



⑫ **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**
veröffentlicht nach Art. 158 Abs. 3
EPÜ

⑳ Anmeldenummer: 90906434.7

⑤① Int. Cl.⁵: **C23C 4/12, H05B 7/22**

㉔ Anmeldetag: 15.01.90

⑨⑥ Internationale Anmeldenummer:
PCT/SU90/00009

⑧⑦ Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 90/12123 (18.10.90 90/24)

③① Priorität: 31.03.89 SU 4680291
18.04.89 SU 4698232

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.04.91 Patentblatt 91/17

⑧④ Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE FR GB IT LI SE

⑦① Anmelder: **LENINGRADSKY**
POLITEKHNIЧЕСKY INSTITUT IMENI
M.I.KALININA
ul. Politekhnikeskaya 29
Leningrad, 195251(SU)

⑦② Erfinder: **ERMAKOV, Sergei Alexandrovich**
pr. Shvernika, 24-3-19
Leningrad, 194223(SU)
Erfinder: **KARASEV, Mikhail Valentinovich**
ul. Simonova, 7-2-58
Leningrad, 194358(SU)

Erfinder: **KLUBNIKIN, Valery Stepanovich**
ul. Moiseenko, 8b-20

Leningrad, 193144(SU)
Erfinder: **MASLENNIKOV, Viktor Mikhailovich**
Svetlanovsky pr., 71-2-140
Leningrad, 195427(SU)

Erfinder: **SOSNIN, Nikolai Alexeevich**
pr. Lunacharskogo, 38-222
Leningrad 194295(SU)

Erfinder: **TOPOLYANSKY, Pavel Abramovich**
Irinovsky pr., 31/48-53
Leningrad, 195279(SU)

Erfinder: **FEDOROV, Sergei Jurievich**
ul. Tukhachevskogo, 37-290
Leningrad, 195067(SU)

⑦④ Vertreter: **Patentanwälte Zellentin & Partner**
Zweibrückenstrasse 15
W-8000 München 2(DE)

⑤④ **VERFAHREN ZUR PLASMABEARBEITUNG UND PLASMATRON.**

⑤⑦ Das Verfahren zur Plasmabearbeitung umfaßt das Fokussieren des Spritzwerkstoffs, der über einen Ringspalt in den Plasmastrahl eingeführt wird, wobei das Fokussierungsgas in den Vereinigungsbereich des Plasmastrahls mit der Strömung des Transportgases mit dem Spritzwerkstoff eingeführt wird.

Im Plasmatron sind hinter der Austrittselektrode (21) zwei Düsen (22, 23) angeordnet. Zwischen der Austrittselektrode (21) und der ersten Düse (22) ist ein Ringspalt (24) für die Zufuhr des Spritzwerkstoffs vorhanden, und zwischen den Düsen (22, 23) liegt ein Ringspalt (25) für die Fokussierungsgaszufuhr. Die Oberflächen (26, 27) der ersten Düse (22) sind der Elektrode (21) bzw. der zweiten Düse (23) zugekehrt und gegeneinander um einen Winkel δ geneigt, dessen Spitze (28) zwischen der Austrittsöffnung der Elektrode (21) und der Eintrittsöffnung der zweiten Düse (23) liegt.

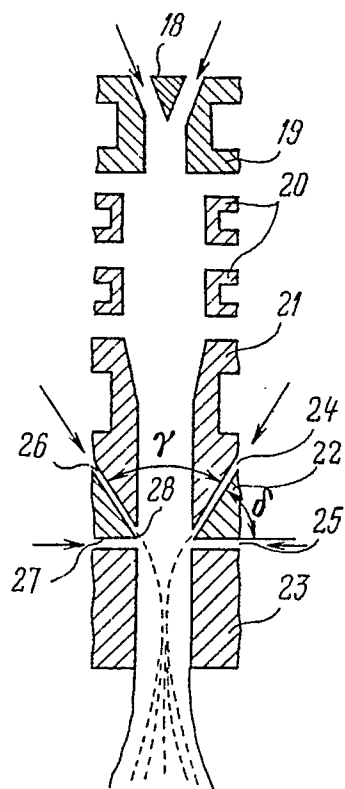


FIG. 4

VERFAHREN ZUR PLASMABEARBEITUNG UND PLASMATRON

Die Erfindung bezieht sich auf die Plasmatechnik und betrifft insbesondere Verfahren zur Plasmabearbeitung und Plasmatrons und kann zum Spritzen von Überzügen, zum Sphäridisieren von Pulverteilchen, zum Auftragschweißen von Pulvern, vorzugsweise hochschmelzenden, und zur plasmachemischen Behandlung von Erzeugnissen verwendet werden.

5

Stand der Technik

Es ist ein Verfahren zum Plasmaspritzen von Überzügen (FR, B, 2026006) durch Ausbilden eines Plasmastrahls und Einführen des Spritzpulvers in den Plasmastrahl mit Hilfe eines Transportgases über einen zylindrischen Kanal bekannt.

Ein das besagte Verfahren durchführendes Plasmatron ist konventionell ausgeführt, d.h. es enthält eine Katode und eine Anode in Düsenform, wobei der zylindrische Kanal für das Einführen des Spritzpulvers in den Plasmastrahl in der Anode ausgebildet ist (FR, B, 2026006).

Ein Nachteil des Verfahrens und des das Verfahren durchführenden Plasmatrons besteht im ungleichmäßigen Ausfüllen des Plasmastrahlquerschnitts mit dem Spritzpulver. Dies führt zu einer unerwünschten Erscheinung wie ungleichmäßiges Schmelzen und Beschleunigen des Pulvers im Plasma, was wiederum eine niedrige Reproduzierbarkeit der Eigenschaften der gespritzten Überzüge bedingt.

Aus diesen Gründen findet in den letzten Jahren ein Verfahren zur Plasmabearbeitung, bei dem das Einführen des Spritzwerkstoffs, beispielsweise des Spritzpulvers, in die Plasmaströmung unter einem Winkel zur Strömungsrichtung über einen Ringspalt, der den Plasmastrom umfaßt, durchgeführt wird (US, A, 4080550) immer breitere Anwendung. Hierbei liegt in einigen Plasmatrons (FR, B, 2376580, SU, A, 503601) der Ringspalt zwischen der Katode und der Anode, und in anderen zwischen der Düsenanode und einer hinter ihr angeordneten Düse, d.h. im stromfreien Bereich des Plasmastrahls (US, A, 3071678). In letzterem Falle sind der elektrische und der technologische Bereich des Plasmatrons voneinander getrennt, was zu bevorzugen ist, da das das Pulver befördernde Gas keine wesentliche Wirkung auf die elektrischen Parameter des Lichtbogens ausübt.

Allen Verfahren zur Plasmabearbeitung mit Zufuhr des Spritzwerkstoffs über einen Ringspalt und den entsprechenden Plasmatrons ist der Nachteil eigen, daß, obwohl sich der Spritzwerkstoff verhältnismäßig gleichmäßig über den Plasmastrahlquerschnitt verteilt, im Plasmastrahl selbst die Verteilung der thermodynamischen Parameter über den Plasmastrahlquerschnitt nicht gleichmäßig ist. Aus diesem Grunde wird das Pulver, das sich in den Randgebieten des Plasmastrahls befindet, weniger erhitzt und beschleunigt als das Pulver, das sich im achsennahen Bereich des Strahls befindet. Dies bedingt eine Beeinträchtigung der Qualität der zu bearbeitenden Werkstücke, beispielsweise der Plasmaüberzüge.

Dieser Nachteil entfällt bei einem Verfahren zur Plasmabearbeitung (SU, A, 656669), bei dem ein Plasmastrahl ausgebildet wird, der laminar bzw. turbulent entsprechend den jeweiligen technologischen Anforderungen ist, in den man über einen Ringspalt, welcher den Plasmastrahl umfaßt, den Spritzwerkstoff mit dem Transportgas einführt, und, nachdem die Vereinigung der Plasmaströme und des Spritzwerkstoffs stattgefunden hat, in die inhomogene Plasmaströmung ein Fokussierungsgas einführt und den Plasmastrahl mit dem Spritzwerkstoff fokussiert. Hierbei werden der Spritzwerkstoff mit dem Transportgas und das Fokussierungsgas senkrecht bzw. unter einem Winkel zur Strömungsrichtung des Plasmastrahls zugeführt.

Ein Plasmatron zur Durchführung dieses Verfahrens enthält eine Katode und eine Düsenanode, hinter der in Richtung der Strömung des Plasmastrahls zwei oder mehrere Düsen koaxial mit der Anode angeordnet sind (SU, A, 656669). Die einander zugekehrten Oberflächen der nebeneinanderliegenden Düsen verlaufen senkrecht zur Plasmatronachse bzw. unter gleichen Winkeln zu dieser Achse. Der Ringspalt zwischen der Anode und der ersten ihr nachfolgenden Düse dient zum Einführen des Spritzwerkstoffs mit dem Transportgas in den Plasmastrahl, und die Ringspalte zwischen den nebeneinanderliegenden Düsen, die hinter der Anode angeordnet sind, dienen zum Einführen des Fokussierungsgases. Somit sind der Ringspalt für die Zufuhr des Spritzwerkstoffs und die Ringspalte für die Zufuhr des Fokussierungsgases zueinander parallel, genauer gesagt, sie bilden einen gleichen Winkel mit der Plasmatronachse.

Dank dem Fokussieren des Plasmastrahls mit dem Spritzwerkstoff wird eine Reduzierung des Querschnitts des Plasmastrahls und eine gebündeltere Bewegung des Spritzwerkstoffs, d.h. eine Bewegung mit kleinerer Divergenz der Spritzwerkstoffteilchen erzielt, was eine Verbesserung der Qualität der Erzeugnisse ermöglicht, die durch die Plasmabearbeitung erzielt worden sind. Aber diese Verbesserung der Eigenschaften ist nur bei Steigerung der Plasmastrahlleistung und entsprechend der Plasmatronleistung möglich. Dies

ist durch folgendes bedingt.

Gemäß dem mit dem Plasmatron gemäß SU, A, 656669 durchgeführten Verfahren erfolgt das Fokussieren des Spritzwerkstoffs im Augenblick, wenn seine Vereinigung mit dem Plasmastrahl schon erfolgt ist, d.h. wenn der Spritzwerkstoff im Plasmastrahl schon beschleunigt worden ist und eine hohe Geschwindigkeit
 5 erlangt hat. Aus diesem Grunde ist zum Fokussieren des Spritzwerkstoffs, d.h. zur Änderung der Richtung des Geschwindigkeitsvektors dieses Spritzwerkstoffs, eine bedeutende gasdynamische Beeinflussung des Plasmastrahls seitens des Fokussierungsgases erforderlich. Anders gesagt muß der Durchsatz dieses Gases groß genug und entsprechend dem Plasmagasdurchsatz sein. Dies kann aber zu einer Abkühlung des Plasmastrahls und zum Entstehen bedeutender Temperatur- und Geschwindigkeitsgradienten im
 10 Plasmastrahlquerschnitt führen. Um solchen vorzubeugen, muß die Plasmastrahlleistung erhöht werden. Die Erhöhung der Plasmatronleistung hat aber eine Vergrößerung des Energieaufwands im technologischen Prozeß (Leistungsaufnahme pro Bearbeitungseinheit, beispielsweise pro Flächeneinheit des zu bearbeitenden Werkstücks beim Auftragen eines Plasma-bzw. eines plasmachemischen Überzugs) zur Folge.

15

Offenbarung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Plasmabearbeitung und ein Plasmatron zu entwickeln, die das Einführen des Fokussierungsgases zum Fokussieren des Spritzwerkstoffs praktisch
 20 ohne Abkühlung des Plasmastrahls, d.h. ohne Beeinträchtigung der thermogasdynamischen Parameter des Plasmastrahls ermöglichen, was die Möglichkeit gibt, eine hohe Qualität der Plasmabearbeitung ohne Steigerung der Plasmatronleistung zu erzielen.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren zur Plasmabearbeitung durch Ausbildung eines Plasmastrahls, Einführen eines Spritzwerkstoffs mit einem Transportgas in diesen Plasmastrahl über einen Ringspalt,
 25 welcher den Plasmastrahl umfaßt, und Fokussieren des Spritzwerkstoffs im Plasmastrahl mit Hilfe eines Fokussierungsgases, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das Fokussierungsgas in den Bereich der Vereinigung des Plasmastrahls mit der Transportgasströmung mit dem Spritzwerkstoff eingeführt wird.

Im Bereich der Vereinigung der Spritzwerkstoffströmung mit dem Plasmastrahl hat die Spritzwerkstoffströmung noch keine bedeutende Geschwindigkeit erlangt, die sie infolge ihrer Wechselwirkung mit dem
 30 Plasmastrahl erlangen wird. Aus diesem Grunde ist für das Fokussieren des Spritzwerkstoffs, d.h. für die Änderung seines Geschwindigkeitsvektors in diesem Bereich, eine wesentlich geringere gasdynamische Beeinflussung des Plasmastrahls seitens des Fokussierungsgases erforderlich. Entsprechend ist für diesen Zweck auch ein geringerer Durchsatz dieses Gases erforderlich als im Fall der Fokussierung des Spritzwerkstoffs weiter hinten in Strömungsrichtung des Plasmastrahls, wie es im Plasmatron gemäß SU, A, 656669 vorgesehen ist. Das mit einem geringen Durchsatz zugeführte Fokussierungsgas übt auf die
 35 thermogasdynamischen Parameter des Plasmastrahls keine wesentliche Wirkung aus. Somit ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren bei einer gegebenen Plasmastrahlleistung die Erzielung einer höheren Qualität der Plasmabearbeitung.

Es ist vorteilhaft, daß die mittlere Geschwindigkeit V_2 des Transportgases und die mittlere Geschwindigkeit V_3 des Fokussierungsgases im Bereich des Einführens des Spritzwerkstoffs in den Plasmastrahl bei
 40 einer laminaren Strömung dieses Strahls durch die nachfolgenden Beziehungen bestimmt werden:

$$\rho_2 V_2^2 = (55 \dots 83) \rho_1 V_1^2 / (90 - \alpha)^2$$

$$\rho_3 V_3^2 = (0,03 \dots 0,1) \rho_1 V_1^2$$

wobei

50 ρ_1, ρ_2, ρ_3 die mittlere Dichte des Plasmas, bzw. des Transportgases bzw. des Fokussierungsgases im Bereich des Einführens des Spritzwerkstoffs in den Plasmastrahl,
 V_1 die mittlere Plasmastrahlgeschwindigkeit im Bereich des Einführens des Spritzwerkstoffs in den Plasmastrahl, und
 α den Winkel (Grad), unter dem der Spritzwerkstoff in den Plasmastrahl eingeführt wird,
 55 bedeuten.

Bei einer turbulenten Strömung des Plasmastrahls ist es vorteilhaft, daß die mittlere Geschwindigkeit V_2 des Transportgases und die mittlere Geschwindigkeit V_3 des Fokussierungsgases im Bereich des Einführens des Spritzwerkstoffs in den Plasmastrahl durch folgende Beziehungen bestimmt werden:

$$\rho_2 v_2^2 = \frac{\rho_1 v_1^2}{110 - (1,2 \dots 1,8) \cdot 10^{-2} (90 - \alpha)^2}$$

$$\rho_3 v_3^2 = (0,91 \dots 1,43) \cdot 10^{-2} \rho_1 v_1^2$$

5

10 Diese Beziehungen für die Wahl der Geschwindigkeiten des Transport- und des Fokussierungsgases sowohl bei einer laminaren als auch bei einer turbulenten Strömung des Plasmastrahls sind experimentell ermittelt worden, wobei als Kriterium für die Wahl die minimale Abweichung der Bahn des Spritzwerkstoffs von der Achse des Plasmastrahls nach dem Fokussieren des Spritzwerkstoffs bei gegebenem Winkel der Einführung des Spritzwerkstoffs in den Plasmastrahl angesetzt wurde.

15 Es ist vorteilhaft, den Spritzwerkstoff in Richtung des Plasmastrahls unter einem Winkel von 20° bis 40° zur Plasmastrahlachse in diesen Plasmastrahl einzuführen. Dies ermöglicht die Gewährleistung minimaler Abweichungen der Bewegungsbahnen des Spritzwerkstoffs von der Plasmastrahlachse, d.h. seine bestmögliche Fokussierung.

20 Die Aufgabe wird bei einem Plasmatron mit - koaxial hintereinander angeordnet - einer Austritts-Ringelektrode und zwei Düsen, wobei zwischen der Austrittselektrode und der ersten der zwei Düsen ein Ringspalt liegt, der den Zufuhrkanal für den Spritzwerkstoff bildet, und zwischen der ersten und der zweiten Düse ein Ringspalt liegt, der den Zufuhrkanal für das Fokussierungsgas darstellt, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Oberfläche der ersten Düse, die der Austrittselektrode zugekehrt ist, und die der zweiten Düse zugekehrte Oberfläche der ersten Düse gegeneinander unter einem Winkel geneigt sind, dessen Spitze im zylindrischen Bereich liegt, der sich zwischen der Austrittsöffnung der Austrittselektrode und der Eintrittsöffnung der zweiten Düse befindet, wobei der Durchmesser dieses zylindrischen Bereichs dem Durchmesser der Eintrittsöffnung der zweiten Düse gleich ist.

25 Weil die besagten Oberflächen der ersten hinter der Austrittselektrode angeordneten Düse gegeneinander unter einem Winkel geneigt sind, dessen Spitze im Bereich zwischen der Austrittsöffnung der Austrittselektrode und der Eintrittsöffnung der zweiten Düse liegt, wird eine derartige gegenseitige Orientierung des Kanals für die Spritzwerkstoffzufuhr und des Kanals für die Fokussierungsgaszufuhr erreicht, die das Einführen des Fokussierungsgases im Plasmatron in den Bereich der Vereinigung des Plasmastrahls mit der Strömung des den Spritzwerkstoff befördernden Gases gewährleistet. Somit wird die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens gewährleistet und alle vorstehend angeführten Vorteile des Verfahrens treffen auch in gleichem Maße für die Bauart des erfindungsgemäßen Plasmatrons zu.

30 Es ist vorteilhaft, daß die einander zugekehrten Oberflächen der Austrittselektrode und der ersten Düse einen Kegelwinkel von 40° bis 80° bilden und daß die Kegelfläche der Austrittselektrode von der Kegelfläche der ersten Düse umfaßt wird. Dies gewährleistet eine bestmögliche Fokussierung des Spritzwerkstoffs.

35 Nachstehend wird die Erfindung anhand von Zeichnungen und der Beschreibung von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigt:

40 Fig.1a, 1b und 1c mögliche Varianten der Transportgas- und der Fokussierungsgaszufuhr gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren,

Fig.2 die Abhängigkeiten des Verhältnisses der Staudrücke des Plasmastrahls und des Transportgases im Bereich der Einführung des Spritzwerkstoffs in den Plasmastrahl von dem Einführungswinkel des Spritzwerkstoffs,

45 Fig.3 die Abhängigkeiten des Verhältnisses der Staudrücke des Plasmastrahls und des Fokussierungsgases im Bereich der Einführung des Spritzwerkstoffs in den Plasmastrahl von dem Einführungswinkel des Spritzwerkstoffs,

Fig.4 das erfindungsgemäße Plasmatron, in welchem die Strahlausbildungsdüse im Längsschnitt dreieckig ist, und

50 Fig.5 den Austrittsteil des erfindungsgemäßen Plasmatrons, in welchem die Strahlausbildungsdüse im Längsschnitt trapezförmig ist.

Das erfindungsgemäße Plasmabearbeitungsverfahren wird wie folgt durchgeführt. In das Plasmatron wird Plasmagas eingeführt und ein elektrischer Lichtbogen gezündet. Infolge der Wechselwirkung zwischen Lichtbogen und Plasmagas wird am Plasmatronaustritt ein inhomogener Plasmastrahl ausgebildet. Weiterhin wird über den Ringspalt, der den Plasmastrahl umgibt, ein Transportgas mit einem Spritzwerkstoff, beispielsweise Spritzpulver, zugeführt. In den Bereich, wo sich der Plasmastrahl mit der Transportgasströmung, die das Spritzpulver befördert, vereinigt, wird das Fokussierungsgas eingeführt. Der besagte Bereich

55

der Vereinigung stellt einen ringförmigen Bereich dar, der sich im Randgebiet des Plasmastrahls befindet. Das Fokussierungsgas kann in diesen Bereich sowohl über einen Ringspalt, der den Plasmastrahl umgibt, als auch über einzelne Kanäle eingeführt werden, deren Austrittsöffnungen rund um den Strahl angeordnet sind. Hierbei kann das Fokussierungsgas sowohl unter einem Winkel zum Plasmastrahl als auch senkrecht zu diesem Strahl eingeführt werden. Das Transportgas kann im Falle der turbulenten Strömung des Plasmastrahls ebenfalls sowohl unter einem Winkel als auch senkrecht zum Strahl eingeführt werden, und im Falle der laminaren Strömung des Plasmastrahls ist das Einführen des Transportgases senkrecht zum Plasmastrahl unzuweckmäßig, wie nachstehend gezeigt wird. In allen Fällen muß aber das Fokussierungsgas in den Bereich der Vereinigung des Plasmastrahls mit dem das Spritzpulver befördernden Gas eingeführt werden. Die möglichen Varianten für die Zufuhr des Transport- und des Fokussierungsgases sind in Fig.1a, 1b und 1c dargestellt, wo der Plasmastrahl mit der Position 1, die Transportgasströmung mit dem Spritzpulver mit der Position 2, die Fokussierungsgasströmung mit der Position 3 und die Pulverteilchen (Spritzwerkstoffteilchen) mit der Position 4 bezeichnet sind. Die Strömungsrichtung des Plasmastrahls und der Transport- und der Fokussierungsgasströmungen sind durch entsprechende Pfeile gekennzeichnet.

Bei plasmachemischer Bearbeitung von Oberflächen stellen Dämpfe, die aus einem chemisch aktiven Stoff in einem Dampf-Gas-Gemisch bestehen, den Spritzwerkstoff dar. Falls als aktiver Stoff ein Gas fungiert, erfüllt es beide Funktionen, d.h. es fungiert als Transportgas und als Spritzwerkstoff. In allen Fällen der Plasmabearbeitung mit Ausnahme des letzten, können das Transportgas und das Fokussierungsgas die gleiche Zusammensetzung aufweisen.

Das Fokussierungsgas 3 drängt das Pulver 4 aus dem Randgebiet des Plasmastrahls in das achsennahe Gebiet des Strahls und bildet eine inhomogene Strömung 5 in Richtung des Plasmastrahls 1 aus, die auf die Werkstückoberfläche auftrifft. Da im Vereinigungsbereich des Plasmastrahls 1 mit der Transportgasströmung 2 die Geschwindigkeit der Teilchen des Pulvers 4, das mittels des Transportgases eingeführt wird, noch verhältnismäßig klein ist, ist zum Abdrängen des Pulvers 4 zur Achse des Plasmastrahls 1 hin noch keine bedeutende gasdynamische Beeinflussung seitens des Fokussierungsgases 3 erforderlich und der Durchsatz dieses Gases 3 kann klein gewählt werden, damit sich die thermogasdynamischen Parameter des Plasmastrahls 1 nur unwesentlich ändern. Das Nichtabkühlen des Plasmastrahls 1, das in diesem Falle erzielt wird, bedingt ein vollständiges und gleichmäßiges Aufschmelzen der Teilchen des Pulvers 4 und ein gleichmäßiges Beschleunigen dieser Teilchen, wodurch die Erzielung qualitativer Überzüge und die Steigerung des Spritzwirkungsgrades bei verhältnismäßig geringer Plasmastrahlleistung möglich gemacht wird.

Beim Einführen des Fokussierungsgases 3 in den Bereich der Vereinigung des Plasmastrahls 1 mit dem Pulver 4 ist der Winkel β der Divergenz der Bewegungsbahnen der Teilchen des Pulvers 4 bei der weiteren Bewegung des Pulvers verhältnismäßig klein. Die Größe dieses Winkels β hängt von dem Winkel α , unter welchem das Pulver 4 in den Plasmastrahl 1 eingeführt wird, und von den Betriebskennwerten des Prozesses der Plasmabearbeitung, nämlich von den Staudrücken im Bereich der Einführung des Pulvers 4 des Plasmastrahls 1, des Transportgases 2 und des Fokussierungsgases 3 ab. Experimentell ist festgestellt worden, daß für jeden Winkel α des Einführens des Pulvers bei optimal gewählten Betriebskennwerten ein bestimmter minimaler Winkel β der Divergenz der Bewegungsbahnen des Pulvers nach dem Fokussieren existiert.

In Fig.2 sind die experimentell gewonnenen Abhängigkeiten des Verhältnisses $\rho_1 V_1^2 / \rho_2 V_2^2$, das den minimalen Wert des Winkels β gewährleistet, vom Winkel α , unter dem das Pulver in den Plasmastrahl eingeführt wird, dargestellt. Hier bedeuten ρ_1 und ρ_2 die Dichte des Plasmas bzw. des Transportgases im Bereich des Einführens des Pulvers, und V_1 und V_2 die mittleren Geschwindigkeiten des Plasmastrahls bzw. des Transportgases im Bereich des Einführens des Pulvers. Es ist offensichtlich, daß der Ausdruck $\rho_1 V_1^2$ den Staudruck des Plasmastrahls und der Ausdruck $\rho_2 V_2^2$ den Staudruck des Transportgases darstellt. Die in Fig.2 dargestellten Abhängigkeiten sind für Pulverwerkstoffe mit unterschiedlicher Dichte gewonnen worden. Die Punkte, nach welchen diese Kennlinien gezeichnet worden sind, entsprechen folgenden Spritzpulvern: 6, 7: Aluminium-Silizium-Legierung, Dichte 2,4 g/cm³ für turbulente bzw. laminare Strömung des Plasmastrahls; 8, 9: Legierung auf der Grundlage von Kobalt, Dichte 7,4g/cm³ für turbulente bzw. laminare Strömung des Plasmastrahls; 10, 11: Korund, Dichte 3,8 g/cm³ für turbulente bzw. laminare Strömung des Plasmastrahls und 12, 13: intermetallische Verbindung System Nickel-Aluminium, Dichte 6,2 g/cm³ für turbulente bzw. laminare Strömung des Plasmastrahls. Die Kennlinien 14 zeigen die Grenzwerte der Verhältnisse $\rho_1 V_1^2 / \rho_2 V_2^2$ für die turbulente Strömung des Plasmastrahls, und die Kennlinien 15 die Grenzwerte dieses Verhältnisses für die laminare Strömung des Plasmastrahls. Unter den Grenzwerten des besagten Parameters versteht man solche Werte dieses Verhältnisses, innerhalb derer die Erzielung des minimalen Winkels β der Divergenz der Bewegungsbahnen der Pulverteilchen im Plasmastrahl nach dem Fokussieren gewährleistet wird.

Aus Fig.2 ist ersichtlich, daß die Kennlinien 14 und 15 Parabeln darstellen. Für die turbulente Bewegung des Plasmastrahls (Kennlinien 14) betragen die Proportionalitätsfaktoren der Parabeln $1,2 \times 10^{-2}$ (obere Parabel) und $1,8 \times 10^{-2}$ (untere Parabel). Für die laminare Strömung des Plasmastrahls beträgt der Proportionalitätsfaktor der oberen Parabel 15-55 und für die untere Parabel 15 - 83. Daraus folgt, daß die Geschwindigkeit des Transportgases im Bereich des Einführens des Pulvers in den Plasmastrahl im Falle der turbulenten Strömung des Plasmastrahls derart zu wählen ist, daß der Beziehung

$$\rho_2 v_2^2 = \frac{\rho_1 v_1^2}{110 - (1,2 \dots 1,8) \cdot 10^{-2} (90 - \alpha)^2}$$

genügt wird. Im Falle der laminaren Strömung des Plasmastrahls muß die Geschwindigkeit des Transportgases im Bereich des Einführens des Pulvers in den Plasmastrahl derart gewählt werden, um der Beziehung

$$\rho_2 v_2^2 = (55 \dots 83) \rho_1 v_1^2 / (90 - \alpha)^2$$

zu genügen.

Wie aus der letzten Beziehung zu ersehen ist, kann bei laminarer Strömung dem Plasmastrahl der Winkel α nicht gleich 90° sein, da in diesem Falle der Staudruck bzw. die Geschwindigkeit des Transportgases ins Unendliche streben.

In Fig.3 sind die experimentell gewonnenen Abhängigkeiten des Verhältnisses $\rho_1 v_1^2 / \rho_3 v_3^2$, das den minimalen Winkel β gewährleistet, vom Winkel α , unter welchem das Pulver in den Plasmastrahl eingeführt wird, dargestellt, wo ρ_3 , v_3 und $\rho_3 v_3^2$ die Dichte des Fokussierungsgases, bzw. seine Geschwindigkeit und sein Staudruck im Bereich des Einführens des Pulvers sind. Die Punkte 6 bis 13, nach welchen die Kennlinien gezeichnet sind, entsprechen denselben Pulverwerkstoffen, die in Fig.2 angeführt sind. Die Kennlinie 16 entspricht der turbulenten Strömung des Plasmastrahls und die Kennlinie 17 der laminaren Strömung des Plasmastrahls. Wie aus Fig.3 ersichtlich ist, ist das Verhältnis $\rho_1 v_1^2 / \rho_3 v_3^2$ unabhängig von dem Winkel α und hängt nur von der Strömungsart des Plasmastrahls ab. Für die turbulente Strömung liefern die Kennlinien 16 die Grenzwerte für das besagte Verhältnis der Staudrücke des Plasmastrahls und des Fokussierungsgases im Bereich des Einführens des Pulvers in den Plasmastrahl. Diese Linien werden von den Proportionalitätsfaktoren 0,91 (obere Linie 16) und 1,43 (untere Linie 16) bestimmt. Somit wird bei der turbulenten Strömung des Plasmastrahls der minimale Winkel β der Divergenz der Bewegungsbahnen des Pulvers nach dem Fokussieren dann erzielt, wenn die Geschwindigkeit v_3 des Fokussierungsgases im Bereich des Einführens des Pulvers entsprechend der Beziehung

$$\rho_3 v_3^2 = (0,91 \dots 1,43) 10^{-2} \rho_1 v_1^2$$

gewählt worden ist.

Die Grenzwerte der Verhältnisse der Staudrücke des Plasmastrahls und des Fokussierungsgases im Bereich des Einführens des Pulvers bei laminarer Strömung des Plasmastrahls sind durch Kennlinien 17 mit einem Proportionalitätsfaktor von 0,03 (obere Kennlinie 17) bzw. 0,1 (untere Kennlinie 17) dargestellt. Anders gesagt wird bei laminarer Strömung des Plasmastrahls der minimale Winkel β der Divergenz der Bewegungsbahnen der Pulverteilchen nach dem Fokussieren bei der Wahl der Geschwindigkeit v_3 des Fokussierungsgases im Bereich der Pulvereinführung gemäß der Beziehung

$$\rho_3 v_3^2 = (0,03 \dots 0,1) \rho_1 v_1^2$$

gewährleistet.

Somit wird die Wahl der Betriebskennwerte $\rho_1 v_1^2 / \rho_2 v_2^2$ und $\rho_1 v_1^2 / \rho_3 v_3^2$ des Plasmabearbeitungsprozesses durch den Winkel α beim Einführen des Pulvers in den Plasmastrahl und die Strömungsart dieses

Plasmastrahls bestimmt.

Zu bemerken ist, daß die in Fig.2 und in Fig.3 angeführten Abhängigkeiten der Betriebskennwerte des erfindungsgemäßen Verfahrens universal sind, d.h. ihre oberen und unteren Grenzen sind unabhängig von der Dichte des Spritzwerkstoffs. Im entgegengesetzten Falle würden die Linien 14 und 15 in Fig.2 und die
 5 Linien 16 und 17 in Fig.3 über Punkte verlaufen, welche der minimalen bzw. maximalen Dichte des Spritzpulvers entsprechen.

Experimentell ist festgestellt worden, daß der minimale Winkel β der Divergenz der Bewegungsbahnen des Pulvers im Plasmastrahl bei einem Winkel α für das Einführen des Pulvers erzielt wird, der in den Grenzen von 20° bis 40° liegt. Hierbei beträgt der Winkel β 2° bis 3° . Falls der Winkel α außerhalb der
 10 angeführten Grenzen liegt, wird der Winkel β größer und erreicht Werte von 12° bis 13° . Man kann also durch Änderung des Winkels, unter dem das Pulver in den Plasmastrahl eingeführt wird, den Fokussierungsgrad des Pulvers ändern. Dies ist bei der praktischen Durchführung der Plasmabearbeitung infolge der Mannigfaltigkeit der Form und der Abmessungen der Oberflächen der zu bearbeitenden Werkstücke sehr wichtig.

Das erfindungsgemäße Plasmatron enthält - koaxial angeordnet - eine Katode 18 (Fig.4), eine Eintrittsdüse 19, Elektrodenzwischenstücke 20, eine Düsenanode 21, die als Austrittselektrode fungiert, eine Strahlausbildungsdüse 22 und eine Austrittsdüse 23. Die einander zugekehrten Oberflächen der Anode 21 und der Strahlausbildungsdüse 22 stellen Kegel mit einem Kegelwinkel γ in den Grenzen von 40° bis 80°
 15 dar. Hierbei umfaßt die Kegelfläche der Strahlausbildungsdüse 22 die Kegelfläche der Anode 21, d.h. die Kegelfläche der Anode 21 ist konvex und die Kegelfläche der Düse 22 ist konkav. Der Kegelwinkel γ der Kegelflächen der Anode 21 und der Strahlausbildungsdüse 22, der in den Grenzen von 40° bis 80° gewählt worden ist, gewährleistet die bestmöglichen Verhältnisse für das Einführen des Spritzwerkstoffs in den Plasmastrahl, d.h. seine maximale Bündelung im achsnahen Bereich des Plasmastrahls bei minimalem Durchsatz des den Spritzwerkstoff befördernden Gases, wodurch kein Abkühlen des Plasmas verursacht
 20 wird.

Zwischen den einander zugekehrten Kegelflächen der Anode 21 und der Strahlausbildungsdüse 22 entsteht ein Ringspalt 24, der den Kanal für das Einführen des Spritzwerkstoffs in den Plasmastrahl darstellt. Die Oberflächen der Strahlausbildungsdüse 22 und der Austrittsdüse 23, die einander zugekehrt sind, sind plan ausgebildet und zwischen ihnen liegt ein Ringspalt 25, der den Kanal für die Fokussierungsgaszufuhr darstellt. Der Ringspalt 24 ist beispielsweise mit dem Pulverdosierer (nicht dargestellt) und der
 30 Ringspalt 25 mit der Fokussierungsgasquelle (nicht dargestellt) verbunden.

Erfindungsgemäß ist die der Anode 21 zugekehrte Oberfläche 26 der Strahlausbildungsdüse 22 gegen die der Austrittsdüse 23 zugekehrte Oberfläche 27 der Strahlausbildungsdüse 22 um den Winkel δ geneigt. Die Spitze 28 des Winkels δ liegt in einem zylindrischen Bereich, der sich zwischen der Austrittsöffnung der
 35 Anode 21 und der Eintrittsöffnung der Austrittsdüse 23 befindet. Dies ist nötig, damit das Fokussierungsgas in den Bereich der Vereinigung des Plasmastrahls mit der Transportgasströmung, die den Spritzwerkstoff trägt, eingeführt wird. Bei der in Fig.4 dargestellten Bauart des Plasmatrons weisen die Anode 21 und die Austrittsdüse 23 gleiche Innendurchmesser auf, was beim Auftragen von Überzügen aus hochschmelzenden Pulverwerkstoffen (Aluminiumoxid, Zirkonoxid u.dgl.m.) und bei der plasmachemischen Bearbeitung von
 40 Oberflächen zu bevorzugen ist. In diesem Falle ist der Durchmesser des besagten zylindrischen Bereichs, wo sich die Spitze 28 des Winkels δ befindet, gleich dem Innendurchmesser der Anode 21 und der Austrittsdüse 23. Wenn aber der Innendurchmesser der Austrittsdüse 23 größer ist als der Innendurchmesser der Anode 21, muß der Durchmesser dieses zylindrischen Bereichs dem Innendurchmesser der Austrittsdüse 23, d.h. dem Durchmesser seiner Eintrittsbohrung gleich sein. Dies hängt damit zusammen,
 45 daß gerade der Innendurchmesser der Austrittsdüse 23 das Quermaß des Plasmastrahls im Bereich des Einführens des Spritzwerkstoffs in den Plasmastrahl bestimmt. Die Variante der Bauart mit unterschiedlichen Innendurchmessern der Anode und der Austrittsdüse kann beim Auftragen von Überzügen aus niedrigschmelzenden Pulverwerkstoffen (Zinn, Zink u.dgl.m.) vorteilhaft sein.

In Fig.5 ist der Austrittsteil eines erfindungsgemäßen Plasmatrons dargestellt, wo die Strahlausbildungsdüse 22 eine andere Form aufweist. Wenn im in Fig.4 dargestellten Plasmatron die Oberflächen 26 und 27 der Düse 22 sich derart schneiden, daß sich die Spitze des Winkels δ an der Grenze des besagten zylindrischen Bereichs befindet, so weist im Plasmatron gemäß Fig.5 die Düse 22 eine zylindrische Innenfläche 29 auf und ihre Oberflächen 26 und 27 schneiden sich nicht. Es schneiden sich nur die Fortsetzungen dieser Flächen. In diesem Falle befindet sich die Spitze 28 des Winkels δ innerhalb eines
 50 zylindrischen Bereichs, der von der Austrittsöffnung der Anode 21 und der Eintrittsöffnung der Düse begrenzt wird. Anders gesagt weist bei der Bauart gemäß Fig.4 die Strahlausbildungsdüse 22 einen dreieckigen Längsschnitt und bei der Bauart gemäß Fig.5 einen trapezförmigen Längsschnitt auf.

Es muß bemerkt werden, daß die Höhe der zylindrischen Innenfläche 29 der Strahlausbildungsdüse 22

vom Plasmatronbetriebszustand bestimmt wird. Bei einer turbulenten Strömung des Plasmas wird der Durchmesser der Austrittsöffnung der Anode 21 klein bemessen (4 bis 8 mm), und um zu gewährleisten, daß sich die Spitze 28 des Winkels δ in dem vorstehend bestimmten zylindrischen Bereich befindet, muß die Höhe der Oberfläche 29 der Düse 22 ebenfalls sehr klein bzw. gleich Null sein, was der Fig.4 entspricht. Bei einer laminaren Strömung des Plasmas ist eine Vergrößerung des Innendurchmessers der Anode 21 (7 bis 20 mm)vorteilhaft. In diesem Falle kann die Höhe der zylindrischen Innenfläche 29 der Düse 22 vergrößert werden.

Es sind auch andere Bauarten des erfindungsgemäßen Plasmatrons möglich. Beispielsweise kann der Ringspalt 25 für die Fokussierungsgaszufuhr unter einem Winkel zur Plasmatronachse liegen; hierbei ist die gegenseitige Lage der Spalte 24 und 25 analog der Darstellung in Fig.1c.

Das Plasmatron funktioniert wie folgt. Nach dem Zünden des elektrischen Lichtbogens zwischen Katode 18 (Fig.4) und Anode 21 und dem Ausbilden eines inhomogenen Plasmastrahls am Anodenausgang wird über den Ringspalt 25 das Fokussierungsgas und über den Ringspalt 24 das Transportgas mit dem Spritzwerkstoff, beispielsweise mit einem Spritzpulver zugeführt. Die Richtung des Einführens des Plasma-gases, des Transport- und des Fokussierungsgases ist in Fig.4 durch entsprechende Pfeile gekennzeichnet. Das Einführen des Pulvers und das Fokussieren dieses Pulvers in dem achsennahen Bereich des Plasmastrahls erfolgt gleichzeitig. Weil sich die Oberflächen 26 und 27 der Strahlausbildungsdüse 22 unter dem Winkel δ schneiden, dessen Spitze 28 zwischen der Austrittsöffnung der Anode 21 und der Eintrittsöffnung der Austrittsdüse 23 liegt, erfolgt die Fokussierung des Pulvers im Augenblick seiner Vereinigung mit dem Plasmastrahl, d.h. wenn das Pulver vom

Plasmastrahl noch nicht beschleunigt worden ist. Hierbei ist zur Änderung der Bewegungsrichtung des Pulvers, d.h. zur Fokussierung dieses Pulvers im achsnahen Bereich des Plasmastrahls keine bedeutende Beeinflussung seitens des Fokussierungsgases erforderlich. Aus diesem Grunde wird der Durchsatz dieses Gases klein bemessen, wodurch ein Abkühlen des Plasmastrahls verhindert wird. Im Unterschied zum Plasmatron gemäß SU, A, 656669, in welchem der gesamte inhomogene Plasmastrahl fokussiert wird, wird im erfindungsgemäßen Plasmatron eine Fokussierung des Pulvers im Plasmastrahl bei minimaler Beeinflussung dieses Strahls durchgeführt. Dies macht die Erzielung hochqualitativer Überzüge und eines hohen Spritzwirkungsgrades bei verhältnismäßig niedriger Plasmatronleistung möglich, was wiederum eine Erhöhung der Betriebsstundenzahl des Plasmatrons gewährleistet und das Überhitzen der Werkstücke ausschließt.

Nachstehend werden konkrete Beispiele der Durchführung des erfindungsgemäßen Plasmabearbeitungsverfahrens angeführt.

Beispiel 1

Gespritzt wurde ein Überzug mit Titanoxidpulver (Metco 102) mit Hilfe eines Plasmatrons mit folgenden konstruktiven und betriebstechnischen Kennwerten:

40

45

50

55

Winkel γ	60°
Lichtbogenkanallänge (Abstand von der Kathode bis ^{zur} Eintrittsöffnung der Anode)	35 mm
Winkel δ	60°
Plasmagas	Luft
Plasmatronleistung	50 kW
Spritzpulver-Teilchenabmessungen	20 μ m bis 30 μ m
Spritzabstand	140 mm
Spritzschichtdicke	0,35 mm
Erzielt wurde ein Überzug mit folgenden Eigenschaften:	
Haftfestigkeit	70 MPa bis 89 MPa
Porosität	unter 1%
Der Spritzwirkungsgrad betrug 85 %	

Gemäß den in der Literatur angeführten Daten ("Gazotermicheskie pokrytin iz poroshkovykh materialov", Handbuch J.S.Borisov und andere, 1987, Naukova dumka (Kiew), S.359) wird beim Spritzen des Pulvers Metco 102 eine Porosität des Überzugs, die 1 % überschreitet, und eine Haftfestigkeit von 13 MPa erzielt.

Beispiel 2

Gespritzt wurde ein Korundpulver mit Hilfe eines Plasmatrons mit konstruktiven Kennwerten, die in Beispiel 1 angeführt sind, und mit folgenden betriebstechnischen Kennwerten:

Plasmatronleistung	15 kW
Plasmagas	Luft
Verhältnis $\rho_1 v_1^2 / \rho_3 v_3^2$ der Staudrücke des Plasmastrahls und des Fokussierungsgases	75
Verhältnis $\rho_1 v_1^2 / \rho_2 v_2^2$ der Staudrücke des Plasmastrahls und des Transportgases	44
Divergenzwinkel β der Bewegungsbahnen der Pulverteilchen nach dem Fokus- sieren	3,0°
Pulverteilchenabmessungen	20 μ m bis 40 μ m
Spritzabstand	120 mm
Spritzschichtdicke	0,35 mm
Erzielt wurde ein Überzug mit folgenden Kennwerten:	
Haftfestigkeit	30 MPa bis 50 MPa
Porosität	unter 1,5 %

Der Spritzwirkungsgrad betrug 82 %, die Spritzleistung 3 kg/h. Somit betrugen die spezifischen

Energieaufwände des Spritzvorgangs 5 kW.h/kg

Gemäß Angaben in der Literatur (Gazotermicheskie pokrytia iz poroshkovykh materialov, Handbuch, J.S.Borisov und andere, 1987, Naukova dumka (Kiew), S.333, Tabelle 5.7) beträgt die für das Erzielen der angeführten Kennwerte erforderliche Leistung 70 kW bis 100 kW beim Spritzen von Korund im Luft-Erdgas-Plasma, 32 kW bis 35 kW im Argon-Wasserstoff-Plasma und 50 kW im Stickstoffplasma mit Hilfe der Spritzanlage der Firma METCO.

Hierbei weisen die gespritzten Überzüge folgende Kennwerte auf: Haftfestigkeit 10 MPa bis 30 MPa, Porosität 2% bis 5%.

10

Beispiel 3

Einer plasmachemischen Bearbeitung wurde die Oberfläche von Erzeugnissen aus Chromstahl mit Hilfe eines Plasmatrons unterzogen, das folgende konstruktive und betriebstechnische Kennwerte aufwies:

15

Winkel γ 70°

Lichtbogenkanallänge 20 mm

20

Winkel δ 55°

Plasmagas, Transport- und Fokussie-
rungsgas

Argon

Spritzwerkstoff

metallorganische
Dämpfe

25

Plasmatronleistung 12 kW

Verhältnis $\rho_1 v_1^2 / \rho_3 v_3^2$ 75

30

Verhältnis $\rho_1 v_1^2 / \rho_2 v_2^2$ 44

Erzielt wurde ein Überzug mit folgenden Eigenschaften:

Werkstoff Siliziumkarbid,

Dicke 2 μm

35

Porosität 0 %

Mikrohärte 1400 MPa bis 1600 MPa

Erhöhung der Verschleißfestigkeit gegenüber Chromstahl

40

2fach bis 6fach

Produktionsleistung des Bearbeitungsverfahrens

3 bis 10 mm^2/s

45

Industrielle Anwendbarkeit

50

Die Erfindung kann zum Spritzen von Überzügen, zum Sphäridisieren von Teilchen, zum Auftragschweißen von Pulvern, vorzugsweise hochschmelzenden, und zur plasmachemischen Bearbeitung von Erzeugnissen verwendet werden.

55

Ansprüche

1. Verfahren zur Plasmabearbeitung durch Ausbildung eines Plasmastrahls (1), Einführen eines Spritz-

werkstoffs (4) mit einem Transportgas (2) in diesen Plasmastrahl (1) über einen Ringspalt, der den Plasmastrahl (1) umfaßt, und Fokussieren des Spritzwerkstoffs (4) im Plasmastrahl (1) mit Hilfe von Fokussierungsgas (3), **dadurch gekennzeichnet**, daß das Fokussierungsgas (3) in den Bereich der Vereinigung des Plasmastrahls (1) mit der Strömung des Transportgases (2) mit dem Spritzwerkstoff (4) eingeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die mittlere Geschwindigkeit V_2 des Transportgases (2) und die mittlere Geschwindigkeit V_3 des Fokussierungsgases (3) im Bereich des Einführens des Spritzwerkstoffs (4) in den Plasmastrahl (1) bei laminarer Strömung des Plasmastrahls (1) durch die Beziehungen

$$\rho_2 V_2^2 = (55 \text{ bis } 83) \rho_1 V_1^2 / (90 - \alpha)^2$$

$$\rho_3 V_3^2 = (0,03 \text{ bis } 0,1) \rho_1 V_1^2$$

bestimmt werden,
wobei

ρ_1, ρ_2, ρ_3 die mittlere Dichte des Plasmas bzw. des Transportgases und des Fokussierungsgases im Bereich des Einführens des Spritzwerkstoffs in den Plasmastrahl,
 V_1 die mittlere Plasmastrahlgeschwindigkeit im Bereich des Einführens des Spritzwerkstoffs in den Plasmastrahl und
 α den Winkel, unter dem der Spritzwerkstoff in den Plasmastrahl eingeführt wird (in Grad) bedeuten.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die mittlere Geschwindigkeit V_2 des Transportgases (2) und die mittlere Geschwindigkeit V_3 des Fokussierungsgases (3) im Bereich des Einführens des Spritzwerkstoffs (4) in den Plasmastrahl (1) bei turbulenter Strömung des Plasmastrahls (1) durch die Beziehungen

$$\rho_2 V_2^2 = \frac{\rho_1 V_1^2}{110 - (1,2 \dots 1,8) 10^{-2} (90 - \alpha)^2}$$

$$\rho_3 V_3^2 = (0,91 \dots 1,43) 10^{-2} \rho_1 V_1^2$$

bestimmt werden,
wobei

ρ_1, ρ_2, ρ_3 die mittlere Dichte des Plasmas bzw. des Transportgases und des Fokussierungsgases im Bereich des Einführens des Spritzwerkstoffs in den Plasmastrahl,
 V_1 die mittlere Geschwindigkeit des Plasmastrahls im Bereich des Einführens des Spritzwerkstoffs in diesen Plasmastrahl und den Winkel, unter dem der Spritzwerkstoff in den Plasmastrahl eingeführt wird (in Grad) bedeuten.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-3 **dadurch gekennzeichnet**, daß der Spritzwerkstoff (4) in Strömungsrichtung des Plasmastrahls (1) unter einem Winkel von 20° bis 40° zu seiner Achse zugeführt wird.

5. Plasmatron mit - koaxial hintereinander angeordnet - einer Ring-Austrittselektrode (21) und zwei Düsen (22, 23), wobei zwischen der Austrittselektrode (21) und der ersten (22) der zwei Düsen ein Ringspalt (24) liegt, der den Zufuhrkanal für den Spritzwerkstoff bildet, und zwischen der ersten (22) und der zweiten (23) Düse ein Ringspalt (25) liegt, der den Zufuhrkanal für das Fokussierungsgas darstellt, **dadurch gekennzeichnet**, daß die der Austrittselektrode (21) zugekehrte Oberfläche (26) der ersten Düse (22) und die der zweiten Düse (23) zugekehrte Oberfläche (27) der ersten Düse (22) gegeneinander

der unter einem Winkel geneigt sind, dessen Spitze (28) in einem zylindrischen Bereich liegt, der sich zwischen der Austrittsöffnung der Austrittselektrode (21) und der Eintrittsöffnung der zweiten Düse (23) befindet, wobei der Durchmesser dieses zylindrischen Bereichs dem Durchmesser der Eintrittsöffnung der zweiten Düse (23) gleich ist.

5

6. Plasmatron nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die einander zugekehrten Oberflächen der Austrittselektrode (21) und der ersten Düse (22) Kegelflächen mit einem Kegelwinkel von 40° bis 80° darstellen, wobei die Kegelfläche der Austrittselektrode (21) von der Kegelfläche der ersten Düse (22) umfaßt wird.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

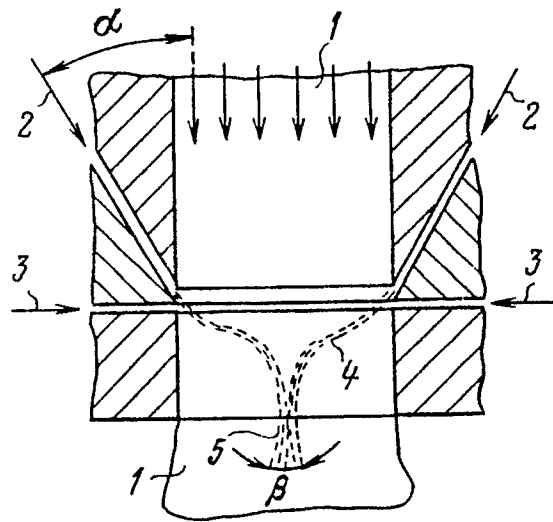


FIG. 1a

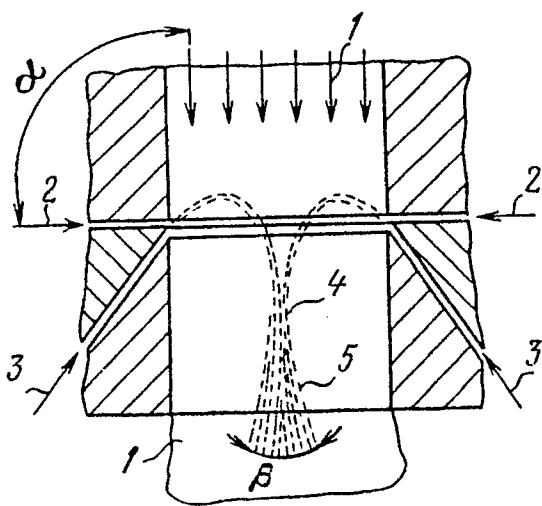


FIG. 1b

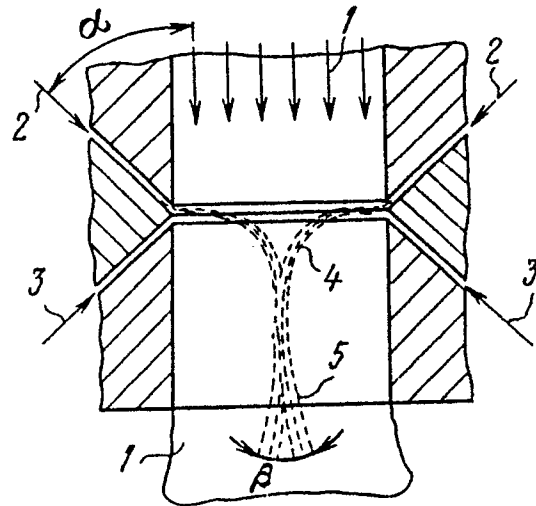


FIG. 1c

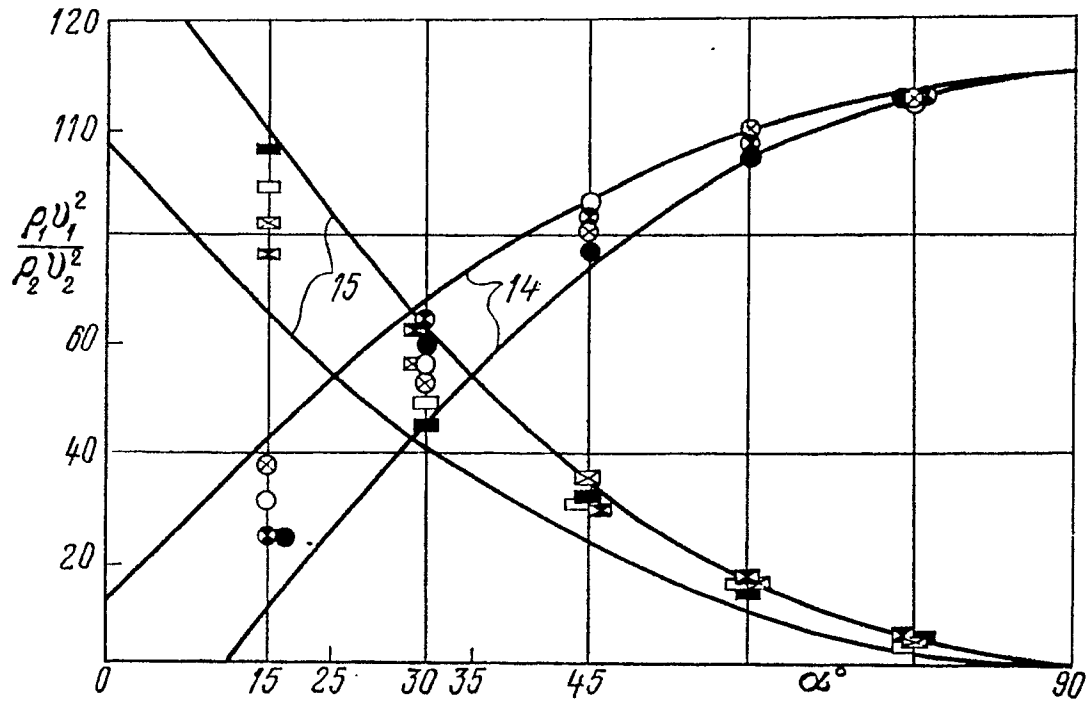


FIG. 2

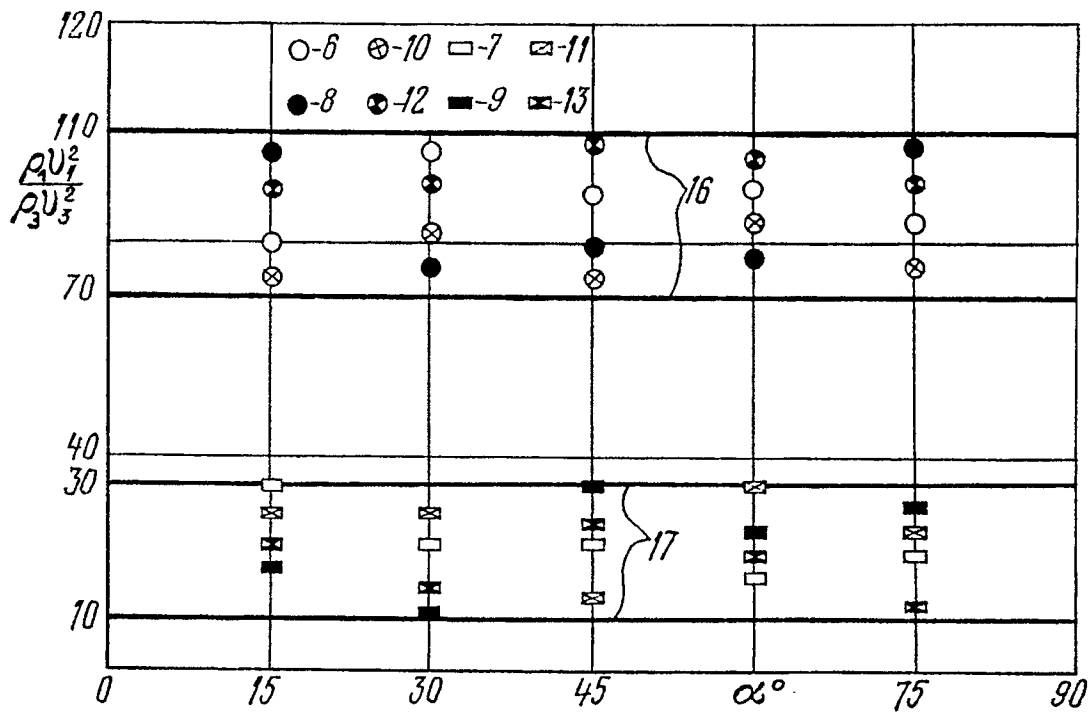


FIG. 3

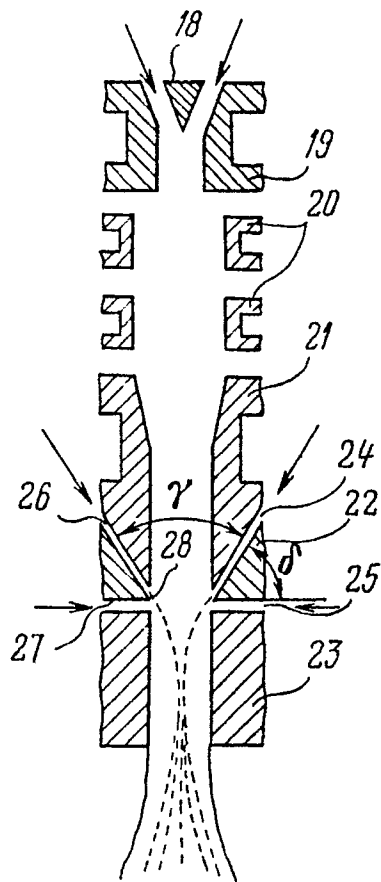


FIG. 4

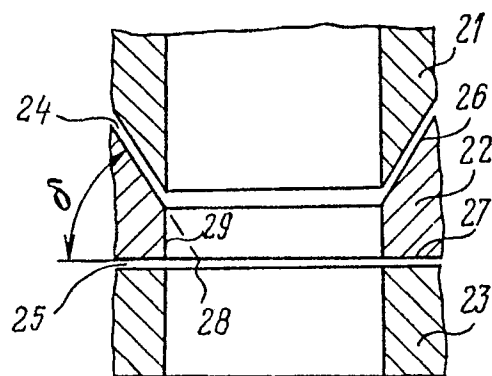


FIG. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No **PCT/SU90/00009**

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (If several classification symbols apply, indicate all) ⁶		
According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC		
Int.Cl. ⁵ C 23 C 4/12; H 05 B 7/22		
II. FIELDS SEARCHED		
Minimum Documentation Searched ⁷		
Classification System	Classification Symbols	
Int.Cl. ⁵	C 23 C 4/00 - 4/18, B 05B 7/20 - 7/22, H 05B 7/18, 7/22, H 05H 1/01.1/48	
Documentation Searched other than Minimum Documentation to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched ⁸		
III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT ⁹		
Category ⁹	Citation of Document, ¹¹ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹²	Relevant to Claim No. ¹³
A	SU, A1,656669 (V.M. Novikov) 18 April 1979 (18.04.79) the claims	1-4
A	SU, A1,503601 (Nauchno-issledovatel'skiy i konstruktorskotekhnologicheskiy institut emalirovannogo khimicheskogo oborudovaniya) 16 March 1976 (16.03.76) the claims	1-4
A	Izvestia Sibirskogo otdeleniya Akademii Nauk SSSR, Seriya tekhnicheskikh nauk No 13, 1983, Vypusk 3, "Nauka", Sibirskoe otdeleniye (Novosibirsk) pages 82-92	1-4
A	FR, A1,2581284 (NPKpo KONTROLINO ZAVARACHNI RABOTI) 31 October 1986 (31.10.86) the claims, figure 1	1,5-6
A	EP, B1,0041078 (VEBEDELSTAHLWERK), 12 March 1986 (12.03.86) the abstract, the drawing	1,5
./.		
¹⁰ Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "Z" document member of the same patent family		
IV. CERTIFICATION		
Date of the Actual Completion of the International Search		Date of Mailing of this International Search Report
05 June 1990 (05.06.90)		17 July 1990 (17.07.90)
International Searching Authority		Signature of Authorized Officer
ISA/SU		

M. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT (CONTINUED FROM THE SECOND SHEET)		
Category *	Citation of Document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No
A	JP, B2,61-2280 23 January 1986 (23.01.86) figures 1-9	5