

爆炸焊接结合区压力场的 锰铜压力量计测量

王诚洪 孙百连 鲍武臣 张家碧 张学书

摘 要 用锰铜压力量计测得了爆炸焊接结合区的压力场。实验中采用铝板—铝板非对称碰撞, 锰铜压力量计埋设在基板中的不同深度处, 使用两种不同厚度的复板, 所用炸药为泰乳炸药 (密度为 $0.9\text{g}/\text{cm}^3$, 测得的平均爆速为 $3000\text{m}/\text{sec}$)。

一、前 言

对于任何爆炸焊接工作来说, 都希望有结合区压力场方面的数据, 因为压力场直接关系到金属的塑性变形、射流的产生, 同时对结合区的外貌特征和冶金学性质有着非常重要的影响。此外, 它们还直接决定了复合材料的机械性能和结合强度。由于对爆炸焊接的机理、高速碰撞下材料的动态强度以及高温高压下金属流动等重要问题还没有完整的理论, 因此, 目前还不能提出一个精确确定这些数据的方法, 往往靠大量的试验来归纳一些经验, 或根据适当的理论进行计算。在计算中, 一般采用两种模型: 一种按流体斜碰撞的定常模型进行计算; 另一种简化为正面碰撞来计算。显然, 用这些方法得到的结果都是在一些假设条件下取得的, 因而并不能真实地反映实际情况。这样, 实验上直接测量爆炸焊接结合区的压力场就成了人们十分关心的课题。

二、基本原理

爆炸焊接是利用炸药爆轰作为能源, 使金属板 (或管) 发生高速碰撞而焊接的方法。当炸药爆轰后, 爆轰产物形成高压脉冲载荷, 直接作用在复板上, 复板被加速, 在几个微秒时间内, 复板就达到几百米/秒以上的速度, 它从起始端开始, 依次与基板碰撞。当两金属板以一定的角度相碰时产生的很大压力 (约几十万个大气压) 将大大超过金属的动态屈服极限。因而碰撞区产生了高速度的塑性变形, 同时伴随着剧烈的热效应。此时, 碰撞面金属板的物理性质类似于流体。这样, 在两金属板的内表面将形成两股运动方向相反的金属喷射流: 一股是在碰撞点前的自由射流 (或称再进入射流, 简称射流) 向未结合的空间高速喷射, 它冲刷了金属内表面的表面膜, 使金属露出了有活性的清洁表面, 为两块金属板的复合提供了条件。另一股是在碰撞点之后的凸角射流 (有时也称为凝固射流), 它被“凝固”在两金属板之间, 形成两种金属的冶金结合。

三、实验装置和技术

我们采用基板和复板平行安装的方式(图1a),为了提高起爆端的爆炸焊接质量,并为复板运动、变形和碰撞建立比较理想的条件,采用线状发生器起爆。实验中采用泰乳炸药(密度 $0.9\text{g}/\text{cm}^3$,测得的平均爆速为 $3000\text{m}/\text{sec}$),基板和复板采用相同的材料(Ly12铝)。基板尺寸:

$300 \times 100 \times 6\text{mm}$,复板尺寸: $300 \times 100 \times 2.8\text{mm}$ 和 $300 \times 100 \times 3.8\text{mm}$ 。为了测量结合区中基板一侧的压力场,在基板的背面

按照要求开不同深度的槽,在每个槽中以基板的中心线为轴,对称地并排安装两个锰铜压力量计(图1b)。用树脂胶把锰铜压力量计粘结在基板上,再在锰铜压力量计

上粘结一块厚为 6mm 的Ly12铝块,以减弱背后稀疏波的影响。压力波形分别由两台CS-2100示波器记录,照相机为苏制卓尔基-6型。

锰铜压力量计结构示意图如图2所示。它是由滚轧成 0.02mm 厚的锰铜箔(11~13%Mn, 2~3%Ni, 0.5%Si等杂质,余量为铜)制成的。压力量计具有四端结构的形式,这是为了减少由于引线的拉伸而造成引线电阻变化的影响。根据我们的爆炸焊接装置的特殊情况,量计的四条引线不是从两侧引出而是从同一侧引出的。为了绝缘起见,把量计封装在两片聚四氟乙烯薄膜之间,量计组件的总厚度约为 0.3mm ,其电阻约为1欧姆。

由于这里所用炸药的爆速低于铝板中的声速,碰撞所产生的扰动将传到复板和基板的下游并导致板材的变形。因此,为了避免上述影响使得锰铜压力量计在完成压力波形的记录之前就脱从基板上脱落下来,量计距起爆端的距离要恰当地选择。

为了测量所用炸药的爆速,在炸药中埋设了用漆包线制成的电探针。此外,还用锰铜压力量计测量了炸药的爆轰压力。

由于锰铜压力量计是无源元件,所以必须为它提供恒定电流源。此恒流源主要是由充电电容和可控硅开关组成。恒流源和触发器线路示于图3。当触发探针接通后,触发器中的电容 C_1 放电,在电阻 R_0 上产生一触发脉冲,通过变压器的耦合,使得可控硅管3KT开启。于是,电容 C_2 经锰铜压力量计 R_g 放电,这时,在 R_g 上有一近似的恒定电流 I_0 流过。这个线路的特点是简单、可靠、易于调试,而且,触发器所输出的触发脉冲的幅度和宽度可以根据所用的可控硅管进行调节。

测试系统的同步是通过把触发探针放在炸药中的恰当位置来实现的。在要测量的压

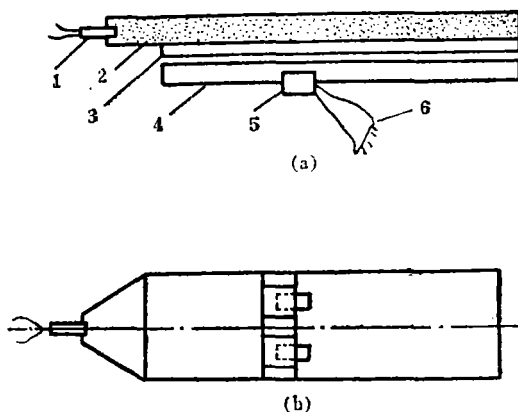


图1 实验装置示意图 (a)

1—雷管 2—炸药 3—复板
4—基板 5—垫块 6—锰铜压力量计
b—俯视图



图2 锰铜压力量计示意图

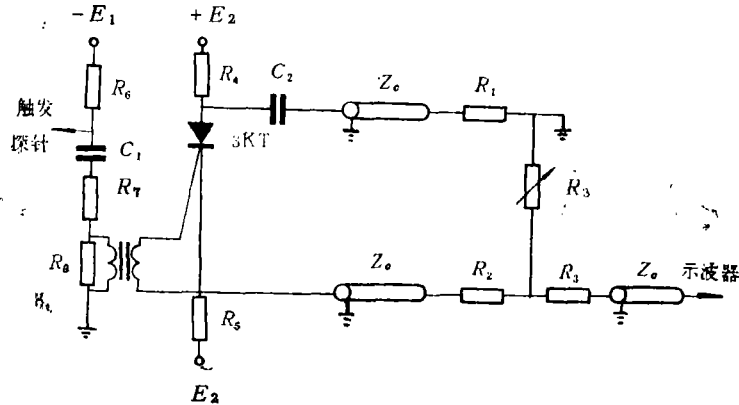


图 3 恒流源和触发器线路

力脉冲到达压力量计前几微秒, 量计通以电流, 量计上的电压通过50欧姆的电缆, 直接显示在示波器上。

示波扫迹表现为: 扫描基线; 与量计初始电阻 R_0 成正比的初始电压台阶 $V_0 = I_0 R_0$; 与量计电阻改变 ΔR 成正比的附加电压台阶 $\Delta V = I_0 \Delta R$ 。于是, 相对电阻改变为: $\Delta R/R_0 = \Delta V/V_0$ 。

在求得相对电阻改变 $\Delta R/R_0$ 后, 就可利用锰铜压力量计的标定曲线^[注]

$$P(10\text{kb}) = 0.24 + 35.70 \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right) + 5.85 \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)^2 - 3.18 \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)^3$$

求出相应的压力峰值。

四、实验结果和讨论

实验中, 对厚度为 3.8mm 的复板, 测量了基板中五个不同的拉格朗日坐标位置的 压力历史。为了比较, 又对厚度为 2.8mm 的复板, 测量了基板中三个不同的拉格朗日 坐标位置的 压力历史。

实验中所测得的压力历史, 不象在凝聚炸药中测得的平面爆轰波压力历史, 以及在 惰性材料中所测得的平面冲击波压力历史那样有陡峭的前沿, 这里的压力历史近似于三 角波 (图 4), 这是与爆炸焊接的物理过程相吻合。随着距交界面的距离的增加, 波形

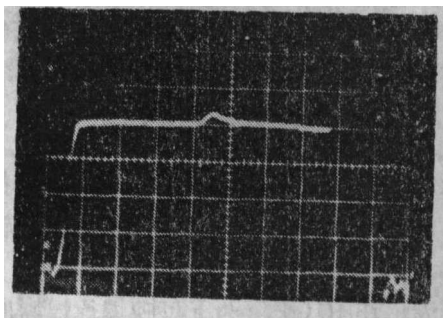


图 4 距交界面1.88mm处的压力历史
(2μs/div, 复板厚2.8mm)

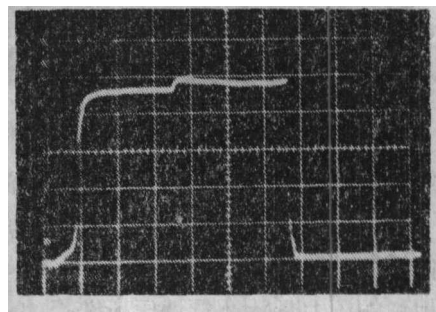


图 5 距交界面2.88mm处的压力历史
(2μs/div, 复板厚2.8mm)

逐渐拉开(图5)。从测得的示波图人们可以看出,越接近碰撞交界面,压力峰值上升得越厉害。在同一拉格朗日位置,对于不同厚度的复板,所测得的压力峰值不一样,复板越厚,压力峰值越大,而且两者的差别随着到交界面的距离的增加而增加(图6)。

除了测量距交界面不同距离处的基板中的压力历史外,我们还试图测量交界面处的压力历史。但是,实验中遇到了困难。这是由于碰撞点前的再入射流向未结合的空间高速喷射,并冲刷了金属内表面的表面膜。如果把锰铜压力量计直接放在基板的内表面,它要受到射流的冲刷。显然,这要严重地影响量计的寿命。因此,在量计的绝缘层较薄的情况下,往往只能测得峰值压力,无法测得整个压力历史

(图7)。在增加绝缘层厚度的情况下(约为0.5mm)的情况下,我们测得了交界面处的整个压力历史(图8),其压力峰值约为10万巴。而根据理论预估,交界面处的压力峰值约为13万巴。实验测得的压力峰值之所以偏低,那是由于量计绝缘层的存在而造成的。由于绝缘层的存在,真正的碰撞表面不在量计所处的位置。另外,由于绝缘层(聚四氟乙烯)的冲击阻抗小于Ly12铝的冲击阻抗,两金属板高速碰撞时,绝缘层起了缓冲作用。因而这时量计测得的压力峰值要比真正的压力峰值低。

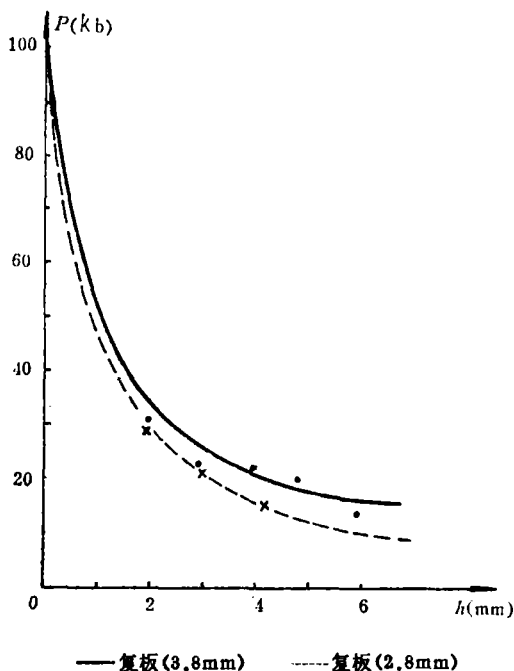


图6 压力峰值与距交界面距离之间的关系

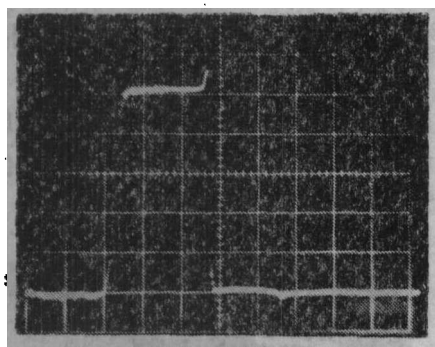


图7 在交界面处的部分压力历史
(2μs/div, 复板厚3.8mm)

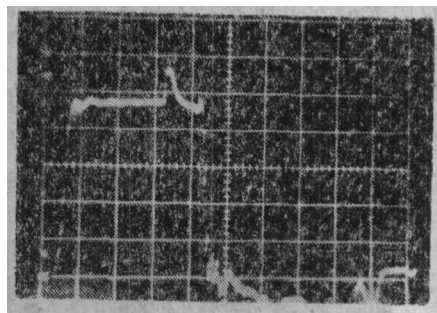


图8 在交界面处的压力历史
(2μs/div, 复板厚3.8mm)

用电探针方法测量爆速所获得的示波图表示在图9上。实验中使用六根电探针,其中第一根电探针输出的脉冲信号被用来触发示波器,使其扫描,其余五根电探针输出的脉冲信号被示波器依次记录下来。

用锰铜压力量计测量爆压所获得的示波图表示在图10上。为了反映爆炸焊接时的爆轰压力的真实面貌,我们所用的炸药试件比较薄,而且是由几块炸药叠在一起组成的,

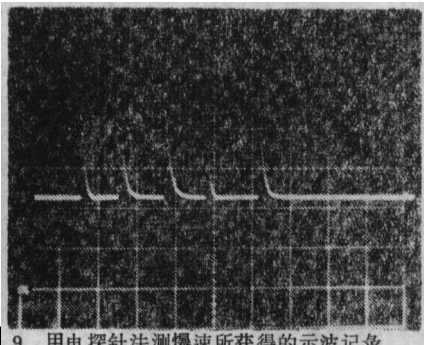


图 9 用电焊法测爆速所获得的示波记录

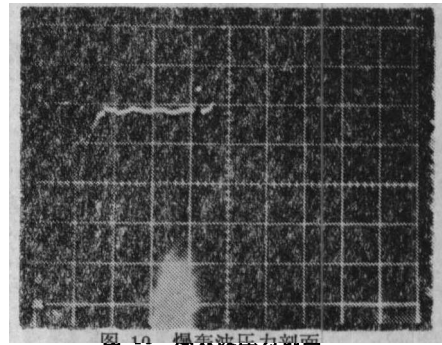
(10 μ s/div)

图 10 爆轰波压力脉冲

(2 μ s/div)

锰铜压力量计直接插入炸药层之间, 这样的实验条件与爆炸焊接时的条件基本一致。从示波图可看出, 爆轰压力脉冲比较窄, 这主要是由于稀疏效应所造成的。

五、结 束 语

薛鸿陆教授为本项研究工作提供了资料, 在此表示衷心地感谢。本文由王诚洪同志执笔整理。

参 考 文 献

- [1] 王诚洪等, 在冲击载荷作用下锰铜压力传感器的压阻特性, 国防科技大学学报, 1985年第1期。

Measurement of Pressure Field of Bonding Region in Explosive Welding with Manganin Pressure Gauge

Wang Chenghong Sun Bailian
Bao Wucheng Zhang Jiabi Zhang Xueshu

Abstract

The pressure field of bonding region in explosive welding has been measured with a manganin pressure gauge. In the experiment, the welding configuration of unsymmetrical collision of aluminium — aluminium plates is adopted. The gauge is buried at different depths, the flyers of two thicknesses are used. The explosive is a mixed one consisted of PETN and foam rubber (density-0.9 g/cm³, measured mean detonation velocity-3000 m/s).