

脉冲激光焊接参数研究

曹明翠 郑启光 孙书华

(华中工学院激光研究所)

提要: 讨论了脉冲激光微型焊接中, 对于激光的脉冲形状、激光脉冲宽度、激光通量密度等的选择, 并给出了实验结果。

Study of parameters in pulsed laser welding

Tsao Mincui · Zheng Qiguang · Sun Shuhua

(Laser Research Institute, Huazhong Institute of Technology)

Abstract: Selection of laser pulse shape, pulse duration, flux density are discussed in pulsed laser microwelding and the experimental results are given.

一、激光波形

激光波形在脉冲激光微型焊接中是一个重要问题, 特别是对于厚度为 0.1 毫米左右的薄片焊接更为重要。因为当激光入射到金属表面时, 金属表面要将 60~98% 的激光能量反射而损耗掉。为了减少这部分能量的损耗, 有的采用在金属表面涂一层对激光吸收率很强的粉末。有的采用在高反射率金属表面复盖一层低反射率的金属薄层。根据我们的大量实验研究, 认为采用适当的激光波形是减少金属表面反射损耗, 避免后期蒸发的一种重要方法。

假定在工件上光斑的功率密度分布为高斯函数:

$$P(r) = P_0 \exp\left(-\frac{r^2}{d^2}\right)$$

式中 P_0 为光斑中心处的功率密度; $d = \frac{W}{\sqrt{2}}$, W 为工件上的光斑半径。激光作用于金属

表面时, 激光被反射而损耗一部分。被金属表面吸收的热通量密度应为:

$$\begin{aligned} H(r) &= (1-R)P_0 \exp\left(-\frac{r^2}{d^2}\right) \\ &= H_0 \exp\left(-\frac{r^2}{d^2}\right) \end{aligned} \quad (1)$$

其中 H_0 为光斑中心在金属表面上产生的热通量密度, $H_0 = (1-R)P_0$; R 为金属表面的反射率, 它随金属表面温度的升高而减少。大部分金属在激光作用的初始时刻反射率为 50~98%。当温度升高到沸点时, 反射率就降低到 20% 左右。故 R 也是温度的函数。

假定光斑处被金属吸收的热通量密度是不变的, 在金属表面光斑中心处温度和热通量密度的关系可对整个脉宽 τ 积分^[1], 得到:

$$H_0 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{2\tau^{1/2}\alpha^{1/2}}{d} = \frac{\pi^{1/2}KT}{d} \quad (2)$$

α 是金属热扩散率。为了使金属表面在接近沸点之内传递能量, 激光参数之间必须满足

收稿日期: 1980年11月10日。

下列关系:

$$H_0 \text{ arc tg } \frac{2\tau^{1/2}\alpha^{1/2}}{d} = \frac{\pi^{1/2}KT_e}{d} \quad (3)$$

考虑焊接时需要光斑能量分布较均匀,要求有适当的离焦量的特点,在实际计算时, H_0 只考虑其平均热通量密度 \bar{H}_0 。在焊接中对于脉宽稍短,光斑稍大,热扩散率稍低的金属,若满足下列条件:

$$\frac{2\tau^{1/2}\alpha^{1/2}}{d} \ll 1,$$

则高斯热源的温度分布模型与均匀热源的温度分布模型基本一致,故公式(3)可按均匀热源的温度分布而简化为:

$$\bar{H}_0^2\tau = \frac{\pi}{4} \frac{K^2T_e^2}{\alpha} \quad \text{式} \quad \bar{H}_0\tau^{1/2} = \frac{\pi^{1/2}}{2} \frac{KT_e}{\alpha^{1/2}} \quad (4)$$

式中 T_e 、 K 、 α 都决定于金属特性和温度。当金属和温度确定后,(4)式右边为常数 C_0 ,从(4)式可见,单次脉冲激光焊接中热通量密度

随脉宽成平方根关系减少。图1为铜在常温下,金属表面维持于沸点之内时,热通量密度随脉宽变化的曲线。

在一个脉冲激光作用时间内,金属表面的温度要从室温升高到接近于沸点,处于固态到液态的瞬时变化中。从表1可以看出,当金属的温度升高时,金属的比热变化是不大的,而热传导率却随着温度的升高而减少,特别是当金属从固态转变为液态时,其热传导率几乎减少了一半。根据公式 $\alpha = K/\rho c$ 可知,液态的热扩散率也几乎为固态的一半左右。即公式(4)中的金属特性因子 C_0 随着焊点处金属表面温度的升高而降低。由于 C_0 与 α 是开方根关系,所以当金属熔化时, C_0 值几乎减少到固态时的0.7倍。因此在脉宽选定后,为了使金属表面控制在沸点之内,热通量密度不应以恒定值输入,而应以衰减波形式输入。表面熔化后输入的热通量密度应为固态时输入之值的0.7倍左右。

激光脉冲作用时间内,金属反射率的变化如图2所示^[2]。其反射率是时间的函数,故由公式(1)可得:

$$H_0(t) = [1 - R(t)] P_0(t) \quad (5)$$

$$P_0(t) = H_0(t) / [1 - R(t)]$$

图2中曲线1和2分别是铜和钢在一个脉冲激光作用时间内相对反射率的变化。激光开始作用的瞬间,反射率很高,当焊点的温度上升到熔点的一段时间内,反射率迅速下降(图中 ab 段)。焊点处于熔化状态,反射率稳定于某一值(图中 bc 段);随着熔化层加厚,

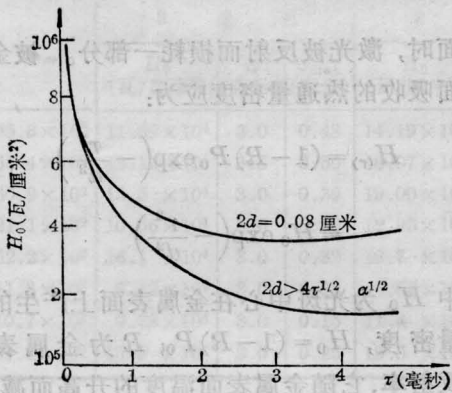


图1 金属铜在室温下热通量密度和脉宽的关系

表 1

金属	固 态		液 态	
	热 传 导 率 (瓦·厘米 ⁻¹ ·度 ⁻¹)	比 热 (卡·克分子 ⁻¹ ·度 ⁻¹)	热 传 导 率 (瓦·厘米 ⁻¹ ·度 ⁻¹)	比 热 (卡·克分子 ⁻¹ ·度 ⁻¹)
铝	2.26 (300°C)	7.61 (627°C)	0.9 (750°C)	7.00 (727°C)
铜	3.8 (300°C)	7.36 (1027°C)	—	7.50 (1127°C)
铅	0.32 (320°C)	7.02 (327°C)	0.16 (350°C)	7.25 (427°C)
锡	0.60 (100°C)	7.57 (227°C)	0.34 (300°C)	7.30 (327°C)
铁	0.15 (300°C)	7.60 (827°C)	—	7.72 (927°C)
锌	1.0 (300°C)	6.79 (327°C)	0.59 (450°C)	7.50 (427°C)

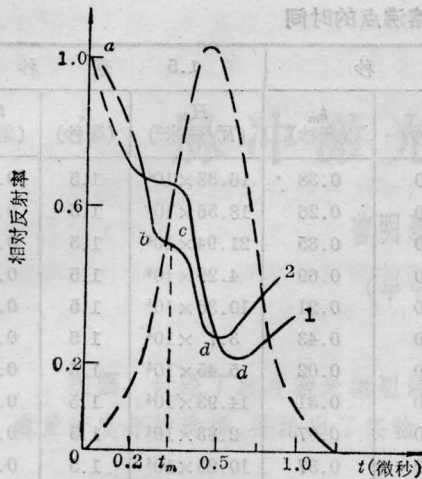


图2 一个激光脉冲讯号过程中金属反射率 R 随时间的变化

表2 金属表面在一个脉冲激光作用时间内绝对反射率的变化

金属 \ 温度	室温	熔点	沸点
铜	95%	62%	19%
钢	60%	30%	14%

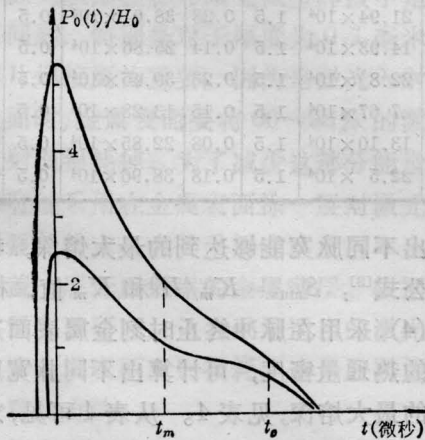


图3 脉冲激光波形

热阻增加, 反射率继续下降; 到金属表面达到沸点时, 反射率迅速下降到 d 点。

金属对 1.06 微米波长的初始时刻的绝对反射率大致可分为两类。铁、合金钢、镍、

钼、钛之类, 反射率大约为 60%。而金、银、铜、铝等反射率高达 95% 以上。根据铜和钢的初始时刻的绝对反射率和图 2 可以粗略地计算出铜和钢表面分别处在室温、熔点、沸点时的绝对反射率, 见表 2。再参照图 2 就可以粗略地绘出铜和钢使表面维持于沸点所需要的激光波形, 见图 3。从图中可见, 对激光具有高反射率的金属如金、银、铜、铝的焊接, 最好采用近似指数形式的衰减波; 而低反射率的金属如钢、铁、镍、钛等, 则采用一般衰减波就可以了。

二、激光脉宽

脉宽是脉冲激光焊接的重要参数之一, 目前的资料对这一参数的估算, 大多是根据所需要的熔深来确定的。如在光斑和熔深比确定的情况下, 估算所需要的最短脉宽。或者用热时间常数来估算脉宽。根据我们的实验研究和对国内外实验资料的分析, 认为上述估算方法对片厚或直径在 0.2 毫米左右的薄片和细丝焊接与实验情况偏离较大。

在不同脉宽下形成熔融焊接的激光参数范围大小, 是可以从下列两关系式出发来进行定性讨论的。

关系式(4)中的脉宽 τ , 实际上就是在热通量密度为 H_0 的作用下, 金属表面到达沸点的时刻, 即:

$$t_e = \frac{\pi}{4} \frac{K^2 T_c^2}{H_0^2 \alpha} \quad (6)$$

在热通量密度为 H_0 的作用下, 金属表面到达熔点 t_m 的时刻, 即:

$$t_m = \frac{\pi}{4} \frac{K^2 T_m^2}{H_0^2 \alpha} \quad (7)$$

表 3 示出了一些金属在不同脉宽和热通量密度作用下, 金属表面到达熔点和沸点的时间。从表 3 可见, 当脉宽为 1.5 毫秒时, 大部分金属的表面约有 1 毫秒时间维持于熔点之间传递能量。而脉宽为 3 毫秒时, 金属

表3 在不同脉宽作用下,到达熔沸点的时间

金属	3 毫 秒			2 毫 秒			1.5 毫 秒		
	H_0 (瓦/厘米 ²)	t_e (毫秒)	t_m (毫秒)	H_0 (瓦/厘米 ²)	t_e (毫秒)	t_m (毫秒)	H_0 (瓦/厘米 ²)	t_e (毫秒)	t_m (毫秒)
银	11.59×10^4	3.0	0.57	14.19×10^4	2.0	0.38	16.38×10^4	1.5	0.34
金	13.12×10^4	3.0	0.38	16.07×10^4	2.0	0.26	18.56×10^4	1.5	0.19
铜	15.51×10^4	3.0	0.52	19.00×10^4	2.0	0.35	21.94×10^4	1.5	0.26
镁	3.03×10^4	3.0	1.04	3.71×10^4	2.0	0.69	4.29×10^4	1.5	0.52
铝	7.33×10^4	3.0	0.31	8.97×10^4	2.0	0.21	10.36×10^4	1.5	0.15
锌	2.62×10^4	3.0	0.64	3.2×10^4	2.0	0.43	3.7×10^4	1.5	0.32
锡	3.85×10^4	3.0	0.03	4.72×10^4	2.0	0.02	5.45×10^4	1.5	0.02
铂	10.56×10^4	3.0	0.46	12.93×10^4	2.0	0.31	14.93×10^4	1.5	0.23
铅	2.00×10^4	3.0	0.11	2.45×10^4	2.0	0.07	2.83×10^4	1.5	0.05
铍	7.25×10^4	3.0	0.56	8.88×10^4	2.0	0.37	10.25×10^4	1.5	0.28
钨	16.1×10^4	3.0	0.90	19.7×10^4	2.0	0.60	22.8×10^4	1.5	0.45
镍	5.42×10^4	3.0	0.85	6.64×10^4	2.0	0.57	7.67×10^4	1.5	0.43
铁	9.33×10^4	3.0	0.93	11.4×10^4	2.0	0.65	13.19×10^4	1.5	0.49
钨	15.9×10^4	3.0	1.00	19.5×10^4	2.0	0.67	22.5×10^4	1.5	0.50
304 不锈钢	3.58×10^4	3.0	0.92	4.38×10^4	2.0	0.61	5.06×10^4	1.5	0.46
可伐合金	3.41×10^4	3.0	0.87	4.18×10^4	2.0	0.58	4.82×10^4	1.5	0.43

表4 不同脉宽的最大熔深

金属	K_m	3 毫 秒			2 毫 秒			1.5 毫 秒			0.5 毫 秒		
		H_0 (瓦/厘米 ²)	t_e (毫秒)	S_{max} (毫米)	H_0 (瓦/厘米 ²)	t_e (毫秒)	S_{max} (毫米)	H_0 (瓦/厘米 ²)	t_e (毫秒)	S_{max} (毫米)	H_0 (瓦/厘米 ²)	t_e (毫秒)	S_{max} (毫米)
银	55.3×10^2	11.59×10^4	3.0	0.48	14.19×10^4	2.0	0.39	16.38×10^4	1.5	0.34	28.38×10^4	0.5	0.20
金	65.4×10^2	13.12×10^4	3.0	0.50	16.07×10^4	2.0	0.41	18.56×10^4	1.5	0.35	32.14×10^4	0.5	0.20
铜	60.9×10^2	15.5×10^4	3.0	0.39	19.00×10^4	2.0	0.32	21.94×10^4	1.5	0.28	38.0×10^4	0.5	0.16
铂	21.1×10^2	10.56×10^4	3.0	0.20	12.93×10^4	2.0	0.16	14.93×10^4	1.5	0.14	25.86×10^4	0.5	0.08
钨	52.2×10^2	16.1×10^4	3.0	0.32	19.7×10^4	2.0	0.27	22.8×10^4	1.5	0.23	39.45×10^4	0.5	0.13
镍	11.8×10^2	5.42×10^4	3.0	0.22	6.64×10^4	2.0	0.18	7.67×10^4	1.5	0.15	13.28×10^4	0.5	0.08
铁	10.7×10^2	9.33×10^4	3.0	0.15	11.4×10^4	2.0	0.10	13.10×10^4	1.5	0.08	22.85×10^4	0.5	0.05
钨	39.4×10^2	15.9×10^4	3.0	0.25	19.5×10^4	2.0	0.20	22.5×10^4	1.5	0.18	38.96×10^4	0.5	0.10

表面则有 2.5 毫秒时间维持于熔沸点之间传递能量。在合理采用脉冲激光波形的情况下,对同一种金属来说,焊好同样厚度的薄片,脉宽短,所需要的热通量密度高,激光参数的可焊范围窄。适当增长脉宽,所需要的热通量密度低,金属表面维持于熔沸点时间长,激光参数变化的容许范围就大。但也不宜将脉宽拉得太长。因为增加脉宽,焊点的热影响区就会增加,焊接的热效率就会大大降低。这对焊接是不利的。

脉宽也是决定于熔深的重要参数。为了

估算出不同脉宽能够达到的最大熔深,我们引用公式^[3]: $S_{max} = K_m/H$ 和 K_m 值,根据公式(4),采用在脉冲终止时刻金属表面达到沸点的热通量密度,可计算出不同脉宽所能到达的最大熔深,见表4。从表4可见,对厚度在 0.1 毫米左右的薄片焊接,大部分金属采用 0.5 毫秒就可以达到了。但此时,激光参数范围太窄,激光输出参数(如能量、发散角)稍有不稳定,焊接质量就不能稳定。所以,这类薄片焊接或熔深为 0.12 的密封焊接,根据我们的实验研究,脉宽拉长到 1.5~3 毫

秒,这时激光参数的可焊范围显著加宽。只要将激光输出参数稳定在一定范围内,都可以形成牢固稳定的焊接。

我们认为脉宽的选择可按以下三个原则来确定。(1)熔深需要在0.1毫米以下,对热影响有严格要求的微型焊接,脉宽主要由热影响区(或热损伤区)来确定。即在热影响区(或热损伤区)所允许的情况下,脉宽适当拉长一些为好;(2)熔深需要在0.1~0.2毫米范围对焊点仅有强度要求,对热影响区无严格要求的一类焊接,这时大部分金属脉宽选择在1.5~3毫秒都可以满足要求。此类焊接脉宽的选取主要决定于形成牢固熔融焊接的可焊参数范围;(3)熔深要求大于0.3毫米的焊接,脉宽主要决定于熔深。或者采用让金属表面有较多蒸发的焊接方式,这已超出本篇的讨论范围。

三、热通量密度

热通量密度对不同金属除与材料的气化热、熔化热和热扩散率等有关外,还取决于激光波形及脉宽。下面分三个方面进行论述。

1. 脉冲激光微焊中的热通量密度范围

这个问题可通过金属表面在一个激光脉冲作用时间内,温度变化的瞬态过程来进行分析。从表5可看出,当热通量密度为 10^4 瓦/厘米²时,绝大部分金属表面开始达到熔点时刻都大于9毫秒。而一般激光焊接的脉宽都在1~6毫秒左右,所以达不到焊接目的。故脉冲激光焊接所需要的热通量密度一般应大于 10^4 瓦/厘米²。若以 2×10^6 瓦/厘米²的热通量密度进入金属表面,则大部分金属表面达到沸点的时间都小于20微秒。即焊点几乎在整个脉宽时间都维持于沸点。若激光波形不足以使金属表面维持于沸点,则焊点处金属大部分都气化了。故脉冲激光微型焊接所需要的热通量密度大致选在 $10^4 \sim$

2×10^6 瓦/厘米²范围内。对于熔深大于0.6毫米以上的焊接,为了加深熔池,金属表面可容许有较多气化。热通量密度需要稍高一些。

2. 片厚小于0.1毫米薄箔的最大热通量密度

由于箔很薄,金属表面产生少许气化,都会使焊点气化成孔。所以各种脉宽所选取的热通量密度,不应该超过脉宽 τ 的终止时刻使金属表面达到沸点的热通量密度。由于脉冲激光器件输出的低阶模或基模的光强均可以看作或近似看作高斯分布,因而这一最大的热通量密度可用高斯热源的公式来计算。表6为光斑直径 $2d=0.2$ 毫米时不同脉宽所对应的最大热通量密度。

3. 片厚在0.1~0.3毫米薄片的热通量密度

对于片厚在0.1~0.3毫米范围焊接或片厚大于0.2毫米而熔深在0.15毫米左右的齐缝焊接中。由于金属的熔化热和气化热比较大,要焊好某一厚度的薄片,可以选择不同的脉宽,每一确定的脉宽对应的热通量密度都有一定的可焊范围。但是工艺上常常需要对不同的脉宽所对应的热通量密度进行估算和调整。根据我们大量实验研究,此类焊接的金属表面,在激光脉冲作用的后期,在不产生飞溅的情况下,常常允许有一微量气化。这微量气化由蒸气柱的高低来直观判断。金属表面气化量很少,蒸气柱很低,并不影响焊点的表面成型,而且常常是良好的熔融焊接。对0.2毫米的熔深,大部分金属的热时间常数都在0.5毫秒之内。所以脉宽为 τ ,则应以 $(\tau-0.5)$ 毫秒时刻使表面达到沸点比较合适,并以此来估算不同脉宽所对应的热通量密度。若将开始达到沸点的时刻再往前推,都无助于熔深的增加,反而增加了后期蒸发的可能性,这对微型焊接是不利的。表7为光斑直径 $2d=0.8$ 毫米时,不同脉宽所对应的热通量密度 H_0 。

表5 在不同功率密度的脉冲激光作用下,表面熔沸点的时间

金属	沸点 (°C)	熔点 (°C)	K (卡·厘米 ⁻¹ · 秒 ⁻¹ ·度 ⁻¹)	α (厘米 ² /秒)	10 ⁴ 瓦/厘米 ²		10 ⁵ 瓦/厘米 ²		2×10 ⁶ 瓦/厘米 ²
					t_g (毫秒)	t_m (毫秒)	t_g (毫秒)	t_m (毫秒)	t_g (微秒)
银	2210	960.5	1.0	1.71		76	4.03	0.76	10.1
金	2970	1063	0.7	1.18		66	5.16	0.66	12.9
铜	2595	1083	0.93	1.14		125.9	7.22	1.26	18.1
镁	1107	651	0.38	0.91	28	9.5	0.28	0.095	0.69
铝	2060	660.2	0.48	0.86		16.6	1.61	0.165	4.03
锌	906	419.4	0.27	0.41	20.45	4.39	0.21	0.041	0.51
锡	2270	231	0.15	0.38	44.5	0.46	0.41	0.005	1.11
铂	4530	1769	0.17	0.25		51	3.34	0.51	8.36
铅	1740	327.4	0.084	0.25	12.1	0.43	0.12	0.004	0.3
铍	2968	1285	0.23	0.42		29.5	1.60	0.30	3.94
钼	4800	2622	0.35	0.51		232.7	7.78	2.33	19.45
镍	2730	1455	0.142	0.24		25.1	0.88	0.25	2.21
铁	2700	1539	0.23	0.21		84.9	2.61	0.85	6.53
钨	5900	3410	0.31	0.62		254	7.59	2.54	18.98
304 不锈钢	2700	1500	0.0389	0.041	38.4	11.80	0.38	0.12	0.96
可伐合金	2700	1450	0.039	0.0459	34.9	10.10	0.35	0.1	0.87

表6 光斑直径为0.2毫米,薄箔厚度小于0.1毫米时,不同脉宽所对应的最大热通量密度

金属	1 毫 秒		2 毫 秒		3 毫 秒	
	t_g (毫秒)	H_{max}	t_g (毫秒)	H_{max}	t_g (毫秒)	H_{max}
银	1.0	11.34×10 ⁵	2.0	11.10×10 ⁵	3.0	10.95×10 ⁵
金	1.0	10.80×10 ⁵	2.0	10.54×10 ⁵	3.0	10.44×10 ⁵
铜	1.0	12.55×10 ⁵	2.0	12.25×10 ⁵	3.0	12.14×10 ⁵
铝	1.0	5.22×10 ⁵	2.0	5.03×10 ⁵	3.0	4.96×10 ⁵
铂	1.0	4.47×10 ⁵	2.0	4.24×10 ⁵	3.0	4.07×10 ⁵
铍	1.0	3.79×10 ⁵	2.0	3.65×10 ⁵	3.0	3.56×10 ⁵
钼	1.0	9.18×10 ⁵	2.0	8.83×10 ⁵	3.0	8.61×10 ⁵
镍	1.0	2.31×10 ⁵	2.0	2.16×10 ⁵	3.0	2.10×10 ⁵
铁	1.0	3.74×10 ⁵	2.0	3.49×10 ⁵	3.0	3.36×10 ⁵
钨	1.0	9.84×10 ⁵	2.0	9.49×10 ⁵	3.0	9.36×10 ⁵
304 不锈钢	1.0	8.42×10 ⁴	2.0	7.18×10 ⁴	3.0	6.71×10 ⁴
可伐合金	1.0	8.78×10 ⁴	2.0	7.51×10 ⁴	3.0	6.94×10 ⁴

表7 光斑直径为0.8毫米,薄片厚度为0.1~0.3毫米时不同脉宽所对应的热通量密度

金属	2 毫 秒		3 毫 秒		4 毫 秒	
	t_0 (毫秒)	H (瓦/厘米 ²)	t_0 (毫秒)	H (瓦/厘米 ²)	t_0 (毫秒)	H (瓦/厘米 ²)
银	1.5	3.46×10^5	2.5	3.22×10^5	3.5	3.14×10^5
金	1.5	3.40×10^5	2.5	3.16×10^5	3.5	3.04×10^5
铜	1.5	4.02×10^5	2.5	3.67×10^5	3.5	3.56×10^5
铝	1.5	1.72×10^5	2.5	1.56×10^5	3.5	1.49×10^5
铂	1.5	1.85×10^5	2.5	1.60×10^5	3.5	1.45×10^5
铍	1.5	1.43×10^5	2.5	1.26×10^5	3.5	1.18×10^5
钼	1.5	3.31×10^5	2.5	2.93×10^5	3.5	2.79×10^5
镍	1.5	9.65×10^4	2.5	8.14×10^4	3.5	7.55×10^4
铁	1.5	1.58×10^5	2.5	1.36×10^5	3.5	1.23×10^5
钨	1.5	3.41×10^5	2.5	3.09×10^5	3.5	2.90×10^5
304 不锈钢	1.5	5.21×10^4	2.5	4.07×10^4	3.5	3.54×10^4
可伐合金	1.5	5.29×10^4	2.5	4.15×10^4	3.5	3.63×10^4

上面的热通量密度,在工艺上常常要换算成激光功率密度,此时可用公式 $P = H / (1 - R)$ 来估算。由于金属表面在激光作用时间内的绝大部分时间都维持熔点,故 R 值应取熔化状态时的反射率。

四、理论值与实验参数的比较

1. 薄片之间的焊接

薄片之间的焊接的激光波形决定于上片金属的光学性质。激光脉宽和功率密度一般来说主要决定于上片的厚度和热学性质。然而对上片厚度为0.2毫米以下的薄片焊接中,脉宽的选择主要决定于热影响区和参数的可焊范围。

集成电路内引线焊接是厚度为50微米、宽为120微米的铝箔与集成电路管芯电极的焊接。电极是一层厚度为2微米,面积为100微米×100微米的铝膜,要求管芯参数不因激光焊接而受任何影响,属于热影响区要求极严格的热敏元件焊接,见图4。因为焊片是铝,对1.06微米激光的初始反射率为98%左右。经过大量实验研究,激光波形选定为近似于指数形式的衰减波。脉宽为1.1

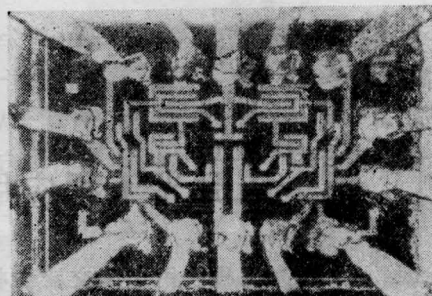


图4 集成电路内引线焊接

~1.5毫秒,能量为0.15~0.2焦耳时,采用小孔选模方式得到基模或低阶模,平均功率密度为 1.2×10^6 瓦/厘米²,理论上最大激光功率密度为 1.3×10^6 瓦/厘米²,此时对中速与非门焊接取得了较好的效果。

集成电路外引线焊接,是将厚度为0.05毫米,宽为0.5毫米的铝箔和厚度为0.3毫米的磷青铜框架焊接,见图5。要求焊点为

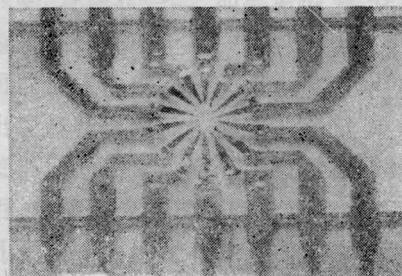


图5 集成电路外引线焊接

欧姆接触, 拉力强度为 50 克左右。实验脉宽取 2 毫秒, 能量在 0.3~0.5 焦耳都可以进行有效焊接, 平均激光功率密度估算为 2×10^5 瓦/厘米², 而理论上最大激光功率密度约为 4.25×10^5 瓦/厘米²。

2. 密封焊接

有一类如集成电路块、微型继电器和需要磁屏蔽的一些器件以及航空仪表中的一些器件等需要密封焊接。有的气密性要求在 10^{-9} cc/s 漏气率。此类焊接其结构形式大多为对缝焊接, 激光脉冲以单点重叠方式进行。光斑重叠度为 $2/3 \sim 1/2$ 左右。焊接的主要指标是密封性好, 一般熔深在 0.1~0.2 毫米都

能得到很好的效果。此类焊接, 对大多数金属来说 1~3 毫秒都可以满足要求, 但为了焊接的稳定可靠, 适当增加激光参数的可焊范围, 脉宽选择在 3 毫秒左右。

参 考 文 献

- [1] John F. Ready; Effects of high-power laser radiation, Ch. 3, p 84, New York London 1971.
- [2] A. M. Бонч-Бруевич и др.; ЖТФ, 1968, 38, 851.
- [3] W. C. Thurber; Laser welding theory status and prospects-Record of the 11th symposium on electron ion and laser beam technology boulder colorado 12-14, p 665, May 1971.

简 讯

第一届激光工程应用学术交流会将在成都召开

全国第一届激光工程应用学术交流会将于 1981 年 10 月下旬在成都召开。这次会议是根据 1980 年在南京召开的中国光学学会激光专业委员会决定、并经中国光学学会审核批准的。激光工程应用在我国已有近廿年的历史, 目前我国有许多单位从事各种激光工程应用, 在激光测距、激光通讯、强激光技术、激光受控核聚变、激光信息处理等以及它们有关的新材料和元、器件等各方面, 都进行了大

量工作, 有的项目具有较高的水平。召开这样一次学术交流会, 必然会大大地促进激光工程项目的发展, 提高技术和基础的水平。为使这次会议开好, 除特邀代表作专题报告外, 广泛征稿。此外, 会议期间, 还同时举办激光工程应用成果产品展览会, 邀请各有关单位参加。这次会议的东道主是成都西南技术物理所。

(乙民)