

硅钢片的激光焊接

陈兰英 柴洪钧 何世新 鄢雨 钱红斌
唐国根 刘玉泉 苏宝榕

(中国科学院上海光机所, 201800)

钱潮 刘起

(上海矽钢片厂, 201800)

提要: 本文叙述了0.5 mm 硅钢片激光焊接的机理和工艺。测试分析了焊缝性能, 讨论了影响焊缝质量的因素。

关键词: 激光, 焊接, 硅钢片

Laser welding of silicon sheet

*Chen Lanying, Chai Hongjun, He Shixin, Yan Yu, Qian Hongbin,
Tang Guogen, Liu Yuquan, Su Baorong*

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia
Sinica, Shanghai)

Qian Chao, Liu Qi

(Shanghai Silicon Sheet Factory, Shanghai)

Abstract: This paper reports in detail the mechanism and technology of laser welding of silicon sheets, and also analyses the properties of welding seam and the factors influencing the welding quality.

Key words: laser, welding, silicon sheet

硅钢片的常用焊接方法有氩弧焊、电阻焊、气焊等。但这些焊接方法均存在焊缝脆化及变形等问题, 难以满足电机铁芯冲片时硅钢片塑性和韧性的要求。

众所周知, 含硅量较高的金属用常规方法焊接时, 焊区的晶粒较母材的粗大, 韧性差, 易开裂, 焊接困难。而且焊区和热影响区的性能也远不如母材。采用激光焊接时情况就大不相同。

当激光功率为 900~1500 W, 焊接速度在 10~50 mm/s 范围内, 均能获得满意的焊接结果。在大量试验的基础上我们认为激光功率在 1200 W, 焊接速度为 25~30 mm/s 时, 焊缝质量为最好。

一、硅钢片激光焊接工艺参数的选择

目前国内电机行业用的 0.5 mm 厚的硅钢片绝大部份是热轧硅钢片, 其尺寸为 1 m × 2 m, 这种板材不能满足自动化生产的要求。我们采用激光焊接技术, 即保证了焊缝平整、光滑, 又保持了原来的塑性和韧性及抗拉强度与性能, 成功地解决了 1 m 长焊缝硅钢片的焊接问题。另外, 我们在激光电源中采取稳流和功率反馈, 保证了激光器输出功率不稳定小于 2%^[1]。

众所周知, 影响焊缝质量的因素很多, 根据阿拉塔和米亚莫托以及斯威夫特-胡克和吉克的理论分析^[2], 可用简单公式表示各因素之间关系:

$$\frac{V \cdot W}{R} = \frac{P}{2KT_m d} \quad (1)$$

式中 V ——焊接速度; W ——焊缝宽度; R ——热扩散系数; P ——激光功率; K ——热传导系数; T_m ——材料熔化温度; d ——焊接深度;

设

$$\alpha = \frac{R}{2KT_m}$$

则

$$d = \alpha \cdot \frac{P}{V \cdot W} \quad (2)$$

由上式可见, 当材料一定时, 焊接深度正比于激光功率, 反比于焊接速度和焊缝宽度。当功率密度稍低时 ($10^5 \sim 10^6 \text{ W/cm}^2$) 表面以下的金属是靠热传导作用被加热熔化, 形成的焊缝断面一般呈半圆形。一般来讲焊缝宽度大于深度, 称为热传导焊, 这种焊法一般用于薄板焊接, 当然对于薄板焊接, 如果焊缝要求很窄时, 则需采用高功率密度的深熔焊也称匙孔焊, 这时的功率密度达 $10^6 \sim 10^7 \text{ W/cm}^2$, 在激光束中心的材料上形成小孔效应, 激光直接射到深处, 可有较高的深宽比, 一般较厚的材料均采用深熔焊。从理论上讲, 焊缝宽度越窄越好。焊缝越窄, 热影响区就越小, 但过窄的焊缝宽度不仅要求光束质量好, 增加了激光器的难度, 而且给实际焊接带来很大困难, 不仅待焊件配合要好, 而且激光束与焊缝的对准精度也要求特别高。但是, 如果焊缝太宽, 为保证一定的功率密度则要求激光功率要大, 相应的激光器体积增大, 成本增加, 而且焊区的热影响区变宽, 影响基材质量。对 0.5 mm 厚焊缝 1 m 长的硅钢片, 焊缝选择为 1.0~1.1 mm 宽, 采用热传导焊法, 选用千瓦横流 CO_2 激光器, 激光功率在 1.5 kW 以下。

为防止焊区气化、消除裂纹和气孔等缺陷和消除在高功率密度时所产生的等离子体云对激光的遮挡作用, 采用比重大的惰性气体如 He, Ar 或 N_2 气或压缩空气作保护气体。我们采用压缩空气 (0.2~0.5 atm), 同轴吹气。当激光功率为 1200 W、焊接速度 25~30 mm/s 时焊缝性能最好。

二、焊缝性能

1. 焊缝的宏观状态

在我们的工艺参数下 ($P=1200 \text{ W}$, $V=30 \text{ mm/s}$), 激光焊缝从宏观上看平整、光滑、无气孔、无裂纹。

2. 焊缝的机械性能

(a) 抗拉强度和延伸率: 激光焊接后经过平整、退火处理, 我们测试了焊区和母材的抗拉强度及延伸率, 数据列入表 1。由表 1 看出, 在相同的处理条件下, 焊缝、热影响区的抗拉强度及延伸率与母材基本相同。

Table 1 Comparison of welding seam with original material of silicon sheet on tensile strength and extendency

Sample No	Treat temperature (°C)	Treat time (min)	Test point location (mm)	Tensile strength (kg/mm ²)	Extendency (%)	Welding seam
1	880	10	On Seam	450	19.2	yes
2	880	10	3mm From seam	441	16.4	yes
3	880	10		450	14.8	no
4	860	10	On seam	420	14.4	yes
5	860	10		460	17.0	no
6	860	10		400	13.2	no
7	720	10	10mm From seam	450	20.8	yes
8	720	10	On seam	430	21	yes

(b) 焊区塑性和韧性: 采用不同激光功率、不同焊接速度的焊接试样, 做垂直于焊缝方向的反复 90° 弯曲试验, 观察其焊区和母材的断裂情况, 其数据列入表 2 和图 1。从表 2 看出, 在最佳的工艺参数下, 焊区塑性和韧性可达到或接近母材的性能。从图 1 看出不同功率、不同焊

Table 2 Plasticity and toughness of welding and original material

Power (W)	Welding velocity (mm/s)	Bend number	
		Original material	Welding seam
1000	15	6	4
	20	6	5
1200	15	6	3
	20	6	4
	25	6	5
	30	6	6
	35	5	4
1300	25	5	3
	30	6	4
	35	6	5

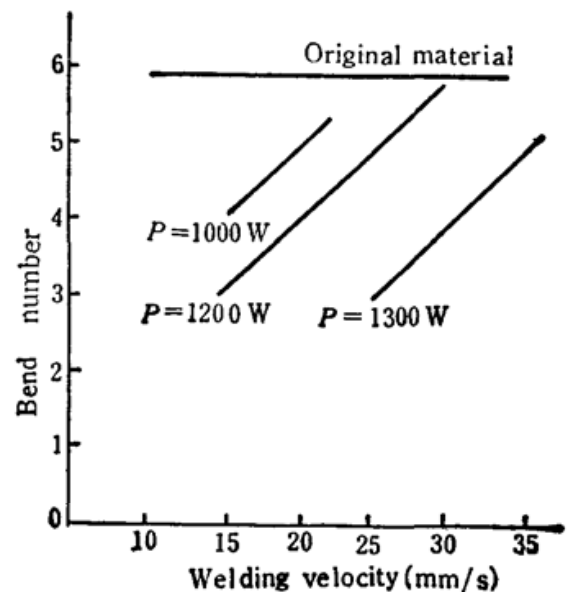
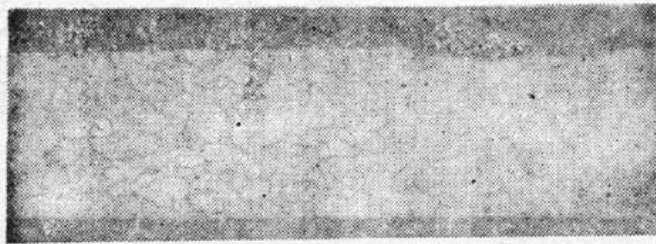


Fig. 1 Relative curve between bend number and welding velocity

速时,焊区的塑性和韧性也不同,随着激光功率的增加及焊速的变慢,焊区的塑性和韧性变坏。



laser welding | original material

Fig. 2 Metallographic structure obtained after smoothing and annealing with laser welding

我们认为,这是由于焊区存在过热过程,不仅热影响区加宽,而且焊区晶粒粗大,使焊区脆化。

从以上的测试看出,只要工艺参数选择适当,焊区的机械性能与母材的性能基本相同。

3. 焊区金相组织:激光功率为 1200 W,焊接速度为 30 mm/s,同轴压缩空气时,焊区的金相组织示于图 2。由图 2 看到焊区和母材之间没有明显界线;焊区及其附近区域的晶粒比母材细得多,而且结构也发生了变化,是从原来的

组织经激光快速加热冷却后,重新结晶成为细小的等轴晶。这是由于激光的高能量对材料瞬时加热和冷却,使新形成的晶粒来不及长大,故使晶粒细化。

4. 激光焊接后冲剪成型:硅钢片激光焊接后,再经平整退火处理,就可冲剪成各种形状的电机铁芯,从冲片看到,即使冲剪口在焊缝上,焊缝仍完好无损。

参 考 文 献

- 1 陈可心 *et al.*, 中国激光, 14 (8), 470~472 (1987)
- 2 邹至荣, 激光热处理译文集, 1981, 57~67

双波长 Nd:YAlO₃ 连续激光器和脉冲激光器 等四项成果在京通过院级鉴定

福建物质结构研究所研制成功的 1079.5 nm 和 1341.4 nm 双波长 Nd:YAlO₃ 连续激光器和脉冲激光器、1341.4 nm Nd:YAlO₃ 高功率连续和大能量脉冲激光器、高功率 1079.5 nm Nd:YAlO₃ 连续激光器和 1.66 μm Er:YAlO₃ 脉冲激光器等四项成果于 1991 年 7 月 4 日由中国科学院主持在北京通过了技术鉴定。

鉴定会确认,该所研究人员研制的 Nd:YAlO₃ 双波长连续激光器,在晶体激光器中尚属首创,其相应的连续输出功率分别为 33.7 W (1079.5 nm) 和 30.0 W (1341.4 nm); 脉冲输出能量分别为 1.39 J (1079.5 nm) 和 3.71 J (1341.4 nm)。YAlO₃ 晶体中 Nd³⁺ 离子 $4F_{3/2} \rightarrow 4I_{13/2}$ 的跃迁截面比其它钕激光晶体中 Nd³⁺ 离子同一跃迁截面大 2.4 倍,并且跃迁截面与荧光寿命的乘积也最大,而光学机械系数则与 YAG 相近。该晶体是迄今工作于 1300 nm 波段性能最佳的激光介质,并从实验上得到 188 W (1341.4 nm) 连续激光和 5.31 J 脉冲激光输出。与此同时,他们还获得了 424 W (1079.5 nm) 的连续激光输出,效率为 2.54%,从而证明 Nd:YAlO₃ 和 Nd:YAG 一样是发展高功率连续激光器的优质晶体。该所研究人员还首次发现了 Er:YAlO₃ (1at%) 晶体波长为 1.6549 μm 的激光新谱线和 259 mJ 的脉冲能量输出。

鉴定会确认上述工作具有创造性,其中除高功率 1079.5 nm Nd:YAlO₃ 连续激光器处于国际先进水平外,其余各项均属国际领先水平。

(中国科学院福建物构所 沈鸿元 黄呈辉 1991 年 8 月 13 日收稿)