

受电子束辐照的硬铝靶的喷射冲量 耦合系数随能通量的变化规律

彭常贤 谭红梅 胡泽根 林鹏 刘晋

(西北核技术研究所 西安 710024)

摘要 采用通光式传感法和直接测量特定时间间隔的探头原理,在“闪光2号”装置上进行了电子束辐照硬铝靶产生的喷射冲量耦合系数与能通量关系的研究。结果表明:在能通量为 $115\sim 240\text{J}/\text{cm}^2$ 范围内,喷射冲量和亏损质量面密度都随能通量近似线性变化,而喷射冲量耦合系数随能通量增大而缓慢递增,并趋于一渐近值;硬铝产生喷射冲量的能通量阈值为 $40\text{J}/\text{cm}^2$ 左右;喷射冲量值为 $81\sim 218\text{Pa}\cdot\text{s}$,亏损质量面密度为 $3.1\times 10^{-2}\sim 8.6\times 10^{-2}\text{g}/\text{cm}^2$,喷射冲量耦合系数为 $0.70\sim 0.98\text{Pa}\cdot\text{s}/(\text{J}/\text{cm}^2)$ 。

关键词 电子束 喷射冲量 能通量 结构响应 光测法

中图分类号 O347.3

1 引言

当电子束、X光束和激光束等高能密度粒子束辐照固体靶结构时,尽管它们与靶材相互作用的机理各不相同,但都将在靶前表层内产生能量沉积,而产生瞬间高温高压。如果束的辐照能强度足够高,可使靶材受照部分表层产生熔化和汽化,则在该表层会出现物质喷射现象,由此给靶结构施加一个反冲的喷射冲量。喷射冲量的产生一方面会在靶材内形成一热激波并向里传播,有时可使靶后自由面层裂。靶材中热激波的形成、喷射质量损失和层裂属于材料响应,一般发生在 μs 级时间。另一方面,喷射冲量施加到整个靶结构上,可使其产生应力、应变、弹塑性变形及动屈曲等,这些效应属于结构响应,一般发生在 ms 级时间。材料响应和结构响应一般又称为热-力学效应。

如果束的辐射能强度较低或束的能谱较硬,能量沉积不足以使靶材表层物质汽化和熔化,此时形成一热-力学应力波,此波由幅度和作用时间都相等的一压缩波和一拉伸波组成,因此不会产生喷射冲量。由于拉伸波的存在,有时在靶材前表面也会出现层裂。在这种情况下,靶结构不会产生结构响应。

我们研究的是产生喷射冲量的情况。喷射冲量是结构响应的加载条件,研究喷射冲量对研究结构响应问题具有重要意义。而用电子束来模拟强X光束进行材料响应和结构响应以及喷射冲量的研究,在国防事业中具有很重要的意义。一方面与强X光束相比,电子束具有造价低、工程较简单和工作周期短等优点;另一方面与激光束相比,电子束具有束

斑大和功率大的优点。因此,在近二十多年来,在某些大国和发达国家中,对建造各种电子束装置及利用其开展各种物理研究方面表现出了很大的兴趣。

自80年代以来,我们先后在“晨光号”和“闪光2号”电子束装置上,开展了大量的材料响应和结构响应的研究工作。其中包括材料的层裂和热激波研究以及结构的动态应变、动态位移研究等。在喷射冲量研究方面,在几年前我们曾用电测法在“闪光2号”上成功地进行了测量。我们叙述的是在1995年1月,用一种新的光测技术进行的电子束辐照硬铝平板靶产生的喷射冲量与能通量关系的研究。

2 测量原理

采用通光式传感法和直接测量特定时间间隔的探头原理来测量电子束喷射冲量。其探头原理如图1所示。在平板靶中心安有一个传信杆,在传信杆另一头加工有若干个小孔,在传信杆小孔系部位的两侧安有发光管和光电管,发光管和光电管在各加有一定的偏置电压时,便可分别发光和将接收的光信号转换为电信号。

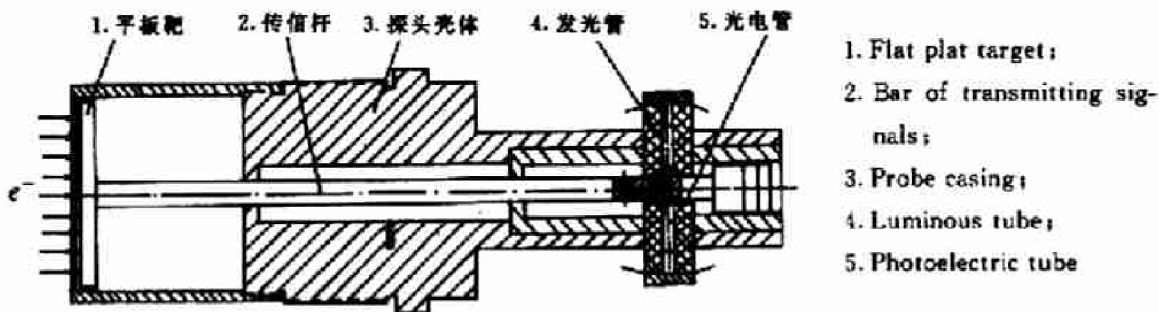


图1 冲量探头原理图

Fig.1 Schematic diagram of the impulse probe

当电子束辐照平板靶所产生的喷射冲量反推靶-传信杆组件而向后运动时,传信杆上的小孔系依次通过光束区,而形成一系列与小孔系相对应的通光-断光交替出现的现象,从而使光电管输出一系列的电脉冲信号。每两小孔之间的距离 L 是相等且已知的,则由输出的脉冲系列可判读出若干个特定时间间隔 Δt_i ,并由此可换算出若干个速度 v_i ,进而便可求得喷射冲量 I

$$v_i = L / \Delta t_i \quad (1)$$

$$I = (m - \Delta m) v_m / A \quad (2)$$

式中: A 为靶受照面积; m 为靶-传信杆组件的原始总质量; Δm 为靶受照面表层喷射掉的质量,即靶受照前后的实测质量之差; v_m 为运动组件的最大速度,一般是第一个实测速度。

平板靶的材料为LY12铝,靶的受照直径为38mm,最大直径为40mm。传信杆上共有

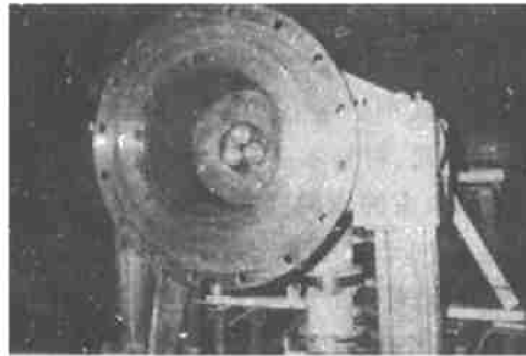


图2 安装在漂移管中的冲量探头(3个)

Fig.2 The three impulse probes installed in drifted tube

六个小孔。实验中冲量探头安装在电子束装置漂移管内的靶支架的前座上,安装板上最多可安装三个探头,即一炮可同时测得三个冲量值。图2为安装在漂移管中的冲量探头组。

冲量测量电路主要由发光电路、光接收电路和匹配电路组成,而三者的直流电源都放在屏蔽测试间内,在电子束装置点火前由手控供电。记录仪器的触发信号由电子束装置提供,触发时间比出束时间滞后大约10ns以内。

此冲量测量系统的优点是:(1)采用通光式传感法,方案简便而抗干扰性强;(2)测量电路简单、稳定、可靠,可直接获得大幅度的信号(9V以上),无需放大电路;(3)直接测量量为时间间隔,而不是幅度,这样不但增强了抗干扰性,而且不需要进行幅度标定。

3 探头物理设计

主要是考虑电子束与材料相互作用机理和束的辐照力学效应等因素,恰当地选择靶厚、靶材及靶-传信杆运动组件的质量和行程等。

3.1 靶厚下限

电子束与靶材物质相互作用机理主要是由于碰撞电离和韧致辐射而损失能量,使得电子在物质中有一定射程。对考虑靶厚下限,一般应由最大能量电子的有效射程来确定,其质量有效射程可按式计算^[1]

$$R_{0e} = G_1 E_0^{(G_2 - G_3 \ln E_0)} \quad (\text{g/cm}^2) \quad (3)$$

式中: E_0 为电子动能,单位为MeV; G_1 、 G_2 、 G_3 为文献[1]给出的拟合常数,与靶的材料有关。对铝,有 $G_1=0.412$, $G_2=1.265$, $G_3=0.0954$ 。而距离有效射程为

$$X_{0e} = R_{0e} / \rho_0 \quad (\text{cm}) \quad (4)$$

式中: ρ_0 为靶材密度。对LY12铝, $\rho_0=2.785\text{g/cm}^3$ 。

对于三个 E_0 值和LY12铝靶材,算得对应的 X_{0e} 如下

E_0/MeV	0.3	0.7	1.0
X_{0e}/mm	0.28	0.93	1.48

所以,对我们所进行的“闪光2号”电子束实验条件和LY12铝靶,一般应取最小靶厚 $h_{\min} \geq 1.5\text{mm}$ 为宜。

3.2 层裂

在喷射冲量和结构响应研究中,一般应避免由于传入的热激波的作用而使靶后自由面出现层裂,对此必须进行合理的设计。假设入射热激波具有如下的形式

$$\sigma_i(t) = \sigma_m(1 - t/\tau) \quad (5)$$

式中: τ 为热激波作用时间。

入射波在靶后自由面反射后形成拉伸波。反射波以与入射波相反的方向在材料中传播。在材料中距后自由面 δ 处,合成的拉伸波峰值为

$$\sigma_T = [2 \sigma_m / c_0 \tau] \delta \quad (6)$$

我们采用动态断裂的累积损伤判据来估算层裂^[2]

$$\int_0^t f(\sigma) dt = K_s, \quad f(\sigma) = \begin{cases} (\sigma_T - \sigma_0)^a & \sigma_T > \sigma_0 \\ 0 & \sigma_T \leq \sigma_0 \end{cases} \quad (7)$$

$$K_s = K_1 K_2 \quad (8)$$

$$K_1 = [(T_s - T)/(T_s - T_0)]^C \quad (9)$$

式中: t_s 为层裂时间; K_s 、 σ_0 、 a 为与材料有关的拟合常数; 文献[2]给出: 对铝, $\sigma_0 = 0.425\text{GPa}$, $a = 2.02$, $K_2 = 3.8 \times 10^{11}\text{Pa}^{2.02}\text{s}$, $T_s = 966\text{K}$ 为铝的熔点, T 为材料波后温度, $T_0 = 293\text{K}$; $C = 0.5$ 为系数, c_0 为材料弹性波速。

当 $\sigma_T \leq \sigma_0$ 时, 不管拉伸应力作用时间多长, 材料也不会层裂, 而 $\sigma_T > \sigma_0$ 时, 也要积累一段时间, 在满足式(7)的积分后才会出现层裂。所以在拉伸波中存在一个起始时间 t_0 (对应的材料厚度为 δ_0), 对于 $t < t_0$, 这一部分拉伸波对引起层裂累积效应不起作用。显然, 当 $t = t_0$ 时, 有 $\sigma_T = \sigma_0$, 将式(6)代入式(7)得

$$\delta_0 = c_0 \tau \sigma_0 / 2\sigma_m \quad (10)$$

$$t_0 = \delta_0 / c_0 = \tau \sigma_0 / 2\sigma_m \quad (11)$$

因此, 式(7)中的积分下限应取为 t_0

$$\int_{t_0}^{t_s} \left(\frac{2\sigma_m \delta}{c_0 \tau} - \sigma_0 \right)^a dt = K_s \quad (12)$$

设对应于 t_s 时刻的材料裂缝处距自由面距离为 δ_s (即首次层裂片厚度), 则式(12)可写为

$$\int_{\delta_0}^{\delta_s} \left(\frac{2\sigma_m \delta}{c_0 \tau} - \sigma_0 \right)^a d\delta = c_0 K_s \quad (13)$$

积分上式可得

$$\delta_s = c_0 \tau \sigma_0 / (2\sigma_m) + \{ (a+1)c_0 K_s [c_0 \tau / (2\sigma_m)]^a \}^{1/(a+1)} \quad (14)$$

根据已知的电子束能谱和时间谱以及靶材的有关物理力学参数, 利用一维应变弹塑性流体力学模型进行数值模拟计算, 可得出热激波应力峰值和作用时间, 便可判断是否会产生层裂, 计算层裂片的厚度、层裂片片数等。根据有关实测和计算结果, 我们取此次的冲量铝靶厚度为 3.5mm , 确保电子不会穿透靶, 也不会靶后自由面产生层裂。但靶也不宜太厚, 以防过分增大靶-传信杆运动组件的质量, 而使探头工作中其运动系统的有关参数失调。由式(1)和(2)可知, 要探头正常工作, 必须使 L 、 Δt 、 I 、 m 和 A 等诸参数有机协调, 也即必须进行优化设计。

4 抗干扰措施

“闪光2号”电子束装置是目前国内束流最强的一台脉冲相对论电子束加速器, 由于其功率大, 在放炮的瞬间产生的干扰也是很强的。主要的干扰源有电磁脉冲干扰、漂移管磁场干扰、电耦合和公共阻抗耦合等。对喷射冲量测量来说, 由于其测量信号较晚(ms级), 在实验中不仅要防止测量系统被干扰信号破坏, 还要防止电子束在探头中产生的早期信号热激波对探头有关部件的破坏。采取的主要抗干扰措施有:

(1)对整个测量系统采取全屏蔽, 以防电磁干扰;(2)对各路测量传输系统采用前端悬浮、后端接地的单端接地方案, 以防止电子束装置出束后引起实验大厅地电位发生变化形成干扰引入测量系统;(3)对测量系统用的电源加隔离变压器和滤波器, 以防从电源处引入干扰;(4)在测量系统的研制中, 尽量提高测量信号的信噪比和分辨力, 如探头传感原理采用通光式, 并采用直接测量时间间隔的方法, 以及尽量提高信号幅度(可达9V多)等;

(5)防止漂移管电磁场对测量系统的影响,测量系统应尽量不采用电磁原理的探头装置和电路中不采用电磁原理的元器件;(6)防止测量系统对漂移管电磁场的干扰,在漂移管内电磁场部位的测量系统不得用铁磁物质,只能用铜、铝、1Cr18Ni9Ti 不锈钢和其他非金属材料,否则会影响电子束的箍缩性能,而严重影响系统的测量精度。

5 测量结果及分析

采用前述研制的喷射冲量测量系统,在“闪光2号”装置上,测量了电子束辐照平板靶产生的喷射冲量。表1列出了9炮喷射冲量测量中的电子束装置本身的性能参数及靶上束斑直径和能通量等参数。表1中: L_0 为靶至阳极距离, V_0 、 I_0 、 E_T 分别为二极管阴阳极间隙电压、二极管电流和总束能, τ_0 为电子束功率半高宽, E_{m0} 为电子最大能量, E_{av} 为电子平均能量, K_E 为电子束机器的能量传输效率系数, D_0 为靶上束斑直径, E_s 为靶上能通量。 E_s 由下式求得

$$E_s = 4K_E E_T / \pi D_0^2 \quad (15)$$

表1 电子束参数

Table 1 Electron beam parameters

Shots No.	L_0 / (cm)	V_0 / (MV)	I_0 / (MA)	τ_0 / (ns)	E_{m0} / (MeV)	E_{av} / (MeV)	E_T / (kJ)	K_E	D_0 / (cm)	E_s / (J/cm ²)
95011	16.5	0.873	0.440	78.1	0.873	0.415	18.9	0.6	10.2	138.8
95018	16.5	1.003	0.442	62.1	1.003	0.827	24.0	0.8	10.1	240.0
95019	16.7	0.959	0.579	65.4	0.959	0.383	19.4	0.8	10.0	197.6
95020	16.5	0.951	0.548	84.2	0.951	0.435	24.3	0.8	10.4	228.9
95021	16.5	0.961	0.636	77.7	0.961	0.401	22.8	0.8	10.2	223.2
95027	16.4	0.816	0.359	76.7	0.816	0.412	16.6	0.8	10.6	150.5
95028	16.5	0.864	0.487	74.3	0.864	0.376	16.2	0.8	10.7	144.1
95029	16.5	0.835	0.458	78.3	0.835	0.387	17.7	0.8	11.4	138.7
95030	23.7	0.805	0.380	73.6	0.805	0.432	15.5	0.8	11.7	115.4

图3为典型的冲量探头实测波形(95028炮)。在漂移管中最多可同时安装3个探头,所以一炮最多可获得三个波形系列。每个波形系列中,前6个正脉冲是电子束喷射冲量所引起的信号,它们对应于传信杆上的6个小孔。第七个(自左至右)及其以后的脉冲是靶-传信杆组件运动到底后反弹运动时引起的。在第1个脉冲前出现的尖窄脉冲是电子束机器给予记录仪器的触发信号到达时引起的干扰。触发信号在机器出束后10ns内产生。在触发干扰信号前面有的波形基线出现的“爬坡”现象是漂移管电磁场引起的。至于各脉冲前、后沿呈现的台阶式变化是由于记录仪器有限点数的数据采集引起的。

表2给出了9炮的喷射冲量、靶亏损质量面密度等实测数据。表2中: m 为靶-传信杆组件总质量; Δm_i 为各靶的亏损质量; Δm 为每炮平均亏损质量; J_m 为每炮的平均靶亏损质量面密度; Δt_n 为每个实测脉冲系列中最小的两脉冲间的时间间隔; v_m 为对应 Δt_n 的速度,也即最大速度; I_i 为每个探头的实测喷射冲量; I 为每炮的平均喷射冲量; β 为每炮的平均喷射冲量耦合系数,即单位能通量所产生的喷射冲量,因此有

$$\beta = I/E_p \quad (16)$$

而 J_m 定义为

$$J_m = \Delta m/A \quad (17)$$

在表 2 中, 95018 炮只有一组数据, 因另两路的探头加电电缆接头接触不良至使该两路无记录信号, 其他八炮每炮均有三组数据。需强调的是, 每个靶的喷射冲量值只有一个, 即冲量值是恒定的, 因此在每个靶的 I_i 值换算中, 应取速度的最大值 v_m (对应的时间间隔应取最小值 Δt_n), Δt_n 和 v_m 一般是对应于第一与第二个脉冲之间的值。从表 2 中还可知, 在同一炮的数据中, 有的三个 Δm_i 数据有一定差异, 并且, 基本上同一炮的 I_i 数据的差异与 Δm_i 数据的差异是对应的, 这可能反映了同一电子束斑内存在的一定程度的不均匀性, 为此在数据处理中, 我们取同炮三(或二)靶的平均值 Δm 和 I 作为最终数据。

图 4 给出了从 95028 炮第一个波形(见图 3)判读出的探头运动组件的实测速度曲线。可以看出, 随着时间的增长, 速度逐渐稍有降低, 这是由于运动摩擦力引起的, 并由此可知, 运动过程中的摩擦力是很小的。况且换算冲量 I 时是取最大速度 v_m , 而 v_m 一般是第一个速度。因此摩擦力对测量的影响是可忽略不计的。

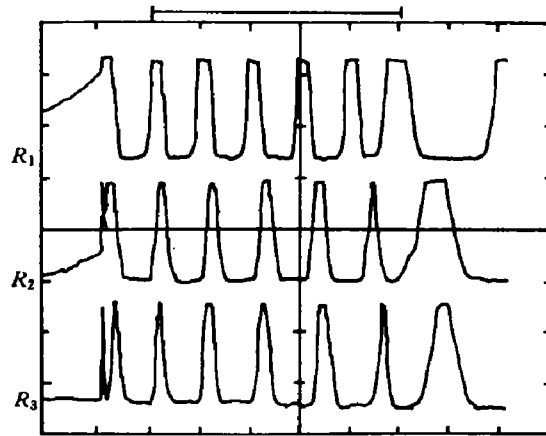
图 5~图 7 分别给出了喷射冲量 I 、亏损质量面密度 J_m 和冲量耦合系数 β 随能通量 E_p 的变化曲线。从此三个图中可得出下列三点:

(1) 在电子束能通量为 $115 \sim 240 \text{ J/cm}^2$ 范围内, 喷射冲量、亏损质量面密度随能通量增大而近似线性地增大, 但冲量耦合系数随能通量增大而呈缓慢指数性增大。

(2) 在电子束能通量为 $115 \sim 240 \text{ J/cm}^2$ 范围内, 对 LY-12 铝平板靶, 喷射冲量为 $81 \sim 218 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 亏损质量面密度为 $3.1 \times 10^{-2} \sim 8.6 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^2$, 冲量耦合系数约为 $0.70 \sim 0.98 \text{ GPa} \cdot \text{s}/(\text{J/cm}^2)$ 。

(3) 在喷射冲量 I 、冲量耦合系数 β 和亏损质量面密度 J_m 与能通量 E_p 的关系曲线中, 在 $I=0$ 、 $\beta=0$ 和 $J_m=0$ 时, 三曲线将与 E_p 坐标轴相交。设其截距为 E_{p0} , 由作图法可知 $E_{p0} \approx 40 \text{ J/cm}^2$ 。

此现象是完全符合物理规律的, 它表明只有当能通量 $E_p \geq E_{p0}$ 时, 也即只有使靶前表层材料出现熔化时, 才会产生靶的质量亏损和喷射冲量。而在 $E_p < E_{p0}$ 时, 质量亏损和喷射冲量都为零。也即对于质量亏损和喷射冲量的产生, 存在一个能通量阈值 E_{p0} 。文献 [3] 指出, 对 6061 铝靶, 电子束实验得出 $E_{p0} \approx 31 \text{ J/cm}^2$ 。文献 [3] 与本文中的 E_{p0} 的差异主要是由于文献 [3] 中的电子平均能量 ($E_{av} = 0.185 \text{ MeV}$) 比本文的要小得多, 以及靶材性能的差异等原因所造成的。



每格: 5.00V 每格 1.00ms

图 3 冲量探头实测波形(95028)

Fig. 3 The measured waveforms of the impulse probes(95028)

表2 冲量测量数据
Table 2 Data of impulse measurements

Shots No.	m /g	Δm_i /g	Δm /g	J_m / $(10^{-2}$ $g \cdot cm^{-2})$	Δt_n /ms	v_m /(m/s)	I_i /(Pa · s)	I /(Pa · s)	β /(Pa · s · $J^{-1}cm^{-2})$
95011	26.153	0.497			0.950	5.05	114.3		
	26.192	0.498	0.488	4.30	0.950	5.05	114.4	111.6	0.804
	26.204	0.469			1.025	4.68	106.2		
95018	26.149	0.974	0.974	8.59	0.490	9.80	217.6	217.6	0.907
	26.142	0.738			0.560	8.57	192.0		
95019	26.186	0.674	0.730	6.44	0.580	8.28	186.3	194.6	0.983
	26.021	0.777			0.520	9.23	205.5		
	26.164	0.852			0.480	10.0	223.2		
95020	26.204	0.776	0.820	7.23	0.540	8.89	199.3	210.9	0.921
	26.174	0.832			0.510	9.41	210.3		
	26.171	0.767			0.480	10.0	224.0		
95021	25.947	0.719	0.770	6.79	0.520	9.23	205.3	215.9	0.967
	26.091	0.823			0.490	9.80	218.4		
	26.154	0.558			0.875	5.49	123.9		
95027	26.161	0.540	0.572	5.04	0.900	5.33	120.4	126.2	0.839
	26.027	0.618			0.800	6.00	134.4		
	26.173	0.498			0.930	5.16	116.8		
95028	26.210	0.477	0.498	4.39	0.960	5.00	113.5	118.2	0.820
	26.077	0.519			0.870	5.52	124.4		
	26.276	0.458			0.880	5.45	124.1		
95029	26.321	0.383	0.437	3.85	1.180	4.07	93.1	105.3	0.759
	26.111	0.471			1.100	4.36	98.6		
	26.345	0.390			1.180	4.07	93.2		
95030	26.291	0.331	0.353	3.11	1.480	3.24	74.2	81.1	0.702
	26.160	0.338			1.440	3.33	75.8		

下面进一步分析 β - E_f 关系曲线的特性。设图 5 中的 I - E_f 关系可用下式描述:

$$E_f = E_{f0} + KI \quad (18)$$

式中: K 为曲线的直线段斜率, 从图 5 可得出: $K \approx 0.96$, 则有

$$I = (E_f - E_{f0})/K \quad (19)$$

则有

$$\beta = I/E_f = (1 - E_{f0}/E_f)/K \quad (20)$$

从式(20)可知: (a) 当 $E_f < E_{f0}$, 得: $\beta < 0$, 无物理意义; (b) $E_f = E_{f0}$, 得: $\beta = 0$; (c) 当 $E_f > E_{f0}$, 得: $\beta > 0$; (d) 当 $E_f \rightarrow \infty$, 得:

$$\lim_{E_f \rightarrow \infty} \beta = \lim_{E_f \rightarrow \infty} [(1/K)(1 - E_{f0}/E_f)] = 1/K = 1.04$$

根据上述数学分析, 可得出如图 7 所示的 β - E_f 曲线形式。可见实验数据点的散布与

分析的曲线形式是吻合得比较好的。

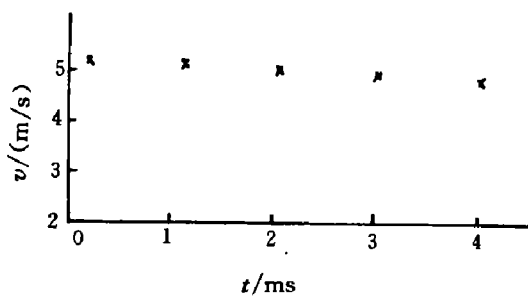


图4 冲量探头实测速度(95028-1)
Fig. 4 The measured velocities of the impulse probe(95028-1)

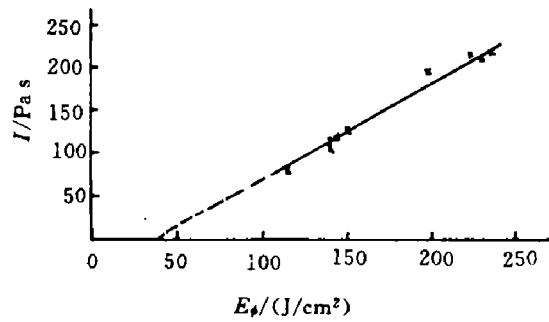


图5 冲量 I 与能通量 E_e 的关系
Fig. 5 Impulses I vs energy fluxes E_e
当然上面是 E_e-I 的关系具有截距为 E_{e0}

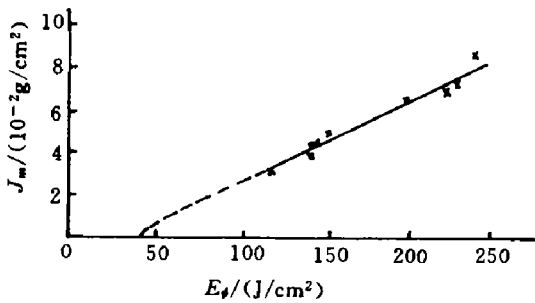


图6 亏损质量面密度 J_m 与能通量 E_e 关系
Fig. 6 The area density of loss mass J_m vs energy fluxes E_e

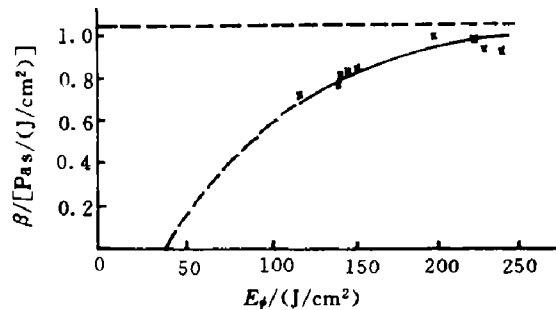


图7 冲量耦合系数 β 与能通量 E_e 的关系
Fig. 7 The coupling coefficient of impulse β vs energy fluxes E_e

的线性关系时,才得出 β 的渐近线 $1/K$ 。如果在能通量 E_e 更高(如 $E_e > 240 \text{ J/cm}^2$)时,也许 E_e-I 不再是线性关系,则渐近线 $1/K$ 在更高的 E_e 段就不再适用了。这将有待进一步的实验验证。

6 结论

(1)在“闪光2号”电子束装置上,采用通光式传感法和直接测量特定时间间隔的探头原理的冲量测量系统,成功地测量了电子束辐照平板靶产生的喷射冲量。

(2)在电子束能通量为 $115 \sim 240 \text{ J/cm}^2$ 范围内,测得了 LY-12 铝平板靶的喷射冲量与能通量的关系以及亏损质量面密度与能通量关系,两者都是近似线性的,而冲量耦合系数与能通量的关系是缓慢指数性递增的。但三根曲线在能通量轴上都有一相同的正截距 E_{e0} ,实验得出 $E_{e0} \approx 40 \text{ J/cm}^2$, E_{e0} 即为材料产生喷射冲量的能通量阈值。

(3)在上述能通量范围内,喷射冲量为 $81 \sim 218 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,亏损质量面密度为 $3.1 \times 10^{-2} \sim 8.6 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^2$,冲量耦合系数为 $0.70 \sim 0.98 \text{ Pa} \cdot \text{s}/(\text{J/cm}^2)$ 。

参加本实验研究的还有杨芳、程桂淦等同志。

感谢本所“闪光 2 号”实验室刘国治、沈志康、刘俊民、彭建昌、任书庆等同志们的大力支持和合作。

参 考 文 献

- 1 Flügge S. Encyclopedia of Physics. 1958. 34
- 2 Larson A R. LA-5619-MS. 1974
- 3 Oswald R B, et al. Dynamic Response of Aluminum to Pulsed Energy Deposition in the Melt-dominated Regime. J Appl Phys, 1973, 44(8):3563

VARIATION OF THE COUPLING COEFFICIENTS OF BLOWOFF IMPULSE VERSUS ENERGY FLUX IN LY-12 ALUMINUM ALLOY TARGETS BOMBARDED BY ELECTRON BEAM

Peng Changxian, Tan Hongmei, Hu Zegen, Lin Peng, Liu Jin

(Northwest Institute of nuclear technology, Xi'an, 710024)

ABSTRACT When a pulsed, high-energy, high-intensity particle beam such as electron beam bombards a solid target, there will often exist melting, vaporizing and mass blowoff phenomena on the front surface, which give it a blowoff impulse load. In the latest years, we studied the relations between the coupling coefficients of blowoff impulse, which were produced in LY12 aluminum alloy target bombarded by electron beam on “FLASH-II” with the light transducing probe and directly measuring the specific time interval. In the range of the energy fluxes from 115 to 240 J/cm², the experimental results show that: 1. The blowoff impulse and the area density of loss mass change approximately linearly with energy flux and the coupling coefficient of blowoff impulse increases slowly with the increase of energy flux up to an asymptotic value. 2. The threshold flux used for producing blowoff impulse in LY-12 aluminum alloy is about 40 J/cm². 3. The value of blowoff impulse is in the range 81 ~ 218 Pa · s, the area density of loss mass is $3.1 \times 10^{-2} \sim 8.6 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^2$, the coupling coefficient of blowoff impulse are 0.70 ~ 0.98 Pa · s / (J/cm²).

KEY WORDS electron beam, blowoff impulse, energy flux, structural response, light-measuring method