

Q112B 硅钢薄板的 CO₂ 激光焊接

肖敏 蒲万林

(华中工学院焊接教研室)

摘要: 研究了 Q112B 硅钢薄板的 CO₂ 激光焊接。从焊接接头的反复弯曲次数、净化效应、组织及断裂这几个方面分析了硅钢薄板的激光焊接特点。

CO₂ laser welding of Si-steel Q112B thin plate

Xiao Min, Pu Wanlin

(Huazhong University of Science and Technology)

Abstract: The silicon steel Q112B plate of 0.35 mm thickness was welded with a low power CW CO₂ laser. The bending property, microstructure, composition and fracture appearance of the joints were determined and compared to those of the joints made by other welding techniques.

一、引言

硅钢片是一种广泛应用的电磁材料，在生产过程中，为了保证生产线运行的连续性，需要对硅钢薄板进行焊接，并要求焊接接头有一定的塑性和韧性。目前已研究过氩弧焊、光束焊、电阻焊和气焊等几种焊接方法。这些方法存在的主要问题是焊接接头脆化，焊态下接头的反复弯曲次数很低或者不能弯曲，不能满足生产线对接头塑性和韧性的要求。本文采用激光焊，以硅钢薄板中最难焊接的高硅取向变压器钢 Q112B 作为试验材料，研究硅钢薄板 CO₂ 激光焊过程中接头组织和性能的变化及弯曲过程中的断裂，了解硅钢薄板的激光焊特点。

二、激光焊参数对接头弯曲次数的影响

焊接中考察的主要激光焊参数为焊接速度、激光功率、线能量和保护气种类及流量。焊接在 500 W 半封离式 CO₂ 激光器上进行，实验结果见图 1、2。

从实验结果可以得出：接头的反复弯曲次数随焊接速度的增加而增加，随功率的增加而下降。线能量愈大则接头的反复弯曲次数愈低，而用 Ar 或 CO₂ 作为保护气几乎不影响接头的反复弯曲次数。对一批接头反复弯曲试验的结果表明，激光焊硅钢薄板，接头的反复弯曲次数最高达 17 次，最低也有 3

收稿日期：1985 年 3 月 12 日

三、硅钢薄板激光焊中的净化效应

净化效应是激光作用下焊缝金属中有害元素或夹杂物减少的现象。激光焊以高能密度的激光作为焊接热源，与金属产生相互作用，加上金属中各种元素的存在状态和物理化学性质不同，焊缝中某些元素成份与母材相比发生较为明显的变化。焊缝金属成份的变化，对接头的性能有直接的影响。我们用能谱仪面扫描的方法分析 Q112B 硅钢薄板母材和相应接头焊缝金属的成份。结果表明，与母材相比，焊缝中的硅减少 0.3~3.8%；磷减少 10~62%；硫降低 20~58%；锰减少 13~32%，硫、磷的大幅度下降，使焊缝金属得以净化。

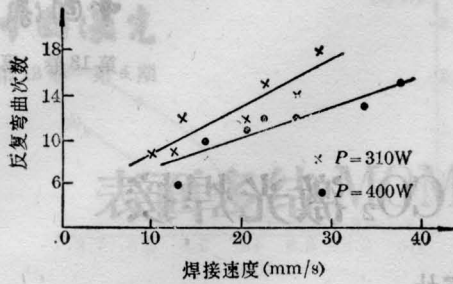
硅钢薄板的激光焊，不加填充金属，不用焊丝、焊剂，焊接在惰性保护气氛中进行，一般不能通过冶金反应调节焊缝的成份。但用激光加热，具有一般常规焊接方法所没有的独特特点。

净化效应是激光焊的独特特点，它的出现减少了焊缝中的有害元素和夹杂物的含量，对改善焊缝柱状晶的性能有重要作用，同时降低 S 和 P ，还可以防止硅钢焊接的另一个问题——热裂纹，提高整个接头的塑韧性，是激光焊硅钢薄板接头反复弯曲次数提高的一个主要原因。

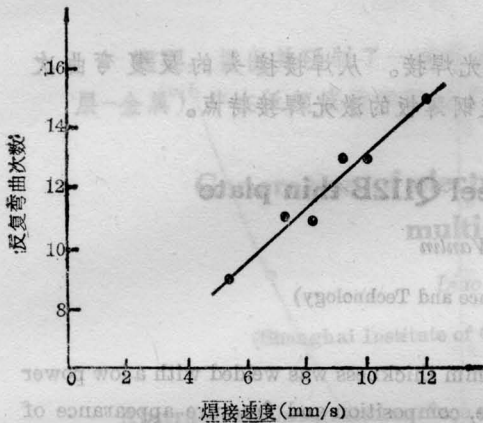
四、接头组织及断口形貌

激光焊硅钢薄板，可以得到正反面成形良好的焊接接头，经实体显微镜观察，表面无裂纹、气孔和其它缺陷。

图 3 是 Q112B 硅钢薄板激光焊接头的金相显微组织。整个接头大致可分为四个区域：未受影响的母材、焊缝、熔合线及粗晶区、细晶区。这些区域的组织大都为单一铁素



(a) 保护气 Ar 6 升/min
 $f=150$ mm, $\Delta F \approx 0$, 堆焊



(b) 保护气 CO₂ 6 升/min
 $f=80$ mm, $\Delta F \approx 4$ mm, $P=450$ W

图 1 焊速对接头反复弯曲的影响

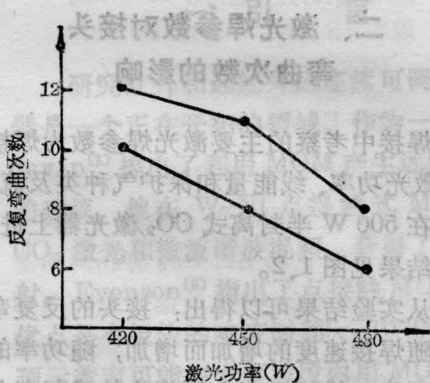
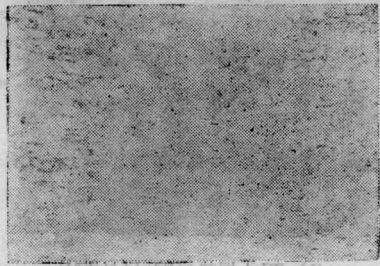


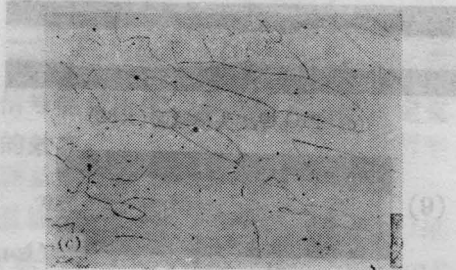
图 2 功率的影响

Ar: 5 升/min, $f=150$ mm,
 $\Delta F \approx 10$ mm, $V=8.2$ mm/s

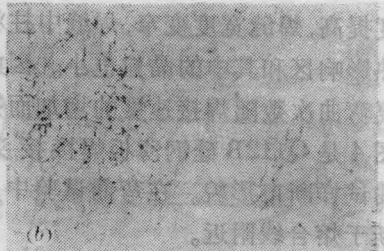
次, 平均 8 次多。根据武钢硅钢片厂的数据, 反复弯曲次数在 3 次以上就可基本保证接头在后继工序中不至于断裂。



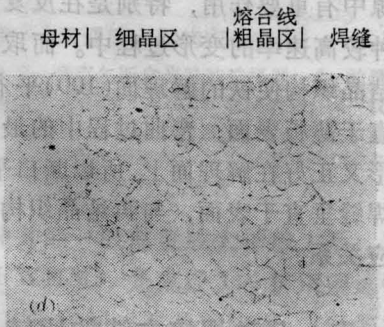
(a) 接头全貌($\times 50$)



(c) 焊缝($\times 200$)

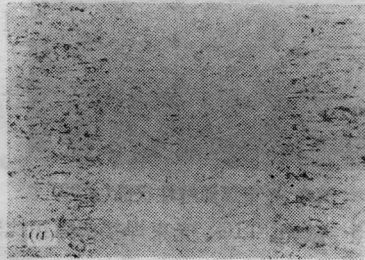


(b) 母材($\times 200$)



(d) 热影响区($\times 200$)

图3 Q112B 硅钢激光焊接头的金相组织



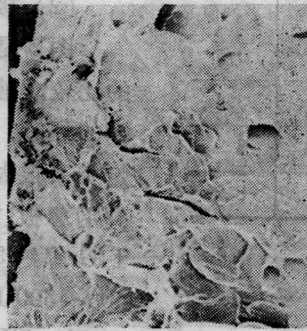
(a) 台阶和河流花样($\times 185$)



(b) 解理面($\times 185$)



(c) 撕裂棱($\times 200$)



(d) 二次裂纹($\times 200$)



(e) 鱼骨状花样($\times 200$)

图4 接头反复弯曲断口形貌

体。

焊接过程中,金属受激光加热熔化,冷却时重新结晶,焊缝晶粒的大小与液态金属冷却时的过冷度有较大的关系。过冷度愈大,

晶粒愈细。激光焊的特点之一就是加热冷却速度快,焊缝结晶时过冷度大,因此激光焊硅钢薄板焊缝柱状晶比常规焊小很多。

焊接接头的组织观察可以发现,随着焊

接速度提高,焊缝宽度变窄,焊缝中柱状晶变小,热影响区和其中的晶粒也小。因此接头的反复弯曲次数随焊接速度的增加而提高。

图4是Q112B硅钢薄板焊接接头的反复弯曲试样断口形貌。在弯曲试验中,试样大都断于熔合线附近。

从断口的分析可以得出,孪晶过程在裂纹起源中有重要作用,特别是在反复弯曲试验这种较高速率的变形过程中。而取向硅钢的再结晶织构使铁的解理面(100)平行于焊缝垂直于薄板表面,弯曲过程中的最大应力和变形又正好在解理面上,所以断口平坦,平行于焊缝垂直于表面,与再结晶织构有明显的对应关系。

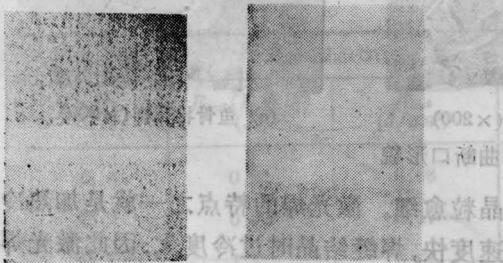
五、几种焊接方法的比较

(1) 接头反复弯曲次数的比较

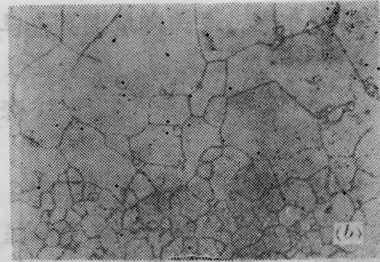
反复弯曲次数是衡量硅钢薄板焊接接头塑韧性的主要指标,表1是Q112B硅钢薄板三种焊接方法所获得的接头反复弯曲试验的比较。其中激光焊接头最为优良,焊后不经热处理,接头的反复弯曲次数远大于TIG焊加焊后火焰高温退火这一典型工艺接头的反

表1 接头反复弯曲次数的比较

焊接方法	处理情况	最高次数	最低次数	平均值
TIG ^[2]	焊后	1	0.5	0.5
	火焰高温退火	8	1	3.4
光束焊 ^[3]	焊后	4	1~2	3
激光焊	焊后	17	3	8.9



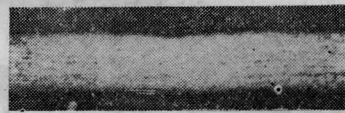
激光焊 TIG焊
(a) 接头全貌(×8)



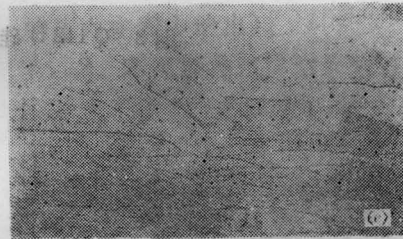
(b) TIG 焊热影响区(×200)



(c) TIG 焊接头横截面(×32)



(d) 激光焊接头断面(×32)



(e) 光束焊焊缝柱状晶(×32)

图5 激光、TIG、光束焊接头组织比较

反复弯曲次数。

(2) 接头组织的比较

图5是硅钢薄板三种焊法接头金相组织的比较。前面已分析过,对高硅取向变压器钢的焊接,焊缝和热影响区晶粒尺寸与线能量关系很大。焊接板厚0.35mm的Q112B硅钢薄板,激光焊的线能量可小至10J/mm, TIG焊约36~40J/mm,而光束焊则高达400~500J/mm,焊缝柱状晶非常大(见图5(e))。TIG焊缝宽度是激光焊的4倍,而目焊缝柱状晶的长度几乎为焊缝宽度的一半。焊缝中心有一明显的脊线,结晶时杂质易偏聚,加上几何形状的薄弱,弯曲时试样大都断于这个地方。从图5(b)和图3(d)的比较可以看出,TIG焊的热影响区晶粒也大得多。