

**FORSCHUNGSBERICHTE
DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN**

Herausgegeben durch das Kultusministerium

Nr. 829

Dr. Hans Strack

Institut für Theoretische Physik der Universität Bonn

Glimmentladung im Innern eines kathodischen Rohres

Als Manuskript gedruckt



WESTDEUTSCHER VERLAG / KÖLN UND OPLADEN

1960

D 5

ISBN 978-3-663-03668-5 ISBN 978-3-663-04857-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-04857-2

G l i e d e r u n g

I. Die Konstruktion des Entladungsgefäßes	S. 7
II. Vorversuche zur Erhöhung der Betriebssicherheit	S. 12
III. Der Einfluß der Temperatur auf die Entladungs- bedingungen	S. 14
1. Einfluß der Strömungsgeschwindigkeit auf Temperatur und Stromdichte	S. 17
2. Einfluß des Gasdruckes auf Temperatur- und Stromverteilung längs des Rohres	S. 22
3. Streuung der Stromdichte in Abhängigkeit vom Druck bei konstantem Gesamtstrom	S. 23
4. Einfluß der Gasart und Abstrahlung auf die mittlere Temperatur des kathodischen Rohres	S. 24
5. Einfluß der Leistung auf Temperaturverteilung und Stromverteilung	S. 26
6. Einfluß eines Strahlungsschutzrohres auf die Temperaturstreuung	S. 30
7. Einfluß einer Außenheizung auf die Temperaturstreuung	S. 31
Zusammenfassung	S. 32
Literaturverzeichnis	S. 34

Es macht im allgemeinen keine besondere Schwierigkeit, die Oberfläche eines metallischen Werkstückes als Kathode einer Glimmentladung zu verwenden und ihr auf diese Weise einen großen Anteil der im Kathodenfall umgesetzten Energie zuzuführen. Dieses Verfahren hat verschiedentlich praktisch Anwendung gefunden. Die Entladung ist zuweilen ein vorteilhaftes Mittel, das Werkstück in einem Gas von niedrigem Druck oder chemisch indifferentem Charakter zu erhitzen. Man kann aber auch mit Hilfe der Entladung an der Oberfläche des Werkstückes chemische Vorgänge in Gang setzen, welche ohne die Entladung gar nicht oder sehr viel langsamer vor sich gehen. Eine Entladung kann auch das Eindiffundieren des Entladungsgases in das Metall erleichtern. Zu besonderer Bedeutung ist z.B. in der letzten Zeit das Nitrieren von Eisen- bzw. Stahloberflächen in der Glimmentladung gelangt. Dieser Prozeß wird in einem Gemisch von Stickstoff und Wasserstoff bzw. Ammoniak als Entladungsgas durchgeführt, wobei das Werkstück durch die Entladung selbst auf Temperaturen zwischen 500 und 600° gebracht wird. Bei diesem interessanten Prozeß werden also die Wärmewirkungen, die chemischen Wirkungen und wahrscheinlich auch die Diffusionskörperwirkungen der Entladung ausgenutzt. Andere Anwendungen der Entladung bestehen darin, daß die Kathodenoberfläche zerstäubt oder bestäubt wird, was wiederum sehr verschiedenartigen Zwecken dienen kann.

Das Betreiben der Glimmentladung an einem Werkstück als Kathode stößt jedoch in einigen Fällen auf Hindernisse. Ist die Oberfläche des Werkstückes z.B. sehr groß, so daß man eine Glimmentladung großer Stromstärke benötigt, um sie völlig zu bedecken, so entsteht die Gefahr, daß die Glimmentladung in einen Lichtbogen umschlägt, weil der Lichtbogen weniger Brennspannung benötigt, also stabiler ist. Diese Gefahr kann durch geeignete Maßnahmen in vielen Fällen überwunden werden [1].

Eine andere Schwierigkeit, mit der wir uns in dieser Arbeit beschäftigen wollen, entsteht, wenn die Entladung an der inneren Fläche eines ziemlich engen und langen Rohres betrieben werden soll. Bringt man die Anode außerhalb des Rohres an, z.B. zwei Anoden in der Nähe der beiden Rohrenden, so wirkt das Rohrinne als Hohlkathode. In ihr erzielt man schon mit niedrigen Brennspannungen verhältnismäßig hohe Stromdichten. Tatsächlich dringt die Entladung bei geeignetem Gasdruck sehr leicht ein Stück weit in das Rohrinne ein. Die Stromdichte fällt jedoch vom Rohrende in das Innere des Rohres schnell ab, im Innern eines langen Rohres erlischt schließlich die Entladung ganz. Das hat zur Folge, daß

die inneren Teile eines langen Rohres der Entladung überhaupt nicht ausgesetzt sind, während die Rohrenden eine unerwünscht hohe Belastung erfahren. Bei einem solchen Betrieb erzielt man eine sehr ungleichmäßige Energiezufuhr und eine sehr ungleichmäßige Wirkung der durch die Entladung beabsichtigten Prozesse.

Die Eindringtiefe der Entladung in ein kathodisches Rohr hängt von Rohrdurchmesser, Gasdruck und Brennspannung ab. Ein besseres Eindringen kann man auch durch Erhöhen des Gasdruckes bei sehr langen Rohren nicht erzielen. Die Ursache für die beschränkte Eindringtiefe ist darin zu sehen, daß ein Elektronenstrom (Querstrom) vom Betrage des von der Kathodenoberfläche aufgenommenen Stromes in der Rohrachse zur Anode aus dem Rohr heraustransportiert werden muß. Dieser Elektronentransport erfordert ein Querfeld entlang der Kathodenoberfläche, so daß im Rohrinnern nur ein Teil der Brennspannung als Kathodenfall zur Verfügung steht. Der Anteil des Kathodenfalls nimmt nach innen ab, bis er schließlich unter den minimalen Wert fällt, bei dem die Entladung noch brennen kann. An dieser Stelle erlischt dann die Entladung [2], [3].

Will man also die Innenfläche eines kathodischen Rohres einigermaßen gleichmäßig beglimmen, so wird man einen anodischen Draht in der Rohrachse ausspannen, so daß die Oberfläche der Kathode überall mehr oder weniger gleich weit von der Anode entfernt ist. Diese Anordnung, welche die oben erwähnten Schwierigkeiten im Prinzip beseitigt, und deshalb auch verschiedentlich Anwendung gefunden hat, zeigt aber doch eine ganze Anzahl von Komplikationen, deren Untersuchung der eigentliche Gegenstand dieser Arbeit ist.

Solange der Rohrdurchmesser so weit ist, daß man die Entladung auch noch ohne eine Anode in der Rohrachse betreiben könnte, läßt sich auch ein anodischer Stab leicht in der Rohrachse anbringen. Im Innern eines langen und engen Rohres, in welches die Entladung ohne Innenanode kaum mehr eindringt, ist auch das Einbringen einer Innenanode schwierig. Die Ursachen der Schwierigkeiten sind hauptsächlich dreierlei:

1. In der Achse eines engen Rohres muß die Innenanode die Form eines Drahtes annehmen, der möglichst genau in der Achse verspannt werden muß. Ist der Abstand dieses Drahtes von der Rohrwand nicht überall gleich groß, weil sich der Draht verbiegt, so führt dies zu lokalen Überhitzungen. Das genaue Zentrieren eines Drahtes in der Achse ist eine der Hauptschwierigkeiten. Die Zentrierung muß nämlich auch bei

den hohen Temperaturen erhalten bleiben, welche die ganze Anordnung beim Betrieb der Entladung annimmt.

2. Der anodische Draht muß den gleichen Strom aufnehmen wie die kathodische Innenfläche des Rohres. Wenn auch der weitaus größte Teil der umgesetzten elektrischen Energie an die Kathode abgegeben wird, so bleibt doch die Energiestromdichte zur Anode beträchtlich, weil die Drahtoberfläche viel kleiner als die Rohroberfläche ist. Da der Draht die zugeführte Energie fast nur als Strahlung wieder abgeben kann, muß er eine höhere Temperatur als die Rohrwand annehmen. Dies kann leicht zur Überhitzung des Drahtes und zu seiner Beschädigung führen.
3. Die Temperaturverhältnisse im Innern des engen Rohres sind nicht leicht zu beeinflussen und infolgedessen nur schwer zu beherrschen.

In dieser Untersuchung haben wir uns die Aufgabe gesetzt, an einem typischen Modellfall die auftretenden Schwierigkeiten zu erkennen und durch geeignete konstruktive Maßnahmen zu überwinden. Außerdem sollen alle für die Entladung bedeutsamen Einflüsse studiert werden. Natürlich können die Beobachtungsergebnisse am Modell nicht ohne weiteres auf andere Anordnungen übertragen werden, sie geben aber für ähnliche Anordnungen immerhin eine erste Orientierung.

Bei allen Versuchen wurde ein kathodisches Stahlrohr von 650 mm Länge, einem inneren Durchmesser von 5,6 mm und einem äußeren Durchmesser von 14 mm verwandt. Wenn auch nicht beabsichtigt war, die Innenfläche des Rohres in der Entladung zu nitrieren, so wurden doch Entladungsbedingungen untersucht, die denen beim Nitrierprozeß ähnlich sind. Als Versuchsgas wurde also ein Gemisch von $\frac{2}{3}$ Stickstoff und $\frac{1}{3}$ Wasserstoff (Nitriergas) sowie Ammoniak verwendet, daneben auch einige andere einfach zu handhabende Gase. Das Nitriergas kann als Beispiel eines Gasgemisches angesehen werden, welches in der Entladung keine Schwierigkeiten macht. Auch die Temperaturen wurden in den Bereich von 500 bis 600°C gelegt, in welchem die Nitrierung erfolgen kann, weil dieser Temperaturbereich von gewissem praktischen Interesse ist und wie jeder andere Bereich höherer Temperatur genommen werden konnte.

I. Die Konstruktion des Entladungsgefäßes

Soll ein Eisenrohr von den angegebenen Dimensionen (14 mm äußerer Durchmesser) auf eine Temperatur von 500 bis 600°C gebracht und auf ihr gehalten werden, so muß ihm pro cm Länge eine Leistung von 5 - 7 Watt zugeführt