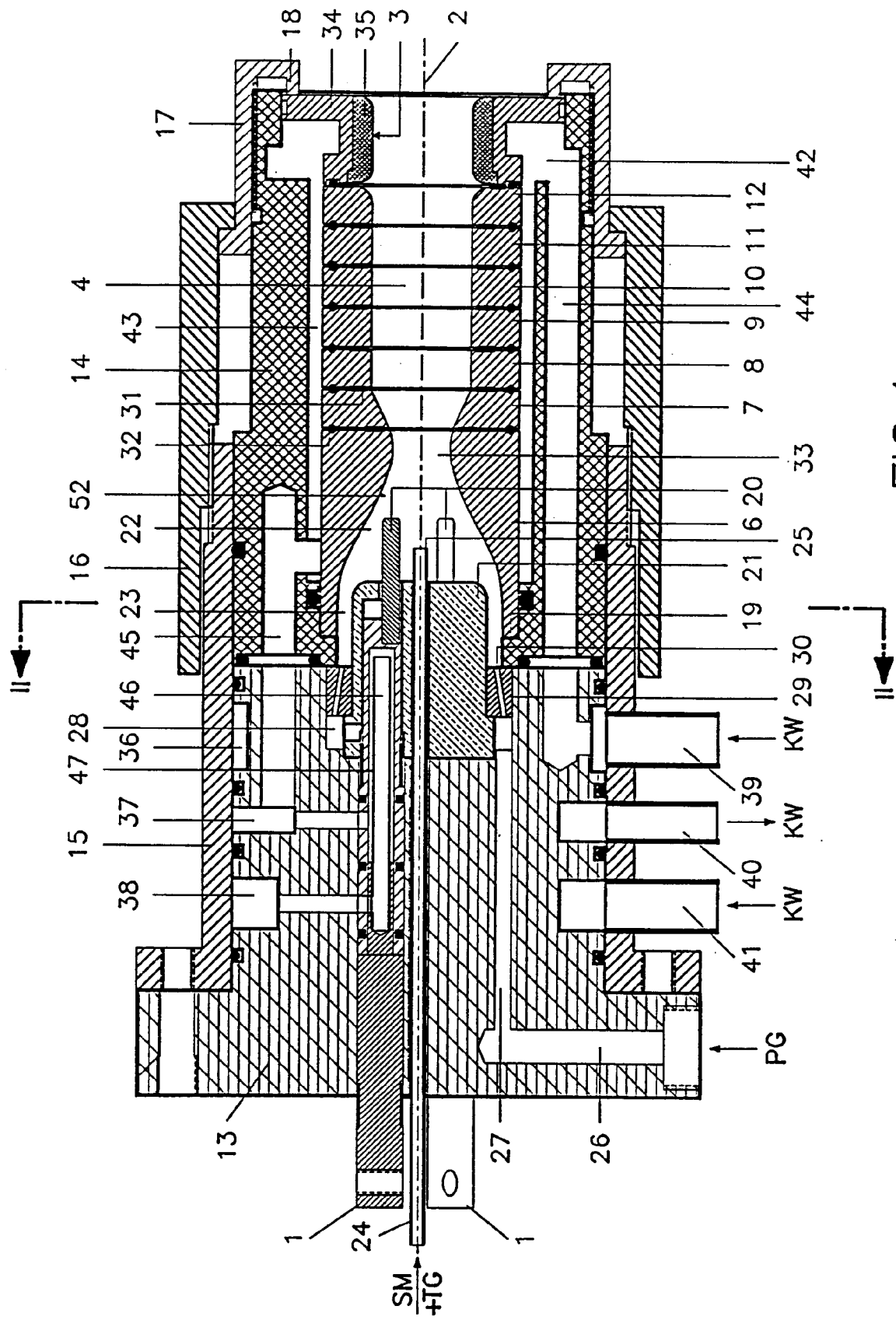


FIG. 1



