

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPLYWOWYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

62-63

WARSZAWA—POZNAŃ 1973

P A Ń S T W O W E W Y D A W N I C T W O N A U K O W E

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

KOMITET REDAKCYJNY - EXECUTIVE EDITORS
KAZIMIERZ STELLER - REDAKTOR - EDITOR
JERZY KOŁODKO · JÓZEF ŚMIGIELSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA - EDITORIAL OFFICE
Instytut Maszyn Przepływowych PAN, 80-952 Gdańsk,
skr. pocztowa 621, Gdańsk-Wrzeszcz, ul. Gen. Józefa Fiszer 14, tel. 41-12-71

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1973

Printed in Poland

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE - ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 410+90 egz.	Oddano do składania 19 XII 1972 r.
Ark. wyd. 19,5. Ark. druk. 15,375+2 wkl.	Podpisano do druku 29 IX 1973 r.
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g	Druk ukończono w październiku 1973 r.
Nr zam. 814/155	D-15/787 Cena zł 58,-

DRUKARNIA UNIwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu

Czwarte Seminarium poświęcone zagadnieniom
MAGNETOHYDRODYNAMIKI STOSOWANEJ
I GAZODYNAMIKI WYSOKICH TEMPERATUR

Jena, maj 1972

Čtvrtý Seminář o
APLIKOVANÉ MAGNETOHYDRODYNAMICE
A DYNAMICE PLYNU ZA VYSOKÝCH TEPLŮT

Jena, květen 1972

Viertes Arbeitsseminar über Fragen
DER ANGEWANDTEN MAGNETOHYDRODYNAMIK
UND HOCHTEMPERATUR-GASDYNAMIK

Jena, Mai 1972

Fourth Seminar on
APPLIED MAGNETOHYDRODYNAMICS
AND HIGH TEMPERATURE GASDYNAMICS

Jena, May 1972

Четвертый Семинар по
ПРИКЛАДНОЙ МАГНИТОГИДРОДИНАМИКЕ
И ГАЗОДИНАМИКЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Ена, май 1972 г.

JIRI DUNDR

Praha*

Aerodynamische Struktur des freien Argonplasmastrahles

Symbole

A – Konstante,	Verhältniss des dynamischen Druckes 10 % vom maximalen Wert beträgt [mm],
D – Durchmesser der Austrittsdüse [cm],	Re – Reynolds-Zahl, auf die mittleren Werte des Plasmas bezogen [1],
F – Querschnitt der Austrittsdüse [m ²],	ρ_s – mittlere spezifische Dichte [kg/m ³],
G – Durchflußmenge [g/s],	$T_{\max}$ – maximale Temperatur im Plasma- strahlkern – spektroskopisch ge- messen [K],
h_s – mittlere Enthalpie des Plasmas, $h_s =$ $= U \cdot I \cdot \eta / G$, [J/g], η ... thermischer Wirk- ungsgrad des Plasmastrahlerzeugers,	U – Spannungsabfall zwischen Elektroden [V],
I – Intensität des elektrischen Stromes [A],	$\mathcal{U}$ – dimensionales Kriterium des elektrischen Spannungsabfalls [A/V],
$\mathcal{J}$ – dimensionales Kriterium der elektrischen Stromintensität [A ² s/g],	v_m – maximale Plasmageschwindigkeit im Strahlkern [m/s],
K_1, K_2 – Konstanten,	v_s – mittlere Plasmageschwindigkeit in der Austrittsdüse [m/s],
K_G – Korrektionsglied (Gl. (13)),	w_m – dimensionales Geschwindigkeitskrite- rium für die maximale Geschwindig- keit [m/g],
$\bar{l}$ – relative Länge der Bogenkammer [l],	w_s – dimensionales Geschwindigkeitskrite- rium für die mittlere Geschwindigkeit [m/g],
L – Länge der Bogenkammer [cm],	z_0 – Länge des Strahlkerns [mm],
L_{obl} – Bogenlänge [cm],	$z_{0,5}$ – Entfernung von der Austrittsdüse, in der der dimensionslose dynamische Druck 50 % des maximalen Wertes erreicht [mm].
N_u – gesamte dem Argon zugeführte Wärmemenge [J],	
P_d – dynamischer Druck [kp/m ²],	
P_{am} – maximaler dynamischer Druck [kp/m ²],	
R – dimensionsloser Radius [1],	
r – Radius auf dem der Meßpunkt in der Meßebeine liegt [mm],	
$r_{0,5}$ – Radius, auf dem der dimensionslose dynamische Druck die Hälfte des maximalen Wertes beträgt [mm],	
$r_{0,1}$ – Außenradius des Strahles, definiert als Radius, für den das dimensionslose	

1. Einleitung

Zur Gewinnung der ersten Kenntnisse über die Strömung eines freien, in die Atmosphäre fließenden Argonplasmastrahls mit maximalen Temperaturen $T_{\max} = 11\,000 - 12\,000^\circ\text{K}$

* Ústav termomechaniky, ČSAV, Praha.

wurde ein Argonplasmastrahlerzeuger mit Zwischenelektrodeneinbauten experimentell untersucht. Es wurden insbesondere folgende Parameter gemessen:

- die Länge des Strahlkernes z_0 ,
- der maximale dynamische Druck im Strahlkern P_{dm} und
- der radiale und axiale Verlauf des dynamischen Druckes im Strahlgebiet.

Die zur Messung verwendeten wassergekühlten Miniatur – Pitotsonden wurden in [1, 2] beschrieben. Zur Berechnung der maximalen Strahlkerngeschwindigkeiten wurden Ergebnisse spektroskopischer Temperaturmessungen benützt. Diese Arbeiten, sowie die Beschreibung des benützten Plasmastrahlerzeugers, wurden in [4, 5] beschrieben.

2. Bedingungen der Messungen und der Meßauswertung

Die grundlegenden aerodynamischen Größen wurden für drei verschiedene Längen der Bogenkammer, d. h. $L=88$; 142,5 und 166,5 mm gemessen. Die entsprechende Zahl der Zwischenelektrodenplatten beträgt 4, 14 und 18 Stück (die Dicke einer Platte mit Plastikdichtung ist $\approx 5,7$ mm).

Bei der Plasmaforschung muß man auch wirtschaftliche Gesichtspunkte respektieren, besonders mit Rücksicht auf den hohen Energieverbrauch und hohen Argonpreis. Mitbestimmend bei der Wahl der Zahl von untersuchten Betriebszuständen des Plasmastrahlerzeugers war das Ziel, die ausführliche Abhängigkeit der gasdynamischen Struktur von den grundlegenden Betriebsparametern (der Argonmenge G , der Stromintensität I und der elektrischen Spannung zwischen den Elektroden U) zu bestimmen. Allen diesen Gesichtspunkten entspricht die Wahl der Meßpunkte, die in Abb. 1 in der V-A Abhängigkeit dargestellt sind.

In der ersten Reihe wurde der mittellange Plasmastrahlerzeuger – bezeichnet 100 V – 14/8 – ausführlich untersucht. Die weiteren Messungen mit der langen und der kurzen Alternative des Plasmastrahlerzeugers sind auch mit den Nummern bezeichnet, die die Ortung von Meßpunkten in der V-A Abhängigkeit bezeichnen.

Zum Vergleich von allen durchgeführten Messungen, auch an den anderen Plasmastrahlerzeugern, wurden für Messungen, bezeichneten mit gleicher Nummer dieselben Werte von I und G erhalten. Bei diesen Bedingungen, mit Hinsicht auf den unterschiedlichen Verlauf den V-A Abhängigkeiten der untersuchten Plasmastrahlerzeuger, war die Größe vom Spannungsabfall U zum Teil verändert. Die genauen Werte der Plasmastrahlerzeugerparameter und auch einige Meßwerte sind in der Tabelle 1 gegeben.

Eine ganz spezielle Stellung nehmen die Messungen mit der kurzen Variante des Plasmastrahlerzeugers 100 V – 4/8 ein. Der schlechte Wärmeübergang zwischen dem sehr kurzen Bogen und dem strömenden Argon hat eine unregelmässige Verteilung der Plasmaseigenschaften am Ende der Bogenkammer zur Folge.

Die mit dem tangential zugeführten Argon in der Bogenkammer hervorgerufene und vollauf entwickelte Wirbelströmung ist an dieser kurzen Strecke nicht völlig gedämpft. Als Beispiel dient der Verlauf des dynamischen Druckes mancher Messungen der kurzen Variante des Plasmastrahlerzeugers 100 V – 4/8 in einer 10 mm von der Austrittsdüse entfernten Ebene, siehe Abb. 2.

Wenn in weiteren Verarbeitungen der Meßergebnisse, die Werte von Plasmastrahlerzeuger 100 V – 4/8 zur Vergleichung gegeben sind, so können sie nur zu einer ganz annähernden Information dienen.

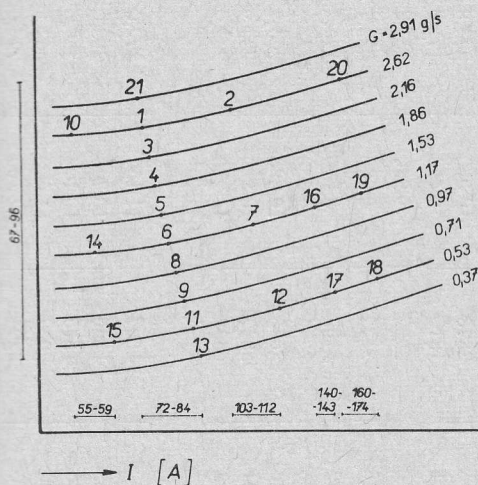


Abb. 1. Die Placierung des Meßpunktes in der V-A Abhängigkeit des Plasmastrahlerzeugers, Typ 100 V – 14/8

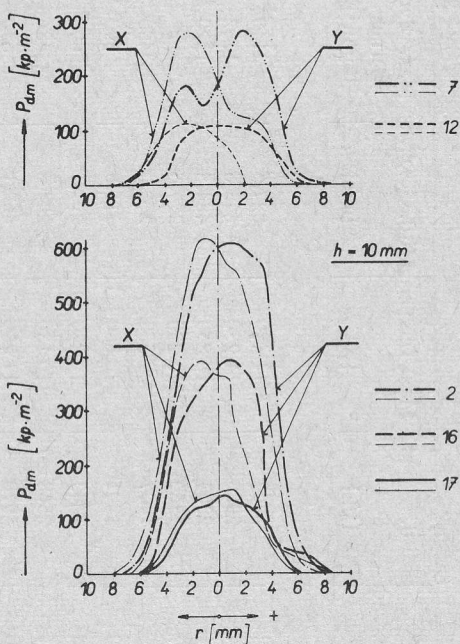


Abb. 2. Der Verlauf des dynamischen Druckes in einer von der Austrittsdüse um $z=10$ mm entfernten Ebene – Typ 100 V – 4/8

Für die Auswertung waren die folgenden Voraussetzungen notwendig:

a. Das Argon wird in die Plasmabogenkammer in tangentialer Richtung zugeführt. Durch die Wirkung des elektrischen Bogens auf das durch die Bogenkammer strömende Argon verschwindet fast völlig die tangential Komponente der Plasmageschwindigkeit und nach dem Austritt aus dem Plasmastrahlerzeuger ist diese Komponente in der Plasmaströmung zu vernachlässigen. Diese Voraussetzung gilt aber für die kurze Variante der Plasmastrahlerzeuger nicht.

b. Der statische Druck im Plasmastrahl ist dem Atmosphären – Druck gleich. Demzufolge muß gelten, daß der dynamische Druck mit dem gemessenen Gesamtdruck identisch ist. Diese Voraussetzung gilt nur falls der Bogen in dem Plasmastrahl hinter der Austrittsdüse nicht brennt. Sonst kann das elektromagnetische Feld die gemessene Größe des statischen Druckes beeinflussen. Es kann vorausgesetzt werden, daß in einer Entfernung über 10 mm von der Austrittsdüse diese Erscheinung nicht entsteht.

c. Die Korrektur der Pitotsondenmessung werden in der Praxis noch nicht durchgeführt, wodurch nach [2] ein Fehler von $\pm(5 \div 8) \%$ verursacht wird.

Alle weitere Angaben sind in [3] aufgeführt.

Tabelle 1

Messung No.	Argonmenge [g/s]	Stromintens. [A]	Elektr. Span. [V]	Wirkungsgrad	Mittl. Enthal. [J/g]	Max. Temper. [K]	Mittl. Geschw. [m/s]	Max. dyn. Druck [kp/m²]	Max. Geschw. [m/s]
Der lange Plasmastrahlerzeuger — Typ 100 V — 18/8:									
22	2,59	163,0	109,5	0,554	3752	11 480	827,5	2140	1037
20		130,0	102,8	0,584	2980	11 230	633,6	1742	924
2		98,0	96,5	0,631	2304	10 850	484,5	1320	786
1		62,5	92,7	0,697	1569	10 230	327,6		
10		36,5	96,0	0,725	1007	9 500	206,0	450	424
3	2,13	63,5	89,0	0,680	1801	10 850	311,5	690	568
4	1,76	64,5	85,9	0,648	2043	10 230	291,1	600	511
5	1,36	65,0	84,2	0,641	2568	10 150	284,6	486	461
16	1,18	138,0	90,0	0,470	4970	11 080	462,1	650	558
7		103,0	85,6	0,553	4124	10 650	402,3	550	501
19		172,0	95,0	0,448	6194	11 300	516,4	688	581
6		65,8	81,0	0,636	2878	10 070	274,8	385	405
14		39,0	82,2	0,661	1810	9 420	172,0	231	301
8	0,94	66,0	79,7	0,590	3294	9 980	261,4	285	345
9	0,73	67,0	76,3	0,520	3622	9 900	222,7	200	289
11	0,55	68,0	73,1	0,422	3782	9 880	175,2	125	229
15		40,0	74,8	0,506	2746	9 350	122,7	88	186
12		105,5	75,0	0,326	4698	10 380	205,7	137	247
17		142,0	80,6	0,281	5852	10 840	233,9	151	266
18		179,0	86,5	0,232	6532	11 200	246,0	160	280
Der mittellange Plasmastrahlerzeuger — Typ 100 V — 14/8:									
21	2,91	72,5	89,0	0,680	1507	11 150	372,0	761	606
10	2,62	54,5	84,3	0,705	1236	10 700	293,0	580	515
1		72,5	83,0	0,660	1515	10 100	369,0	844	599
2		103,0	87,0	0,600	2052	11 600	507,5	1292	814
20		159,0	96,0	0,550	3204	12 300	725,0	2010	1049

3	2,16	72,5	80,0	0,650	1745	11 050	348,0	746	597
4	1,86	74,5	77,0	0,640	1973	11 050	327,0	630	548
5	1,53	75,0	74,9	0,565	2074	10 950	303,2	510	490
14	1,17	58,0	72,8	0,600	2165	10 500	224,0	320	377
6		76,0	73,2	0,570	2710	10 900	284,0	425	445
7		106,0	77,2	0,540	3708	11 350	369,0	542	517
16		140,0	82,5	0,490	4755	11 700	452,0	630	570
19		170,0	84,2	0,445	5308	11 950	467,0	680	601
8	0,97	75,5	76,3	0,520	3088	10 900	256,0	280	361
9	0,71	76,0	75,0	0,475	3813	10 600	220,0	220	315
15	0,53	59,5	67,0	0,430	3234	10 350	155,0	115	224
11		78,0	65,3	0,390	3747	10 700	171,0	135	248
12		112,0	68,0	0,320	4600	11 150	195,0	145	264
17		143,0	72,1	0,265	5060	11 400	217,0	160	282
18		174,0	76,8	0,215	5320	11 650	214,0	175	299
13	0,37	81,0	61,4	0,430	5700	10 620	104,0	65	171
Der kurze Plasmastrahlerzeuger — Typ 100 V — 4/8:									
20	2,77	130,0	78,2	0,648	2367	12 200	530,0	785	658
2		98,0	84,5	0,680	2307	11 450	478,5	620	560
16	1,21	138,0	60,3	0,520	3570	11 170	370,0	390	435
7		103,0	57,2	0,567	2778	10 500	285,0	280	354
17	0,56	142,5	53,3	0,350	4738	11 200	213,0	153	278
12		105,0	51,8	0,424	4101	10 800	189,4	113	230

3. Meßergebnisse

3.1. Radialer Druckverlauf

Bei dem mittellangen Plasmastrahlerzeuger (100 V — 14/8) wurde das ganze Gebiet des Plasmastrahles vermessen. Die Ergebnisse dieser Messungen No. 1, 6 und 11 sind als Linien des konstanten dynamischen Druckes in der Abb. 3 aufgezeichnet. Diese relativ

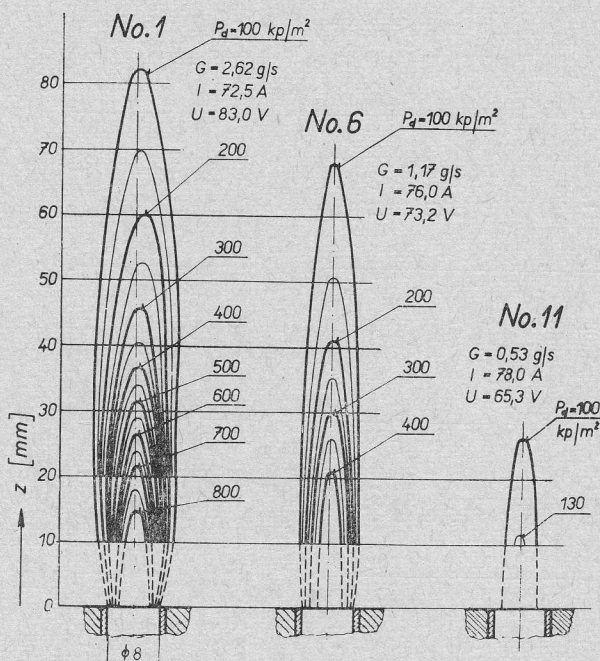
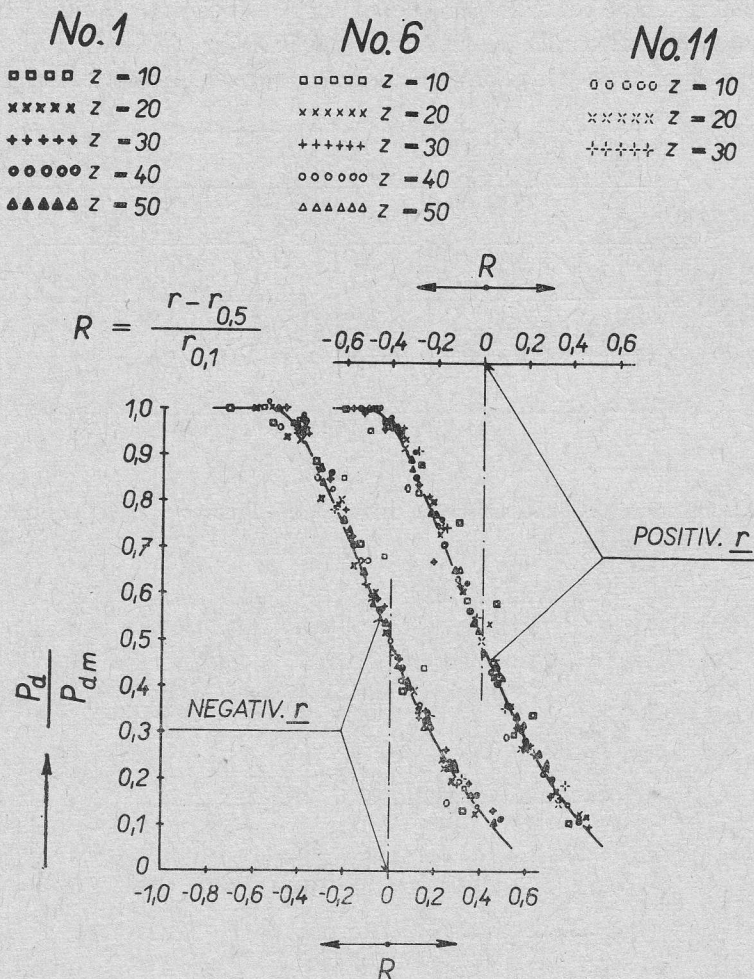


Abb. 3. Die Linien des konstanten dynamischen Druckes im Strahl (Messungen No. 1, 6, 11 — Typ 100 V — 14/8)

sehr unterschiedlichen Messungen; $h_s = (1, 6; 2,5; 3,5) \cdot 10^3$ J/g wurden in der Abb. 4 in einer dimensionslosen Form dargestellt. Der dimensionslose Radius R wird definiert als Verhältnis:

$$R = \frac{r - r_{0,5}}{r_{0,1}} \quad (1)$$

Der Verlauf der Abhängigkeit $P_d/P_{am} = f(R)$ in Grenzen bestimmter Streuung ist praktisch derselbe. Die maximalen Abweichungen haben Werte des ersten Meßquerschnitts, der 10 mm von der Austrittsdüse entfernt ist. Die Abhängigkeit gilt daher nur im Mischgebiet des Plasmastrahles, aber nicht im Anfangsabschnitt des Strahles. Dieses Problem wird noch z. Z. in unserem Institut näher untersucht. Man sieht, daß der radiale Druckverlauf durch die Leistungsaufnahme des Plasmastrahlerzeugers und die Argonmenge G nicht beeinflusst wird.



thalpie h_m abhängig. In Abb. 6a ist der Verlauf der Abhängigkeit $z_0 = f(h_s)$ für die mittellange und lange Variante des Plasmastrahlerzeugers 100 V gezeichnet. Für die lange Anordnung des Plasmastrahlerzeugers gelten die stark ausgezogenen, für die mittellange Variante

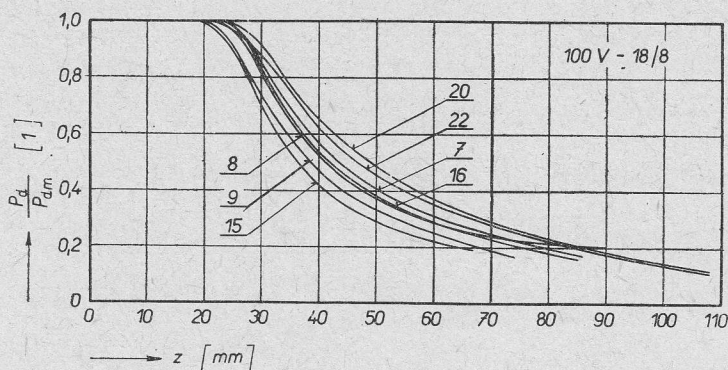


Abb. 5. Der Verlauf des dimensionslosen dynamischen Druckes entlang der Strahlachse

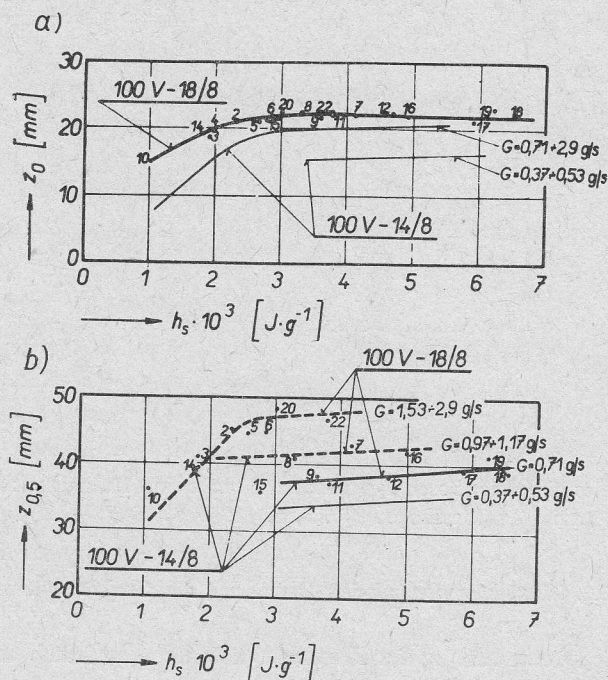


Abb. 6. a) Die Strahlkernlänge des Argonplasmastrahls in Abhängigkeit von der mittleren Plasmaenthalpie h_s – Typ 100 V – 14/8 und 18/8. b) Die Längen $z_{0,5}$ im Argonplasmastrahl – Typ 100 V – 14/8 und 18/8

die schwach ausgezogenen Linien. Die Länge des Plasmastrahlkerns ist im Vergleich mit isothermischem Strahl kürzer und beträgt im unserem Falle $z_0 = (1 \div 2,7) D$. Bei dem langen Plasmastrahlerzeuger (18/8) ist die Strahlkernlänge z_0 durch die mittlere Enthalpie des Argons h_s beeinflusst, dies aber nur für $h_s < 2500 \text{ J/g}$. Für $h_s > 2500 \text{ J/g}$ bleibt die Länge z_0

konstant. Mit einer Verkürzung der Bogenkammerlänge (und auch der Bogenlänge) wird auch die Länge z_0 kleiner. Interessant ist die Feststellung, daß im Gebiet über die Grenze $h_s = 2500 \text{ J/g}$ die Länge z_0 auch konstant bleibt, wohl aber nur für eine konstante Argonmenge G .

Die Länge $z_{0,5}$, in der der dynamische Druck 50% des maximalen Wertes beträgt, ist im Diagramm 6b aufgezeichnet. Die Länge $z_{0,5}$ ist im Gebiet der großen Argonmengen $G > 1,5 \text{ g/s}$ für beide Varianten des Plasmastrahlerzeugers gleich. Bei einer kleinen Argonmenge G , ist die Länge $z_{0,5}$ bei einem mittellangen Plasmastrahlerzeuger kleiner, als die Länge $z_{0,5}$ bei der langen Variante des Plasmastrahlerzeugers 100 V – 18/8.

Die maximale Größe des dynamischen Druckes im Strahlkern ist für die beiden erwähnten alternativen Anordnungen des Plasmastrahlerzeugers gleich und ist durch die Gleichung (2) bestimmt.

$$\left. \begin{aligned} P_{dm} &= 0,092 h_s G^2 \\ &= 0,092 N_u G \end{aligned} \right\} \text{ für } G < 2,9 \text{ g/s.} \quad (2)$$

Die graphisch ermittelte Abhängigkeit ist in der Abb. 7 dargestellt. Die maximale Abweichung, mit der Ausnahme der Messungen No. 2 und 20 an der kurzen Alternative des

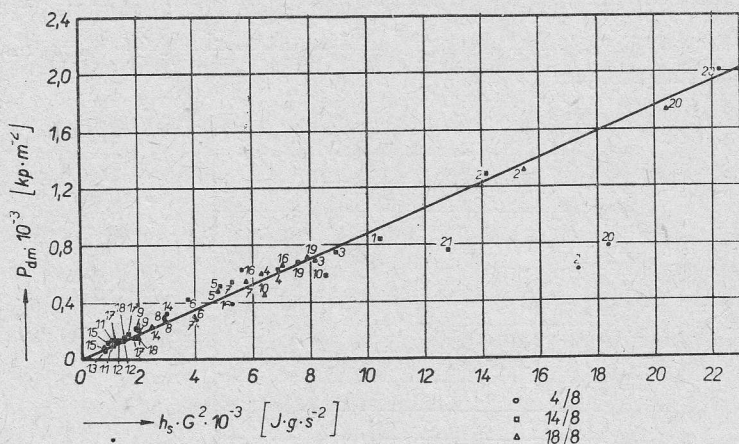


Abb. 7. Der maximale dynamische Druck in der Strahlachse

Plasmastrahlerzeugers, ist bei der Messung No. 21 ersichtlich. Diese Messung ist durch einen großen Argondurchsatz $G > 2,9 \text{ g/s}$ charakterisiert. Diese Abweichung kann durch eine relativ intensive Wirbelströmung in der Bogenkammer des Plasmastrahlerzeugers erklärt werden. Diese Wirbelströmung hat ebenfalls den Druckabfall zur Folge. Darum gilt die Gleichung nur mit der Einschränkung $G < 2,9 \text{ g/s}$.

3.3. Mittlere und maximale Plasmastrahlgeschwindigkeiten

Für die Auswertung der Strömungsgeschwindigkeit des aus der Düse des Plasmastrahlerzeugers austretenden Plasmas benutzt man vorzugsweise die reduzierte Plasmageschwindigkeit, wobei die Geschwindigkeit zur Einheitsmenge des verbrauchten Argons G bezogen

ist. Dieser dimensionale Wert wurde als Geschwindigkeitskriterium oder Massengeschwindigkeit benannt und ist mit Gleichung (3) definiert:

$$w = \frac{v}{G} . \quad (3)$$

Die Dimension von w ist m/g.

Die mittlere Geschwindigkeit in der Austrittsdüse v_s ergibt sich aus der Gleichung

$$v_s = \frac{G}{F \rho_s} \quad (4)$$

und für das Geschwindigkeitskriterium w_s gilt:

$$w_s = \frac{v_s}{G} \Rightarrow \frac{1}{F \rho_s} . \quad (5)$$

Da der Durchmesser des Austrittsquerschnittes konstant bleibt, ist der Wert w_s indirekt proportional nur zu mittlerer spezifischer Dichte. Die mittlere spezifische Dichte ρ geht aus den Betriebsparametern des Plasmastrahlerzeugers hauptsächlich aus der mittleren Enthalpie h_s hervor. Deswegen ist w_s von h_s abhängig, und diese Abhängigkeit $w_s = f(h_s)$ ist im Diagramm (Abb. 8) aufgetragen.

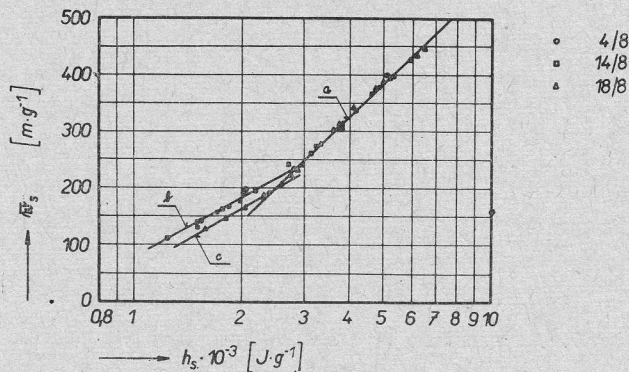


Abb. 8. Die Abhängigkeit des dimensional Geschwindigkeitskriteriums w_s von der mittleren Enthalpie h_s des Plasmas

Der charakteristische Knick im Gebiet $h_s \approx 2500$ J/g war schon in der Abb. 6a und 6b ersichtlich. Oberhalb dieser Grenze liegen die Werte des Kriteriums w_s für alle Varianten der Plasmastrahlerzeugers an einer identischen Gerade. Im Gebiet $h_s < 2500$ J/g unterscheidet sich die lange Variante von der mittellangen und kurzen Variante des Plasmastrahlerzeugers. Auch die Neigung der diese Abhängigkeit darstellenden Geraden b , c , ist im Vergleich mit der Geraden a geringer. Aus der Auswertung des Problems folgt, daß die Erhöhung des Wertes w_s im Gebiet der kleineren Werte h_s einen relativ höheren spezifischen Energieverbrauch als im Gebiet, wo $h_s > 2500$ J/g braucht.

Die maximale Plasmageschwindigkeit wird durch die bekannte Gleichung (6) bestimmt:

$$v_m = \sqrt{\frac{2P_{dm}}{\rho_s}}. \quad (6)$$

Der maximale dynamische Druck wird direkt im Plasmastrahl gemessen. Die spezifische Dichte ρ_s wurde aus den tabellierten Werten in Abhängigkeit von den gemessenen maximalen Temperaturen in der Strahlachse berechnet.

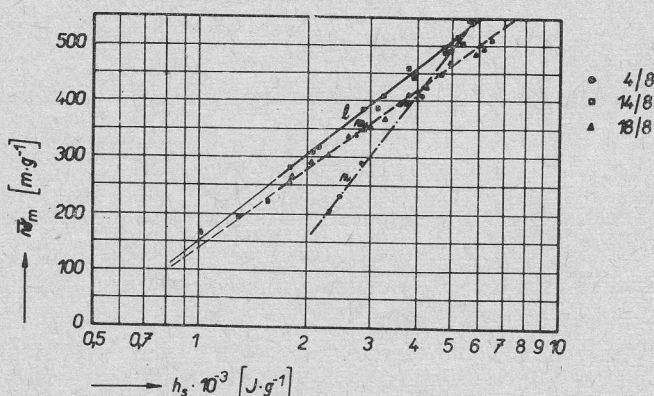


Abb. 9. Die Abhängigkeit des dimensional Geschwindigkeitskriteriums w_m von der mittleren Enthalpie h_s des Plasmas

Die Größe der maximalen Strahlgeschwindigkeiten in der Strahlachse wurde in derselben Form des dimensional Geschwindigkeitskriteriums behandelt. Die Werte sind auch in halblogarithmischen Koordinaten in Abb. 9 mit einer Gerade dargestellt worden. Der Verlauf w_m unterscheidet sich für jede Plasmastrahlerzeugervariante. Die höchsten Werte w_m erreicht man bei dem langen Plasmastrahlerzeuger, etwas niedriger sind die Werte für die mittellange Variante. Die in Abb. 9 dargestellten Geraden kann man durch die folgende Gleichung ausdrücken:

$$w_m = K_1 \log \frac{h_s}{K_2}. \quad (7)$$

Die Konstanten K_1 , K_2 haben folgende Werte:

Plasmastrahlerzeuger 100 V—18/8 $K_1=460$ $K_2=500$

Plasmastrahlerzeuger 100 V—14/8 $K_1=500$ $K_2=500$

In der Abb. 9 ist informativ auch die Gerade für die kurze Variante des Plasmastrahlerzeugers aufgezeichnet. Das Geschwindigkeitskriterium w_m in diesem Falle ist aber nur fiktiv; es ist mit Hilfe der neben der Achse gemessenen maximalen Werte des dynamischen Druckes und der maximalen Temperatur in der Achse gerechnet (siehe auch Abb. 2).

4. Die Bedingungen für den Ausgleich des Geschwindigkeitsprofils

Für das mittlere Geschwindigkeitskriterium w_s gilt aus dem Diagramm (Abb. 8)

$$w_s = 613 \log \frac{h_s}{1040} \quad (8)$$

für $h_s > 2500$ J/g.

Um ein ausgeglichenes Geschwindigkeitsprofil (das z.B. für die Hochtemperatur – Gasdynamik erforderlich ist) zu erreichen, muß die Bedingung

$$w_s \Rightarrow w_m \quad (9)$$

erfüllt werden. In einem idealen Fall ist die Bedingung für ein gleichmässiges Geschwindigkeitsprofil:

$$w_s = w_m. \quad (10)$$

Aus dem Vergleich der mittellangen und langen Variante des Plasmastrahlerzeugers, besonders aus der Lösung der Gleichungen (7), (8), (10) geht hervor, daß man zum Profilausgleich die Werte von der mittleren Enthalpie h_s auf $26 \cdot 10^3$ J/g (Variante 14/8) oder auf $10 \cdot 10^3$ J/g (die Variante 18/8) erhöhen muß.

Diese Behauptung beruht auf der Extrapolierung der experimentell gewonnenen Kenntnisse und ihre Gültigkeit wurde noch nicht nachgewiesen. Trotzdem kann man deduzieren, daß die Plasmastrahlerzeuger mit längerem Bogen für die Gewinnung des gleichmässigen Geschwindigkeitsprofils vorteilhafter sind; für die Eliminierung des Einflusses der kalten Wände muß allerdings die Leistung des Plasmastrahlerzeugers entsprechend erhöht werden.

5. Verallgemeinerung der V-A Abhängigkeit des Plasmastrahlerzeugers 100 V

Die Betriebsparameter der Plasmastrahlerzeuger sind gewöhnlich in der V-A Abhängigkeit graphisch dargestellt. Daneben werden in manchen Arbeiten [6, 7, 8] die Gleichungen zur komplexen Beschreibung der Plasmastrahlerzeugerparameter gegeben. Eine direkte Applikation für unseren Plasmastrahlerzeuger 100 V war aber nicht möglich.

Als Ausgangspunkt haben wir aus [8] die Gleichung (11) übernommen

$$\mathcal{U} = A \mathcal{I}^{-0,38} Re^{-0,27} \bar{l}^{-0,65}, \quad (11)$$

und diese für unsere Zwecke geändert.

Die Größen in der Gleichung (11) sind folgendermassen definiert:

$$A = \text{konst}, \quad \mathcal{U} = \frac{U}{I}, \quad \mathcal{I} = \frac{I^2}{G}, \quad Re = \frac{v_s D}{v_s}, \quad \bar{l} = \frac{L}{R}.$$

Für die Plasmastrahlerzeuger vom Typ 100 V mußte der Ausdruck (11) in die Form

$$\mathcal{U} = f(\mathcal{I}^{-0,4} Re^{-0,3} L^{0,42} + K_G) \quad (12)$$

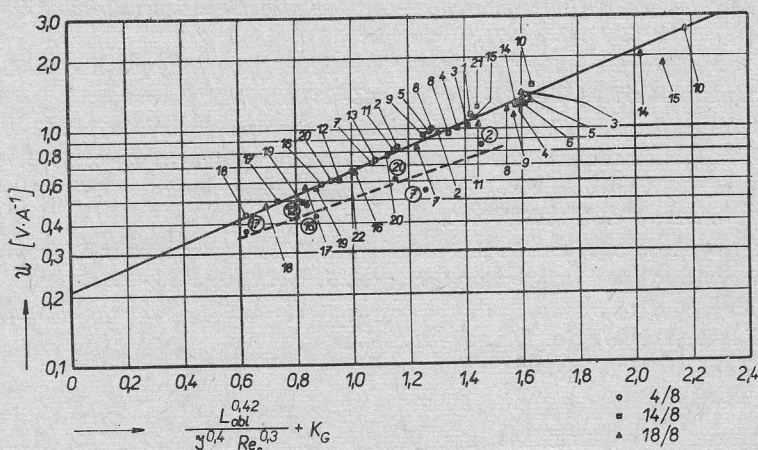


Abb. 10. Die Verallgemeinerung der V-A Abhängigkeit der Typen 100 V - 14/8 und 100 V - 18/8

geändert werden, in der das Korrektionsglied K_G nur von der Argonmenge G abhängt und den Wert

$$K_G = 0,25 \cdot 10^{-2} \log \frac{G}{0,8} \quad (13)$$

hat. Die endgültige Form der Gleichung (12) ist dann

$$u = 0,21 \exp \left[1,17 \cdot 10^2 \left(\frac{L^{0,42}}{\gamma^{0,4} Re^{0,3}} + K_G \right) \right] \quad (14)$$

und ist in der Abb. 10 dargestellt.

6. Zusammenfassung

Experimentelle Untersuchung eines freien Argonplasmastrahles hat neue Kenntnisse über die gasdynamische Struktur des Plasmastrahlers geliefert. Zum Teil konnte die Abhängigkeit der Bogenkammerlänge des Plasmastrahlerzeugers und der grundlegenden Parametern von den Werten, die die Plasmastrahlstruktur definieren, geklärt werden. In einigen Fällen ist es gelungen diese Abhängigkeit einfach mathematisch zu formulieren.

Auf Grund dieser Ergebnisse wurde weiter festgestellt, daß die Wirbelstabilisierung im angewandten Plasmastrahlerzeuger vom Typ 100 V, durch die Argonzufuhr in Achsenrichtung ersetzt werden sollte, um die tangentielle Geschwindigkeitskomponente zu eliminieren. Die Experimentalergebnisse, die sich schon jetzt zur theoretischen Beschreibung des Plasmastrahles anwenden lassen, werden in der weiteren Etappe noch verfeinert.

Literaturverzeichnis

- [1] J. Dunder, *Zur Messung des Staudruckes und der Geschwindigkeit in hocherhitzten Gasen mit gekühlten pneumometrischen Sonden*. Drittes Seminar „Angewandte Magnetohydrodynamik und Hochtemperaturgasdynamik“, Gdańsk 1970. Prace IMP, H. 54 - 55, 1971, S. 203 - 213.

- [2] J. Dunder, *Die Messung in Niedertemperatur — Argonplasma mit pneumometrischen Sonden*. Bericht ÚT — ČSAV Praha, Z-339/71, 1971, (tschechisch).
- [3] J. Dunder, *Das Meßverfahren der Geschwindigkeit des Niedertemperaturplasmas und die Messungen mit Kontaktsonden*. Bericht ÚT — ČSAV Praha, Z- 287/69, 1969, (tschechisch).
- [4] J. Kučera, *Untersuchung der Eigenschaften eines Plasmabrenners*. Prace IMP, Nr. 62 - 63, 1973.
- [5] J. Šlechta, *Temperature Measurement in an Argon Jet*. Prace IMP, Nr. 62 - 63, 1973.
- [6] N. A. Zyričev, *Rasčet parametrov električeskoj dugi s učetom konvektivnyh i lučistych potěr*. Inž. fiz. zhurnal Vol. 21, No. 4, S. 673 - 680.
- [7] V. I. Martynov, L. P. Murkin, V. E. Parfenov, *Issledovanie plazmatrona s difuzornym dugovym kanalom*. Teplofiz. vysokich temperatur 1971, Vol. 9, No. 5, S. 1093 - 1094.
- [8] N. A. Zyričev, *Rasčet parametrov elektrodugovyh podogrevatel'ej s gazovoj stabilizaciej dugi*. Inž. fiz. zhurnal 1969, Vol. 17, No. 1, S. 50 - 56.

Struktura gazodynamiczna swobodnego strumienia plazmy argonowej

Streszczenie

Praca podaje wyniki doświadczalnych badań strumienia plazmy argonowej. Do pomiaru ciśnień całkowitych użyto specjalnych miniaturowych rurek Pitota chłodzonych wodą (średnice 1,45 i 2,25 mm). W opracowaniu wyników korelowano długość komory łuku i inne podstawowe parametry generatora plazmy z długością rdzenia i maksymalnymi wartościami ciśnienia całkowitego i prędkości w rdzeniu strumienia wylotowego generatora. Otrzymano rozkłady osiowe i promieniowe ciśnienia dynamicznego oraz uogólnione charakterystyki prąd — napięcie dla badanego generatora.

Gasdynamic Structure of Free Argon Plasma Jet

Summary

The paper deals with the experimental results of research conducted on the argon plasma jet. Special miniaturized water cooled Pitot probes (1.45 and 2.5 mm. dia.) were used for the measurement of the total head. The results correlate the length of the arc chamber and other main parameters of the plasma generator with the length of the core and maximum values of the total pressure and velocity in the core of the jet. For the plasma generator used for the experiments the axial and radial distributions of the pressure as well as the generalized volt-ampere dependence were obtained.

Газодинамическая структура свободного потока аргоновой плазмы

Резюме

Описываются результаты экспериментального исследования газодинамической структуры свободного потока аргоновой плазмы. Для измерения динамических давлений были использованы охлаждаемые миниатюрные зонды Пито $\varnothing 1,45$ мм и $\varnothing 2,5$ мм. Было определено влияние длины дугового канала (межэлектродного расстояния) и основных параметров плазматрона на максимальные значения динамического давления в ядре потока и скорости в сопле плазматрона. Для использованного типа плазматрона были определены также осевое и радиальное распределения динамических давлений в области потока и обобщенная вольт-амперная характеристика.