

脉冲激光焊接熔池中的缺陷

曹明翠

(华中工学院激光研究所)

提要: 本文初步探讨了脉冲激光焊接中,焊点熔池出现的一些熔合不良的缺陷,分析了缺陷产生的原因,并研究了可能避免缺陷产生的方法。

The defects in melting pool of the pulsed laser welding

Cao Mingcui

(Huachong Institute of Technology)

Abstract: This paper mainly studies some defect which were found in melting pool of welding point in the pulsed laser welding, analyses the reasons causing the defects, and discusses methods to eliminate the defects.

引言

对于焊接而言,对其焊点和焊缝都有强度的要求,即焊点或焊缝熔合是否良好,且尽可能不存在有裂纹、气孔和机械混合物等缺陷。脉冲激光焊接是以毫秒量级的高强度脉冲激光束作为热源,作用于被焊接的金属工件表面,使焊区局部熔化而成焊点或焊缝。因此,激光用于焊接,探讨焊点或焊缝中存在的缺陷,研究缺陷产生的原因和消除的方法,提高焊接水平是很重要的,本文对此进行了初步的探讨。

一、焊接熔池中的缺陷观察

在激光功率密度、波形和脉宽调整适当的情况下,焊点表面一般是中心略为凹下,相邻外周略凸起的圆形表面,见图1。这是由

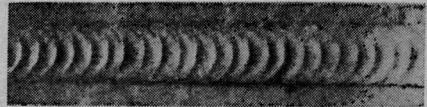


图1 不锈钢脉冲激光缝焊外形

于熔池表面温度达到沸点,金属气化产生的蒸气膨胀反作用于表面和熔池凝固时,表面收缩的结果。但若激光功率密度调整不当,或两种材料可焊性较差,或焊道上存在有潜伏应力等原因,则焊道上会产生裂纹和气孔等缺陷。

1. 裂纹

在对可伐合金和黄铜的密封性缝焊中,观察到了许多形状的裂纹,见图2~7所示。

2. 气孔

在白铸铁对可伐合金、可伐合金对可伐合金、可伐合金对黄铜等密封性缝焊中,当脉冲重复频率在5次/秒以上时,若作用于金属

收稿日期:1980年10月4日。



图2 纵向裂纹,平行于焊缝

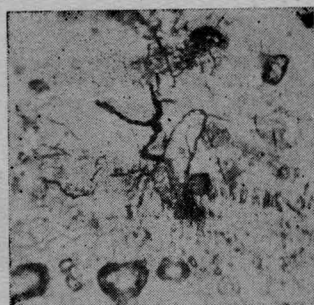


图6 不规则裂纹,周围有颜色变化



图3 星状裂纹,起源于光斑中心,类似于火口裂纹



图7 铬镍钛铝合金钢细管端部密封性缝焊中,熔池横截面上离熔池表面0.22毫米处的裂纹。裂纹从原焊缝开始伸向熔池的热影响区



图4 纵横向裂纹,起于光斑中心



图8 可伐合金对黄铜的密封性缝焊中,气孔在熔池凝固时逸出表面时的痕迹。

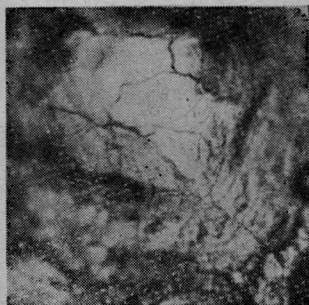


图5 龟裂,熔池表面上的裂纹很细成龟形裂纹,周围无颜色变化



图9 熔池表面上的气孔,周围带有裂纹

表面上的激光功率密度调整偏大时，在缝焊过程中，可以直接观察到熔池表面有大量气泡往外冒。图 8~10 均为气孔的情况。

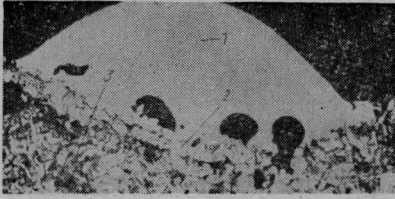


图 10 灰口铸铁中焊点熔池内的气泡[□]。气泡处于熔池前沿向材料深处移动时形成的情况
1—熔化区 2—热影响区 3—开始结构

3. 机械混合物

在铬镍钛铝合金钢的细管端部的密封性缝焊中，焊点熔池内发现有未熔化的金属星片。图 11 为浅腐蚀时，铬镍钛铝合金钢中熔池照片。熔池内的金属星片仍为铬镍钛铝合金钢。图中的黑色星片是熔池中的机械混合物。星片周围未发现裂纹。

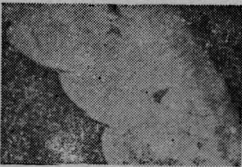


图 11 熔池内部的机械混合物

二、熔池内缺陷产生的原因

1. 裂纹产生原因

这是由于熔池内金属在凝固过程中，各种力相互作用的结果。若熔池内金属塑性变形能力小于焊缝金属凝固时，出现的收缩应力就会产生裂纹。图 12 是脉宽为 2.8 毫秒，重复频率为 5 次/秒时，产生裂缝过程中一个熔池表面蒸气喷射时的高速摄影照片。旁边亮点为时标，单位 1 毫秒。从蒸气喷射可知蒸发量的强弱和持续时间。从图看出，熔池表面蒸发量很大，持续时间约 2.5 毫秒，即

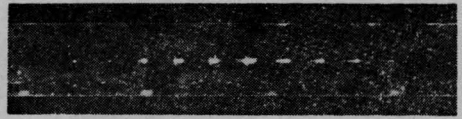


图 12 熔池表面蒸气喷射的高速摄影 (3000 张/秒)

说明作用于金属表面的激光功率密度很高，在开始作用后大约 0.3 毫秒，熔池表面就达到了沸点，并喷射出高压蒸气。高压蒸气的高速膨胀，使熔池表面受到很大压力作用。此时熔池表面的温度会大大超过沸点。激光停止作用后，熔池表面从高温迅速冷却凝固。在凝固时产生了很大的收缩应力，此收缩应力大于可伐合金和黄铜之间的塑性变形的结合力，产生了热裂纹。由于温度很高，裂缝上有强烈氧化的特性，故裂缝周围伴随有颜色的变化。图 2 中的纵向裂纹是由于黄铜的热扩散率快，凝固时横向收缩力很大而产生的纵向裂纹。此裂纹产生的机会最多，而且很难用第二次或第三次补焊给以消除。这是由于纵向热裂纹处潜伏着很大的横向应力的缘故。所以焊接前应消除焊道上存在的潜伏应力。图 3、图 4 的星状裂纹和纵横向裂纹都起源于光斑中心。这是由于激光光斑的强度分布为高斯函数，光斑中心功率密度最高，熔池中心的蒸发量最大，受蒸气膨胀压力也最大，超过沸点也最多。当熔池凝固时，熔池内的金属受收缩应力比较复杂，因而产生了星状和纵横裂纹。并伴随有强烈氧化的特性。

若合理调整激光功率、脉宽波形和重复频率，作用在金属表面上的功率密度使熔池表面维持在沸点附近，则上述热裂纹大为减少或消失。图 13 是焊缝成形良好情况下，脉

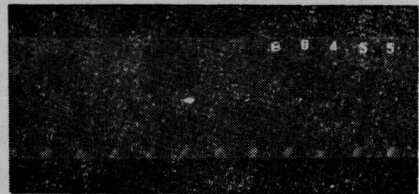


图 13 熔池表面蒸气喷射时的高速摄影 (1000 张/秒)

宽为 2.8 毫秒, 重复频率为 5 次/秒时, 一个熔池表面蒸气喷射的高速摄影。从图看出蒸气柱很弱, 持续时间大约有 1.5 毫秒。

图 5 中龟裂通常产生于焊缝最后一个焊点上。此焊点由于没有下一个激光脉冲的加热, 冷却速度更加急促, 金属相变时产生的变态应力更大。故龟裂是由于熔池凝固时产生的热应力和相变时产生的变态应力作用的结果。图 6 所示的不规则裂纹, 这是由于焊接材料成分偏析, 使基体金属塑性降低而出现的裂纹。产生于焊道中材料成分偏析处。

图 7 熔池内热影响区中的裂纹。这可能是由于熔池内的熔化层快速凝固, 结晶过程处于非平衡状态, 而产生了较大的残余应力, 又由于熔池的热影响区的晶粒粗大和急冷硬化等原因引起的应力作用的结果。

2. 气孔产生原因

焊缝金属形成气孔的原因很多。在对白铸铁和可伐合金材料的重复频率稍高的缝焊中, 气孔的形成与熔池维持于熔沸点之间的时间很有关系。当脉冲重复频率大于 4 次/秒, 脉宽为 3 毫秒时, 激光功率密度稍偏大, 就可以直接观察到熔池表面有大量气泡往外冒。激光功率密度变低, 气泡立即减少或消失。图 14 是黄铜对可伐合金的缝焊过程中, 脉宽为 2.8 毫秒, 重复频率为 5 次/秒时, 在产生气泡情况下, 一个熔池表面蒸汽喷射的高速摄影。从图可以看出, 熔池表面蒸发量较大, 持续时间大约有 2.5 毫秒。再加上重复频率为 5 次/秒的重迭性加热, 焊缝熔池维持于熔沸点附近的时间较长, 在可伐合金中碳所吸附的气体, 当可伐合金熔化后由于熔解度降低,

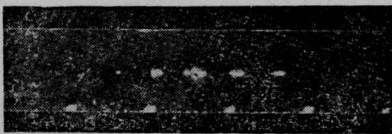


图 14 焊接过程产生气孔时, 一个熔池表面蒸气喷射时的高速摄影 (2000 张/秒)

气体便释放出来, 并有足够时间聚合而冒出熔池表面, 见图 8。来不及冒出表面的就成为气泡而存在于熔池内, 见图 10。

若将激光功率, 脉冲重复频率, 两个光斑的重迭度调整适当, 使焊缝中熔池维持于熔沸点时间少于气体释放后的聚合时间, 则熔池中产生气孔的现象立即被抑制了。图 15 是可伐合金对可伐合金的缝焊中激光脉宽为 2.8 毫秒, 重复频率为 5 次/秒时, 一个熔池表面蒸气喷射的高速摄影。从图可知, 熔池表面蒸气柱较弱, 维持时间大约有 1.5 毫秒, 此时熔池内维持于熔沸点之间的时间, 不足以使碳所吸附的气体释放和聚合而成孔泡。

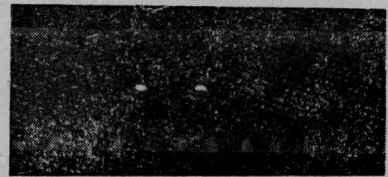


图 15 可伐合金对可伐合金缝焊中, 未产生气孔时, 一个熔池表面蒸气喷射时的高速摄影 (1000 张/秒)

图 9 中的气孔和裂纹, 是由于材料本身在该处的成分偏析, 某种杂质气化而成小孔, 又由于在该处的基体金属塑性降低而出现裂纹, 并且伴随有强烈氧化的特性。

3. 熔池中机械混合物产生的原因

图 11 中黑色星片是熔池内的机械混合物。这是由于焊道内未清洗干净, 残留有金属星片, 在激光焊接过程中, 熔池表面上的高压蒸气的膨胀, 冲击于熔池表面, 而将熔池旁边焊道中的金属星片卷入熔池内。因为熔池凝固速度十分快, 而将未熔化的金属星片凝固在熔池内。这对焊缝的强度是很有影响的。

4. 异种材料焊接, 熔池中金属非均匀性

从图 16、17 中可以看出, 由于脉冲激光焊接中, 加热、熔化、凝固、冷却的速度十分快, 两种金属熔化后, 熔池中的熔融金属没有进行搅拌, 相互之间略有一点流动性的移动,

所以,熔池内的金属是非均匀的。故两种异类金属材料的焊接强度显然没有同类材料焊接的强度大。

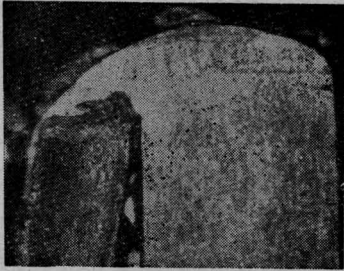


图 16 可伐合金和德银焊缝熔池横截面

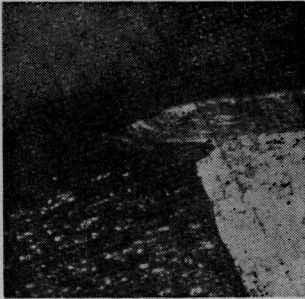


图 17 可伐合金和青铜焊缝熔池横截面

三、密封性缝焊应注意的问题

在气密性的缝焊中,为了尽可能减少或避免熔合不良的缺陷,根据前面实验和分析,可采取下列一些措施:

1. 在工件允许的情况下,尽可能选用可焊性好的同类材料或性质相近的材料。
2. 焊接前,严格清洗缝道,以免焊缝内

产生机械混合物,或其他杂质混入熔池内,产生气孔或裂纹。

3. 焊接前,消除焊道上的潜伏应力。因为脉冲激光焊接是熔深很浅的局部加热,若焊道上的潜伏应力,大于熔池内金属在固相前所具有的塑性变形能力时,就会产生裂纹。

4. 焊接前,对焊件特别是铜和铜合金等热传导率高的材料,进行预热处理,可以减少裂纹的产生。其原因是预热可以减慢熔池凝固、冷却时的速度。特别是熔池处于低温阶段的冷却速度缓慢,可以使热影响区不易形成硬化组织,可以消除焊道中的残留氢气。并且能使焊道接头中的氢气从表面充分逸出。因为凝固和冷却过程中,氢的扩散会造成塑性减低而形成裂纹。另外预热还可以使应力减少。

5. 要严格调整好激光功率、脉宽、脉冲重复频率和光斑的重迭度。使得作用于金属表面上的激光功率密度,不会使熔池表面产生过量的蒸发和过高的超过沸点,以避免产生裂纹和气孔。

6. 焊接时要保持环境清洁和干燥,因为空气中湿度太大,焊道中附有水分,不利于氢气的消除。

参 考 文 献

[1] N. Rykalin *et al.*; Laser machining and welding, p 238.
[2] *Welding Journal*, 1964, 43, No. 3, 97.