

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Э. И. Асиновский, А. А. Афанасьев, Е. П. Пахомов, Исследование границ винтовой неустойчивости дугового столба, *ТВТ*, 1977, том 15, выпуск 4, 712–715

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 44.210.149.218

9 ноября 2024 г., 19:46:02



УДК 533.951.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНИЦ ВИНТОВОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ДУГОВОГО СТОЛБА

Э. И. Асиновский, А. А. Афанасьев, Е. П. Пашомов

Приводятся результаты экспериментального исследования влияния диаметра канала, расхода газа, приложенного продольного магнитного поля и давления газа на винтовую неустойчивость столба аргоновой дуги.

Дуга высокого давления, стабилизированная стенкой, испытывает винтовую (спиральную) неустойчивость в приложенном продольном магнитном поле B , начиная с некоторого критического значения $B_{кр}(d, p, G, I)$, а при определенных условиях ($d > d^*(p)$) и без внешнего поля, начиная с некоторого критического значения тока $I_{кр}(d, p, G)$. Достаточно подробный анализ устойчивости столба дуги выполнен в [1–3]. Устойчивость аргоновой дуги, стабилизированной стенкой, исследовалась экспериментально в [3–7]. Однако каждая из этих работ выполнена в сравнительно узком диапазоне изменения параметров, их результаты не позволяют составить общую картину границ устойчивости столба аргоновой дуги.

В предлагаемой работе приводятся первые результаты систематического экспериментального исследования границ устойчивости столба стабилизированной стенкой аргоновой дуги в зависимости от величины давления p , диаметра стабилизирующего канала d , тока дуги I , приложенного продольного магнитного поля B и расхода газа G .

Экспериментальная установка, оборудование и методика эксперимента описаны в [7], откуда заимствованы, в частности, результаты для $d=0,6$ см. В данной работе в качестве стабилизирующего канала использовались водоохлаждаемые кварцевые трубки длиной 40 и внутренним диаметром 1,0–2,9 см. Это определило рабочий диапазон тока дуги 8–80 А и давления $(1–11) \cdot 10^5$ Па.

Граница устойчивости столба дуги отождествлялась, как и в [7], с возникновением пульсаций излучения или со скачкообразным увеличением напряжения на дуге. Визуальные наблюдения показали, что это действительно соответствует моменту сворачивания в винт столба дуги. Малые возмущения в анодной или катодной области, иногда наблюдающиеся до сворачивания в винт столба дуги, не характеризуют устойчивости дугового столба.

Экспериментальные результаты. На рис. 1 приведена полученная зависимость $B_{кр}$ от расхода газа для исследованных диаметров стабилизирующего канала при нескольких значениях тока дуги; давление — атмосферное. Приведенные там же данные [3] для $d=1$ см (естественные возмущения) хорошо согласуются с нашими результатами. Видно, что данные [5], особенно для $d=0,4$ и $0,3$ см, по-видимому, из-за влияния приэлектродных областей, как уже отмечалось в [7], не характеризуют устойчивость столба дуги.

Поток газа повышает устойчивость дугового столба: $B_{кр}(G) > B_{кр}(G=0)$. При $I = \text{const}$ стабилизирующее воздействие потока газа (по увеличению $B_{кр}$) пропорционально v^n , где $n \geq 1$. При $v = \text{const}$ ($G/d^2 = \text{const}$) стабилизирующее воздействие потока усиливается с ростом d (растет $(d^2/G) \partial B/\partial G$) для $d < d^*$.

С ростом диаметра стабилизирующего канала величина $B_{кр}(G=0)$ уменьшается до нуля при характерном значении диаметра $d = d^*$ (рис. 2).

Это значит, что в дугах с $d > d^*$ может наступать неустойчивость и без приложенного магнитного поля.

В [4] наблюдалась неустойчивость аргоновой дуги при

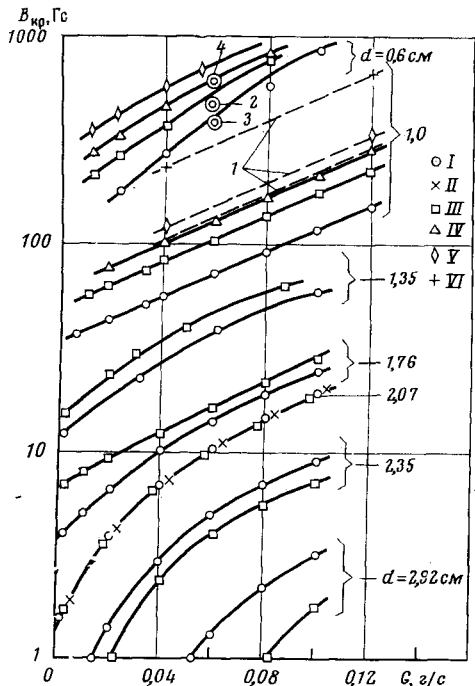


Рис. 1. Зависимость $B_{кр}$ от расхода газа. $p = 10^5$ Па; I — $I = 20$ А; II — 30; III — 40; IV — 60; V — 80; VI — 160; 1 — данные [3]; 2—4 — данные [5] для $I = 45$ А, $d = 0,6$ см; I — 20 А, $d = 0,4$ см и $I = 22,5$ А, $d = 0,3$ см соответственно

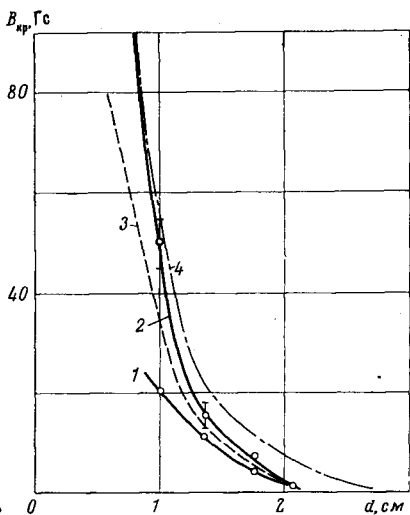


Рис. 2. Зависимость $B_{кр}$ от диаметра стабилизирующего канала: 1 — $I = 20$ А, $G = 0$; 2 — $I = 40$ А, $G = 0$; 3 — $I/d = 23$ А/см, $G = 0$; 4 — $I = 40$ А, $G/d^2 = 0,01$ г/с·см²

$d = 2$ см. Однако, по-видимому, эти результаты характеризуют не устойчивость столба дуги, а устойчивость ее прикатодной зоны. Это следует из рис. 12 работы [4], из которого видно, что амплитуда колебаний, возникающих у катода, затухает в столбе дуги.

Результаты [6], где также наблюдалась винтовая неустойчивость дуги в канале $d = 2$ см, как будет показано ниже, отличаются от данных настоящей работы.

Из рис. 1 видно, что при переходе через d^* меняется и характер влияния тока дуги. Если для дуг с $d < d^*$ увеличение тока увеличивало устойчивость дуги, то при $d > d^*$ влияние тока обратное.

На рис. 3 представлена зависимость $I_{кр}$ от G при $B = 0$ для диаметров канала 2,35 см (кривая 1) и 2,92 см (кривая 2). Видно, что с ростом диаметра стабилизирующего канала устойчивость столба дуги уменьшается. Расход газа по-прежнему оказывает стабилизирующее воздействие, однако здесь ($d > d^*$) эффективность его влияния падает с увеличением диаметра.

На этих диаметрах канала отчетливо наблюдался гистерезис границы перехода дуги из прямолинейной формы в винтовую и обратно, как по току дуги (кривые 1а и 2а), так и по расходу газа (кривая 2б). Направление изменения параметров указано на рисунке стрелками. Возможно, это свя-

зано с влиянием собственного магнитного поля спирали дугового столба, равного по оценке $\sim (1-5)$ Гс при $I=50$ А. Здесь же приведены границы устойчивости, полученные в [6] для $d=2,0$ см и длин дуги 8 (кривая 3) и 16 см (кривая 4). Видно, что дуга в этой работе была более неустойчивой. Причина расхождения этих результатов с данными настоящей работы

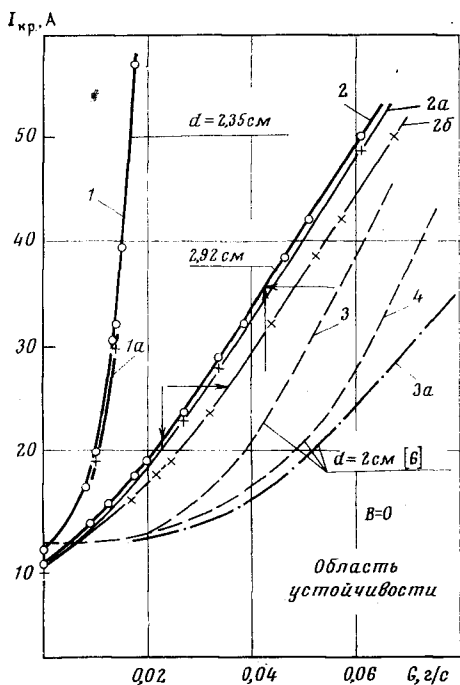


Рис. 3

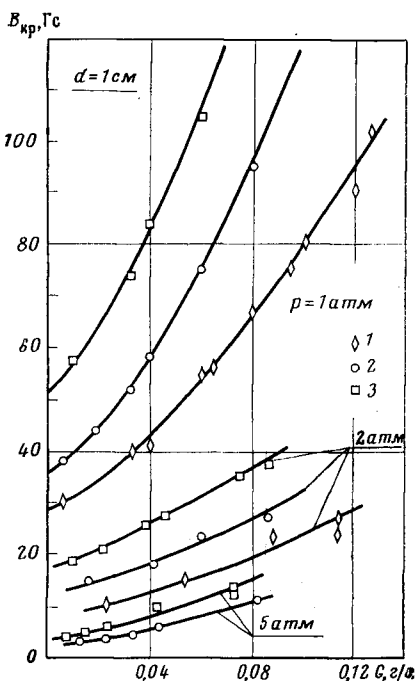


Рис. 4

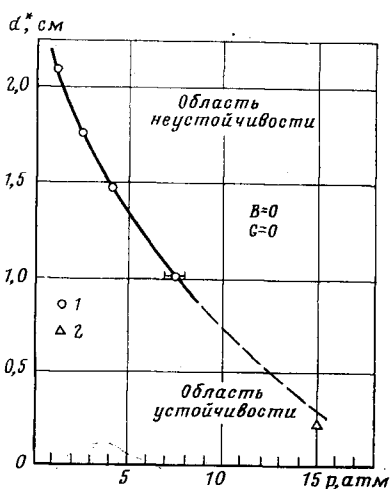


Рис. 5

Рис. 3. Зависимость $I_{кр}$ от расхода газа, $B=0$. Данные авторов: 1 — $d=2,35$ см; 2 — $d=2,92$ см; гистерезис по току — 1a и 2a; гистерезис по расходу — 2б; данные [6]: для $d=2$ см и длин дуги: 3 — $L=8$ см; 4 — $L=16$ см; гистерезис по току — 3a

Рис. 4. Зависимость $B_{кр}$ от расхода газа для разных давлений, $d=1$ см: 1 — $I=10$ А; 2 — 20; 3 — 40

Рис. 5. Влияние давления на d^* , $B=0$, $G=0$, $I=20-50$ А: 1 — данные авторов; 2 — данные [8]

пока не ясна. Абсолютная величина гистерезиса по току (кривая 3a), наблюдавшегося в [6], также существенно больше, чем в настоящей работе.

Влияние давления. Как показано в [1], изменение давления сильно влияет на устойчивость водородной дуги. Аналогично ведет себя аргоновая дуга.

Как видно из рис. 4, для дуги $d=1,0$ см при увеличении давления от 100 до 500 кПа $B_{кр}$ уменьшается на порядок. При этом увеличение расхода газа по-прежнему увеличивает устойчивость. Дальнейшее увеличение давления приводит к падению $B_{кр}$ до нуля, т. е. к возникновению неустойчивости дугового столба в канале диаметром d при нулевом приложенном поле.

Рис. 5 демонстрирует такое влияние p на d^* для $I=(20-50)$ А и $G=0$. Здесь приведены наши данные ($d=1,0-2,1$ см) и данные работы [8] ($d=0,22$ см). В этой работе наблюдалось возникновение колебаний локальных параметров в столбе дуги при $p \geq 1,5 \cdot 10^6$ Па, которые можно объяснить переходом столба дуги в винтовое состояние.

Из рис. 5 видно, что с ростом давления d^* быстро падает. Возможно, что при больших давлениях аргоновая дуга может испытывать винтовую неустойчивость даже в капиллярных разрядах.

ИВТАН

Поступила в редакцию
19 V 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Mentel. Z. Naturforsch., 26a, 526, 1971; K. A. Ernst, J. Kopainsky, J. Mentel. Z. Physik, 265, 253, 1973.
2. K. Ragaller. Z. Naturforsch., 29a, 556, 1974.
3. M. Ch. Yuen. Phys. Fluids, 9, 6, 1140, 1966.
4. M. Dreusicke, W. Neumann. Beitr. Plasmaphys., 6, 175, 1966.
5. Б. Стефанов, Р. Еников. ТВТ, 11, 401, 1973; B. Stefanov, R. Enikov, XI th JCPJG, Prague, 1973.
6. В. С. Голубев, В. С. Клубникин. Письма в ЖТФ, 2, 180, 1976.
7. Э. И. Асиновский, А. А. Афанасьев, Е. П. Пахомов. ТВТ, 14, 695, 1976.
8. П. В. Минаев. Автореф. канд. дисс., ИВТАН, М., 1971.