Die Belastbarkeit der Anode einer Feinstfokus-Röntgen-Röhre im Kurzzeit- und Dauerbetrieb

GERD WILLMANN *

Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft Berlin

(Z. Naturforsch. **27 a**, 538—539 [1972]; eingeg. am 2. Novmber 1971)

The Permitted Load of an X-ray Tube with a Micro Focus (Continuous Loads and Loads of Short Duration)

Based on the solution of the equation of heat conduction the permitted load of an X-ray tube with a micro focus is given as a function of the physical properties and thickness of the anode, the width of the focus, and the duration of the load. The results are shown in two figures and one table.

Mit der Zwischenanode der von HOSEMANN [1] und BEITZ [2] entwickelten Feinstfokus-Röntgen-Röhre läßt sich nicht nur ein Strichbrennfleck mit minimal 50 μ Breite erzeugen, sondern auch der Elektronenstrom (d. h. die Erzeugung der Röntgen-Strahlen) pulsen. In der vorliegenden Arbeit soll durch Lösung der Wärmeleitungsgleichung

$$\frac{\partial T}{\partial t'} = a^2 \left\{ \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right\} T(\mathbf{r}, t') \qquad (1)$$

abgeschätzt werden, welche Belastung für die wassergekühlte Anode insbesondere im Millisekundenbereich zulässig ist. (Hierbei sind $a^2 = k/c$, k die Wärmeleitfähigkeit und c die spezifische Wärme des Anodenmaterials.)

Für die Rechnung wird die Anaode als unendlich große Scheibe der Dicke d angenommen. Die Belastung findet in der Ebene $z=0$ statt, in der sich eine flächenhafte Wärmequelle mit der spezifischen Belastung $W(x, y, t')$ (Leistung pro Flächeneinheit) befindet. In der Ebene $z=d$ befindet sich die wassergekühlte Rückseite der Anode. Die Anfangs- bzw. Randbedingungen sind

$$T = 0 \quad \text{für} \quad t' < 0\,, \qquad (2)$$

$$\partial T/\partial z = -W/k \quad \text{für} \quad z = 0 \quad \text{und} \qquad (3)$$

im Bereich des Brennflecks, sonst 0.

$$T = 0 \quad \text{für} \quad z = d\,. \qquad (4)$$

Zur Lösung des Problems dient ein mathematisches Modell von OOSTERKAMP [3], das in einem unendlich großen Raum auf den Ebenen $z = 2\,n\,d$ mit geradem n Wärmequellen mit $+2\,W$ und auf den Ebenen $z = 2\,n\,d$ mit ungeradem n Senken mit $-2\,W$ verlangt. Aus Symmetriegründen bilden sich bei $z = n\,d$ mit ungeradem n Ebenen konstanter Temperatur aus. Unser Problem ist im Bereich $0 \leqq z \leqq d$ in diesem Modell enthalten. Die Temperatur ergibt sich dann zu

$$T(\mathbf{r}, t') = 2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-1)^n \{ W(x, y, t') * \delta(z - 2\,n\,d) \} * T_{\mathrm{p}}(r, t'). \qquad (5)$$

Hierbei sind δ die Diracsche δ-Funktion, T_{p} die Ausbreitungsfunktion für eine Punktwärme, und als Faltung ist definiert $\int \mathrm{d}y\, F(y)\, G(x-y) = F(x) * G(x)$.

Für eine flächenhafte spezifische Belastung wurde gewählt [2, 4]

$$W(x, y, t') = W_0 \exp\{-x^2 \ln 2/b^2\}\, \Phi(y)\, \Theta(t'). \qquad (6)$$

Hierbei sind

$$\Phi(y) = \begin{cases} 1 & \text{für} \quad |y| \leqq l/2\,, \\ 0 & \text{sonst;} \end{cases}$$

$$\Theta(t') = \begin{cases} 1 & \text{für} \quad 0 \leqq t' \leqq t\,, \\ 0 & \text{sonst;} \end{cases}$$

l die Fokuslänge, $2\,b$ die Halbwertsbreite und t die Belastungszeit des Brennflecks.

Von Interesse ist nur die maximal entstehende Temperatur; so ergibt sich für $\mathbf{r} = \mathbf{0}$ und $t' = t$

$$T(0, t) = \frac{1}{4\,k\,a\,\pi^{3/2}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-1)^n \int_0^t \mathrm{d}\tau \int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{d}\xi \int_{-l/2}^{+l/2} \mathrm{d}\eta \; \frac{W_0}{\tau^{3/2}} \exp\{\Psi\} \qquad (7)$$

mit $\Psi = -\xi^2 \ln 2/b^2 - 1/(4\,a^2\,\tau)\,\{\xi^2 + \eta^2 + (2\,n\,n)^2\}$. (Hierbei kann die Integration über ξ ausgeführt werden.)

Man kann der numerischen Auswertung der Lösung entnehmen (vgl. Abb. 1, 2), daß T/W_0 eine mit der Anodendicke monoton steigende Funktion ist, daß für Zeiten kleiner als 0,001 sec die Dicke keinen Einfluß auf T/W_0 hat (d. h. $d = \infty$), daß für $t > 0{,}1$ sec T/W_0 zeitunabhängig ist und daß T/W_0 eine mit der Fokusbreite monoton steigende Funktion ist.

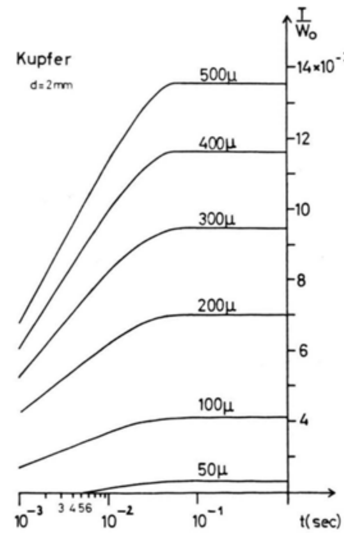

Abb. 1. Der Quotient T/W_0 in Abhängigkeit von der Belastungszeit und von der Fokusbreite.

Sonderdruckanforderungen an Dr. G. WILLMANN, Abt. Prof. Dr. R. Hosemann, Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft, *D-1000 Berlin 33*, Faraday-Weg 4—6.

* Diese Arbeit entstand im Labor von Prof. Dr. R. HOSEMANN.

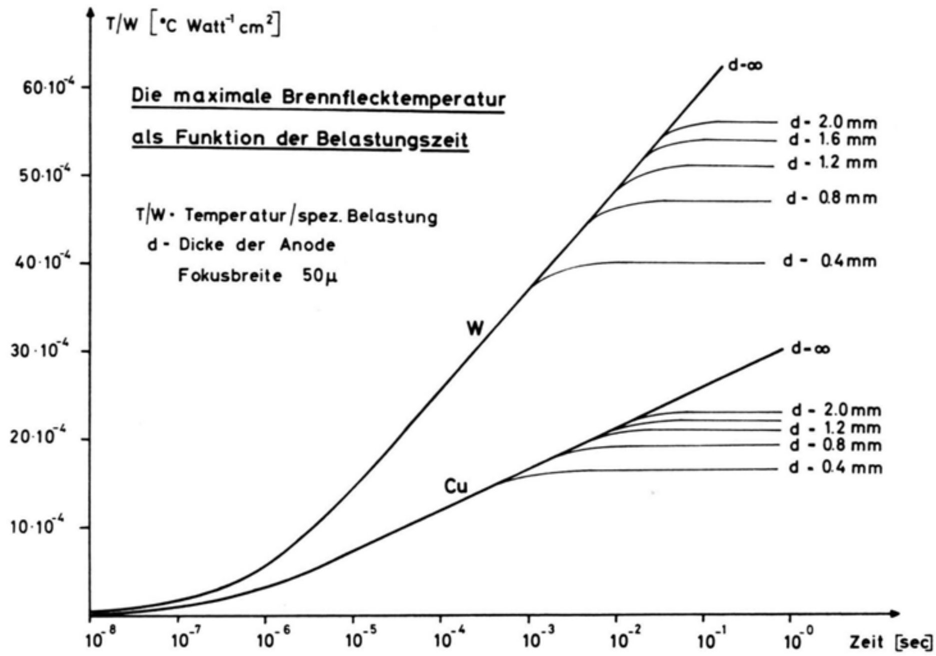

Abb. 2. Der Quotient T/W_0 in Abhängigkeit von der Zeit für verschiedene Anodendicken und die Anodenmaterialien Wolfram und Kupfer.

Tabelle 1 zeigt die bei einer Kupferanode zulässigen Anodenströme, wenn man für die Anodenspannung 50 kV, für die maximal zulässige Temperatur auf der Anode 300 °C und für die Fokusbreite 50 μ bzw. 400 μ (Werte in Klammern) setzt; $l=8$ mm.

Ich danke Herrn Prof. Dr. HOSEMANN für die Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit. Herrn Dipl.-Phys. B. STEFFEN danke ich für die vielen wertvollen Diskussionen.

Tab. 1.

Zeit [sec]	Anodenstrom in mA für			
	$d=0{,}5$ mm	$d=1{,}0$ mm	$d=1{,}5$ mm	$d=2{,}0$ mm
0,01	12,8 (26,0)	11,0 (19,7)	10,5 (18,2)	10,4 (18,0)
0,04	12,8 (26,0)	10,9 (19,4)	10,0 (16,9)	9,6 (15,6)
0,10	12,8 (26,0)	10,9 (19,4)	10,0 (16,8)	9,6 (15,4)

[1] R. HOSEMANN, Z. Angew. Phys. **7**, 532 [1955].
[2] L. BEITZ, Dissertation, Freie Universität Berlin 1967.
[3] W. J. OOSTERKAMP, Philips Res. Rep. **3**, 49, 303 [1948].
[4] F. PIPER, Diplomarbeit, Freie Universität Berlin 1966.