

内 部

硅钢片参考资料

(七)

焊 接

1972

山西太原钢铁公司革委会生产组

目 录

1. 变压器钢的焊接	(1)
2. 硅钢带焊接方法 (专利)	(5)
3. 硅钢板的焊接方法 (专利)	(11)
4. 硅钢带在连续酸洗和冷轧作业线上的焊接	(14)
5. 热轧变压器带钢的焊接	(22)
6. 变压器和电机薄钢板对焊工艺的研究	(29)
7. 薄电工钢板的钨极氩弧焊	(31)
8. 变压器钢的闪光对焊	(38)
9. 电工钢板的三相电弧焊	(46)
10. 变压器钢带焊接设备	(50)

变 压 器 钢 的 焊 接

要使薄钢带在冷轧机上获得必需的质量，要求其基本工艺参数（速度、压下量、张力）实际保持不变。

增加给定轧制工艺连续性和显著提高轧制生产率的途径之一，是钢带轧制前的并卷。这时，焊接头应该使物理性能（强度和塑性）和结构特性有足够的均匀性。焊缝厚度不应超过基体金属厚度的8—10%。

轧制前结构薄钢带的焊接，通常是用熔化方法在对焊机上进行。然而，不是任何钢种用这种方法焊接都能达到满意的结果。例如用这种方法焊接含硅1%的电机钢时，只有35—40%的焊缝经受住轧制的考验。其余的焊缝照例都断裂在机架上。在焊接含硅2.8—3.2%、含碳0.01—0.015%的变压器钢时，焊缝的强度更低。在活套坑内或者在酸洗机组的钢卷卷取机上清理时，都会看到焊缝断裂。

将含硅3%，厚2.5—2.6mm热轧变压器钢的试样进行断裂试验时，在应力为2—20 Kg/mm²的情况下焊缝破裂，断口为粗晶粒（基体金属的极限强度为55Kg/mm²），焊接接头的弯曲角度为25—30°。

高硅含量的钢带在CO₂内用熔化电极进行焊接试验，虽然可以提高焊接接头的强度和塑性（见表1），但是从连续轧制的要求来看，还不能达到所需要的结果。焊接接头质量不满意的原因之一是在于粗晶粒热影响区的扩展（4—5mm）。

表 1

試 样	試 样 厚 度 (mm)	极 限 强 度 (kg/mm ²)	弯 曲 角 度 (度)	断 裂 的 部 位
1	2.90	43.3	83	沿焊缝
2	2.70	50.8	180	〃
3	2.70	51.2	170	〃
4	2.65	59.6	20	〃
5	2.72	52.2	65	〃
6	2.80	34.5	45	〃
7	2.81	52.3	175	〃
8	2.79	51.8	90	〃
9	2.70	52.5	160	〃
10	2.80	51.5	60	〃

在目前的闪光对焊机上，要想提高焊接速度和相应地减小热影响区是不可能的，因为焊接工艺的最小时间是12—15秒。

以后的试验是用 CO_2 熔化电极焊进行变压器钢带焊接，为此而采用了半自动电焊机A—547P。

用直径为1—1.2mm的焊丝，以18—21米/时的速度焊接，不能得到满意的结果。热影响区仍旧很大（2—3mm），焊接接头的塑性也不满意。

继续以132—140米/小时的电弧移动速度，进行了 CO_2 保护熔化电极的自动焊接试验。

自动焊接装置由下列部件组成（见图1）：ΠCO—500变压器1，操作柜2，具有可移动支架的平床3，馈送焊丝的机构4，悬臂7，悬臂7与焊咀8牢固地连接在一起（模拟半自动焊接机ПДММ500）。气包内的保护气体经过加热器5和减压阀6送到焊咀。

钢带在最小缝隙为0.3—0.4mm的焊接台上对焊。为了将被焊钢带的热量更好地传输出来，钢带要用特制的铜垫板固定住。铜垫板用螺旋柱夹紧在焊接台上。

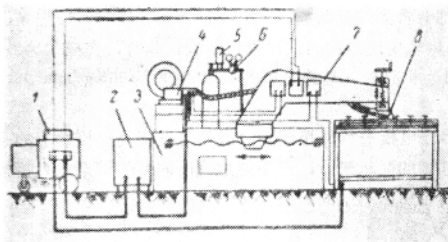


图1 变压器钢带 CO_2 保护熔化电极弧焊的试验装置

铜垫板上设置宽4—5mm、深0.2—0.3mm的焊沟，以保证焊缝的下表面。高硅钢带焊接用直径为1.6mm的Св—08 Г2С焊丝，焊丝喂送速度为8—10厘米/秒。

在可靠传热条件下的高速焊接工艺，能够得到小尺寸的热影响区（见图2）。焊缝强度可以与基体金属相等。

为了检验所得到的数据，曾经焊接和试验了200多个试样。

表2列举了试样机械试验的部分数据，这些试样是在上述试验装置上进行焊接的。



图2 变压器钢带 CO_2 保护焊接的热影响区×100

表 2

試 样 号	試 样 厚 度 (mm)	极 限 强 度 (kg/mm ²)	断 裂 位 置
32—1	2.67	52.5	沿基体金属断裂
32—2	2.64	56.0	〃
32—3	2.66	58.5	〃
32—4	2.61	56.0	〃
32—5	2.68	53.0	〃
32—6	2.63	58.0	〃
32—7	2.63	60.5	〃
32—8	2.64	55.0	〃
32—9	2.69	59.5	〃
32—10	2.64	55.5	〃

焊接试样清理后, 轧至1.6mm厚, 然后再进行机械试验。

厚1.6—1.65mm试样的机械试验结果见表3。

表 3

試 样 号	基体金属厚度 (mm)	焊 缝 厚 度 (mm)	极 限 强 度 (kg/mm ²)	断 裂 位 置
31	1.65	1.65	72.5	沿焊缝断裂
32	1.60	1.70	76.0	沿基体金属断裂
33—1	1.69	1.67	88.0	〃
33—2	1.54	1.65	91.0	沿焊缝断裂
34	1.36	1.60	95.0	沿基体金属断裂
35	1.65	1.66	65.0	沿焊缝断裂
36	1.63	1.66	78.0	沿基体金属断裂
37	1.51	1.68	93.0	〃
38	1.54	1.70	96.5	〃
39	1.49	1.55	87.5	〃
平均值	1.596	1.652	84.05	

轧制后焊缝具有足够好的塑性, 比基体金属还要大。

除了在实验室进行实验外, 也在生产条件下进行了试验。为此用实验装置焊了七条焊缝, 即焊了14个黑退火后的高硅板卷(同一炉号)。在连结钢带的时候, 可以允许违反某些焊接制度, 但是要通过连续酸洗设备去除氧化皮, 然后轧制。

七条焊缝中有一条断裂在三号机架。其余六条焊缝(占全部的85%)正常的通过

轧机。焊缝隆起高度为0.5—0.6mm是不利于轧制的。

为了在工艺中完全解决变压器钢带的焊接问题，必须设法除去隆起的焊缝。方法是利用特制的辊子（见图3）将热焊缝辗平。特制的辊子装设在焊咀附近（40—50mm）。辊子由铸铁制成，将其连接在托臂上，借助于螺旋弹簧的力量，给尚处于塑性状态的焊缝金属以压力。在焊接区域用辊子进行形变的同时，还会促使热影响区晶粒细化。

在焊缝进入工作辊时，为了减低工作机架机构上的冲击负载，并且为了提高焊接接头的强度，需要寻求焊缝相对于轧向的最合理的位置（见图4）。

为此，曾经按焊缝与轧向成 $\alpha = 90^\circ$ 、 60° 、 45° 、 30° 和 15° 角，分别焊接了试样，然后进行轧制和试验。在 30° 和 15° 时得到轧制和机械试验的最好结果。对于这两种位置，甚至于在不降低轧制速度时，还可允许存在某些焊缝隆起。

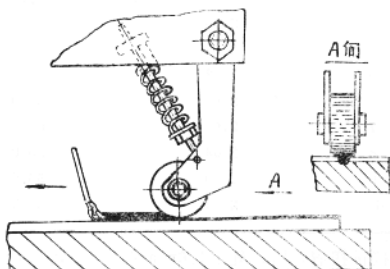


图3 热轧焊缝隆起的辊子装置

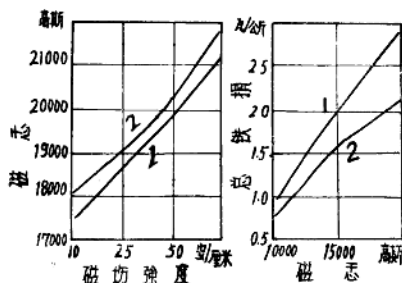
为了弄清是否有必要从轧制成品中将焊缝切除掉，曾经作了接头附近钢板的磁性试验（见图5）。

应该指出，要在成品钢板中找出焊缝是很困难的。试验表明，钢带中存在焊缝，对变压器性能没有很大的影响。



图4；焊缝相对于轧向的位置图

由此可以得出结论，没有必要从变压器钢成品钢带中将焊缝切除掉。



5图 变压器钢的磁性1.焊缝处，2.非焊缝处

结 论

- 1.高硅钢可以用 CO_2 熔化电极焊进行自动焊接。
- 2.焊缝在热状态下碾压，不仅可以消除隆起部分，而且也增加焊接接头的强度。
- 3.焊缝与轧向成 15° — 30° 的夹角时，可以以工作速度轧制。

译自《焊接生产》1963（12）

13—14（俄）

硅钢带焊接方法(专利)

本专利是硅钢板生产工艺中对接焊方法的发明。特别适用于含硅量1.5%以上的高硅钢焊接。

根据当前生产冷轧硅钢带的情况,有时需要将大约1.6~2.5mm的硅钢带作对接焊,再将其冷轧成0.50mm或0.35mm、0.30mm的冷轧钢带。其焊接方法,大多采用埋弧焊、钨极惰性气体保护电弧焊(TIG)、或金属焊条惰性气体保护电弧焊(MIG)等方法。

但是,采用原来的焊接方法,对于含硅量1.5%以上、奥氏体区狭窄、高温以下具有铁素体组织的高硅钢来说,由于焊缝金属部份及热影响区部份柱状晶的显著发展和出现晶粒粗化,以及炭化物在晶界上的明显析出,韧性非常之坏,以致在后部冷轧工艺中往往从焊接部份断裂。本发明是为了解决这个问题而提出来的。

本发明是以采用下述三种工艺为特征的焊接方法。其工艺要点是:

(1) 在对含硅量1.5%以上硅钢板焊接时,采用含锰量大致为2.0~3.5%的焊丝,在 $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ 或 $\text{Ar}(\text{氩}) + \text{O}_2$ 这样的氧化气氛下进行硅钢带的焊接,接着进行连续急冷。

(2) 采用含锰量大致为2.0~3.5%的焊丝,在 $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ 或 $\text{Ar} + \text{O}_2$ 这样的氧化气氛下进行硅钢带焊接,接着进行连续急冷。焊完后,在大致600~800°C的温度下进行回火。

(3) 采用含锰量大致为2.0~3.5%的焊丝,在 $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ 或 $\text{Ar} + \text{O}_2$ 这样的氧化气氛下进行硅钢带的焊接,接着进行连续急冷处理。焊结終了后,将焊缝隆起部份打磨到接近于板面,然后将焊缝及其附近加热到600~800°C,施行连续辊压(轧制)加工。

下面,对本专利内容加以详细的说明:

首先了解到,为了防止焊缝金属部份在轧制中断裂,要尽可能抑制晶粒的粗化而使其具有韧性。为此,要尽可能使焊缝金属部份的组织在高温下成为奥氏体组织,使其在焊接后的冷却过程中发生变态。如果焊缝金属部份在常温下的组织能成为珠光体或珠光体与铁素体的混合微细组织,那么延性和韧性就可大大改善。为此,本专利使用了表1.化学成份的焊丝。

表1 使用焊丝的化学成份

元 素	C	Si	Mn	P	S	Fe
%	<0.15	<0.5	2.0—3.5	<0.03	<0.03	余 量

点低的熔融相,脱氧生成物粒子因表面张力而形成球状,并且小粒子互相凝聚成大粒子,迅速地上浮到熔融钢液的表面,结果就得到了极为纯净的焊缝金属。

然而,在硅钢焊接中,由于构成熔融钢液一部份的被焊接材(硅钢板)中已经含了大量的硅,因此为使熔融钢液处于区域Ⅰ的状态,就必须用焊丝补充适量的锰。如果该含锰量不足,则如上所述,焊缝部份就容易变得很脆,并且出现孔隙。如图2所表明的,在含硅量1.5%以上的高硅钢情况下,熔融钢液是由部份被焊接材和焊丝所形成,其含硅量在熔融状态下大体为0.8%以上,焊丝中的锰由于在电弧状态下向被焊接材转移时要生成 MnO ,发生锰的消耗,为此焊丝必要的含锰量应在2%以上,否则即得不到良好的焊缝金属。

而通常冷轧生产的硅钢,其最大含硅量大约是3.2%,尽管把电弧转移时焊丝中锰量的消耗考虑在内,锰的上限3.5%也足够了。特别是凝固以后的焊缝金属中硅、锰含量一旦增高,强度就要增加,而延展性就会不足。故应根据被焊接材的含硅量,相应选择适当的含锰量。即使考虑到这一点,锰在3.5%以上也是不必要的。另外,在焊接含硅1.5%以上的高硅钢时,由于上述理由,希望焊丝中的含硅量要低,但由于含锰量的变化,据了解实际含硅量在0.5%以下几乎没有什么影响。

再者,在这种氧化气氛中进行焊接,由于 $Si-Mn$ 共同强制脱氧的作用,“热集中”变得非常之好,熔透度大,因此,作为硅钢焊接部份断裂主要原因之一的热影响区,进一步缩小了。

本专利另外一个重要特点是:为了尽可能防止焊接热影响区的组织变粗和在晶界上析出炭化物,要边焊接边急冷。当焊接区的温度在 $1200\sim 900^{\circ}C$ 范围时,要连续地急冷至室温。这时的平均冷却速度,根据含硅量而有所不同。含硅量比较低的钢,用较慢的冷却速度;而含硅量高的钢,则用较快的冷却速度。一般冷却速度范围为 $150^{\circ}C/秒\sim 400^{\circ}C/秒$,由此可有效地防止热影响区的组织变粗和炭化物顺晶界析出,从而获得了延展性、韧性非常好的焊接区。这时的冷却方法,用水冷或用其他冷却方法都行。

上述工艺特别适用于含硅量2%以下的硅钢,可得到具有足够强度的良好焊接区。可是含硅量2%以上的硅钢,由于水冷的冷却速度很快,焊接部份显著硬化,同时也影响到强度,故还需要进行补充热处理。这样做证明是很有效的。就是说,对含硅量2.0~2.5%的硅钢,在焊接终了以后,钢板上下两面产生的焊缝隆起部份,应使用整平器或砂轮机等进行打磨,然后进行回火。回火温度,要最大限度地防止炭化物等在热影响区析出,故在 $600\sim 800^{\circ}C$ 温度范围内进行。回火时间1—3分钟就够了。

通过这种处理,可以去除残余应力,同时还可以使焊缝金属部份的局部马氏体分解为屈氏体或索氏体,降低硬度,增加韧性,缓和轧制中的冲击应力,有效地防止了断裂。作为这种加热方法,可以采用直接通电的方法,或采用气体加热等其他适当方法。

进而,本发明对含硅量高到2.5~3.0%的硅钢有时采用低的焊接电压和细的焊丝,在所谓短电路电弧转移下进行焊接,以减少热影响。与此同时再进行连续急冷处理,效果很好。而在连续急冷后,再将焊缝隆起部份打磨,进一步施行辊压加工,由此可使强

度大幅度的提高。就是说，原来大多只做打磨加工，焊接部份常常保留形状不良状态，并且板面也不够平滑，轧制中钢带容易因冲击力而断裂。而通过打磨后进一步辊压加工，则可以克服上述的缺点，使轧制时因冲击负荷造成的断裂大为减少。

还有，本发明所作的辊压加工是在温轧状态下进行的，这也是一个特点。当按照本发明作急冷处理时，由于焊缝部份容易生成局部马氏体组织，容易使焊缝脆化。为了对其加以矫正，最好是采用高温热轧加工。然而，在 A_{c_3} 以上的高温下，热影响区容易析出炭化物。从而变脆。因此，本发明的特点，是要在焊接区具有尽量大的延展性但却不会发生炭化物析出的温度下来进行加工。该温度范围大致以 $600\sim 800^{\circ}\text{C}$ 为宜。

这时的加热方法，可以采用火焰喷嘴加热法，直接通电法或高频加热法，以及其他的适当方法。作为辊压加工用的轧辊，例如可以用直径80mm、宽度15mm、表面硬度HRC40的辊子。

表2 (比较实例1)

被 焊 接 材		含 Si2.0% 的 硅 钢，板 厚 2.3mm					
焊 丝 化 学 成 份		Mn	C	Si	P	S	Fe
原 来 用 的		0.25	0.08	0.03	0.03	0.03	余 量
本 专 利 用 的		2.00	0.13	0.05	0.03	0.015	余 量
焊 接 条 件		电 流 (A)	电 压 (V)	速 度 Cm/分	保护气体及流量 (公升/分)		焊 丝 直 径 (mmφ)
原 来 的 方 法		300	24	150	Ar15		2.4
本专利方法 (急冷处理)*	MIG焊	200	26	80	Ar 15+O ₂ 2		1.6
	CO ₂ 焊	200	24	110	CO ₂ 18+O ₂ 2		1.6
未作急冷处理的方法	MIG焊	同 上					
	CO ₂ 焊	同 上					
焊接区的机械性能		抗 张 强 度 kg/mm ²		延 伸 率 %		反 复 弯 曲 次 数 (10 R)	
母 材		54.3		23.5		10.4	
原 来 的 方 法		—		21.5		0.5	
本专利方法*	MIG焊	—		16.3		6.8	
	CO ₂ 焊	—		15.2		6.4	
未作急冷处理的方法	MIG焊	—		20.0		1.4	
	CO ₂ 焊	—		19.4		1.4	

* 从 920°C 以 $190^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 的速度急冷至常温。

表3 (比较实例2)

被 焊 接 材	含 Si 2.5% 的 硅 钢, 板 厚 2.3mm					
焊 丝 的 化 学 成 份	Mn	C	Si	P	S	Fe
原 来 用 的	0.25	0.08	0.03	0.03	0.03	余 量
本 专 利 用 的	2.50	0.13	0.35	0.03	0.015	余 量
焊 接 条 件	电 流 (A)	电 压 (V)	速 度 Cm/分	保 护 气 体 及 流 量 (公升/分)		焊 丝 直 径 (mmφ)
原 来 的 方 法	250	26	120	Ar15		2.4
本 专 利 方 法	200	20	100	Ar 18 + O ₂ 2		1.2
未 急 冷 处 理 方 法	〃	〃	〃	〃 〃		〃
焊 接 部 份 的 性 能	抗 张 强 度 kg/mm ²		延 伸 率 %		反 复 弯 曲 次 数 (10R)	
母 材	59.3		26.4		8.4	
原 来 的 方 法	—		6.4		0.5	
本 专 利 方 法	仅急冷处理 *		14.6		6.4	
	急冷处理后 加热回火**		18.8		7.5	
未 急 冷 处 理 方 法	—		23.5		3.5	

* 从1080°C以280°C/秒的速度用水急冷至常温

** 650°C × 2分 大气中加热

表4 (比较实例3)

被 焊 接 材	含 Si 3.0% 的 硅 钢, 板 厚 2.3mm					
焊 丝 化 学 成 份	Mn	C	Si	P	S	Fe
原 来 用 的	0.25	0.08	0.03	0.03	0.03	余 量
本 专 利 用 的	3.50	0.08	0.35	0.03	0.03	余 量
焊 接 条 件	电 流 (A)	电 压 (V)	速 度 Cm/分	保 护 气 体	流 量 (公升/分)	焊 丝 直 径 (mm)
原 来 的 方 法	250	25	100	Ar	15	2.4
本 专 利 方 法	200	19	80	Ar + O ₂	18 + 2	1.0
未 急 冷 处 理 方 法	〃	〃	〃	〃	〃	〃
焊 接 部 份 机 械 性 能	抗 张 强 度 kg/mm ²		延 伸 率 %		反 复 弯 曲 次 数 (10R)	
母 材	60.2		16.4		5.8	
原 来 的 方 法	—		4.8		0	
本 专 利 方 法	仅急冷处理 *		6.2		4.5	
	急冷处理后 进行温轧**		12.4		6.3	
未 急 冷 处 理	—		10.3		1.5	

* 用水以380°C/秒的速度急冷至室温

** 辊径 (mmφ) 辊宽 (mm) 压力 (kg) 轧辊运行速度 (Cm/分) 轧制温度 (°C)

80 15 2000 40 735

表2~表4是原来的方法和本专利方法的比较。这些实例表明,采用本专利的方法进行硅钢带的焊接,焊接区可以获得足够的耐冷轧加工的性能。

——译自日本专利昭41-4087 (1966年)

硅钢板的焊接方法 (专利)

本专利是有关硅钢片生产工艺中带钢焊接方法的发明。

目前,在 $\leq 0.50\text{mm}$ 硅钢板的生产工艺中,有时是将厚度 1.0mm 左右的硅钢带用焊接方法加以连结后进行冷轧。焊接方法一般采用钨极惰性气体电弧保护焊 (简称TIG法),因钢板厚度薄,故采用了不用焊条的所谓直接融接法。可是这种方法,对于象硅钢这样的高温区以下为铁素体组织的金属板来说,会使焊缝部份的柱状晶显著发展,焊缝金属部份的组织粗化,因此,在焊接后进行冷轧时,往往从焊接区断裂。

本发明的第一个特征是:首先要尽可能减少焊缝金属部份的晶粒粗化,以减少冷轧中的断带。为此要减少焊缝金属部份的含硅量,而使用含硅量少的低碳钢焊丝作为焊条。就是说,要使用表1成份的低碳钢焊丝,由此而使焊缝部份的硅含量尽可能的减少,尽可能使高温下成为奥氏体组织,从而使焊缝部份的组织成为珠光体组织或珠光体和铁素体的混合组织,具有微细的晶粒,抑制柱状晶的生成。

表1 焊条(丝)的化学成份

元 素	C	Mn	Si	P	S
%	<0.2	<0.2	<0.03	<0.03	<0.03

本焊接方法所使用的焊丝含炭量,如果超过表1的规定值,由于焊接区的冷却速度比较快,容易使焊缝钢的组织成为马氏体组织,增高硬度,出现脆化倾向,同时在接缝部份出现SiC不正常组织,以致使机械性能中的弯曲性能和延伸率显著降低。此外,焊丝的含硅量越少,焊缝钢的组织就变得越细,延展性和韧性提高。

本发明的第二个特征是:将由于使用焊条而产生的焊缝隆起部份,用砂轮或其他适当方法打磨到接近于板厚,并进行轧压(辊压加工)使其平滑。就是说,使用原来的方法由于不用焊条(丝),焊缝隆起部份比较小,故没有打磨工艺,是在原状态下进行轧制,而焊接区和母材钢板比较由于形状不好,轧制时加于焊区的瞬间冲击力,成为钢带断裂的一个原因。本发明中由于使用了焊条,焊缝隆起部份比原来的方法更大了,故更加有打磨的必要。在这种情况下,由于焊缝部份的成份和低碳钢成份基本没有变化,故打磨、轧压没有太大困难。打磨后的焊缝高度应与板厚相同或者可以稍厚一些,即使到板厚的115%,通过轧压加工完全可以轧平,表面缺陷也得到整形,这样在以后的冷轧中焊接区就不会受到冲击力,因此断裂减少了。如果焊缝的隆起高度在原板厚的115%

以下,即使不经过打磨,直接进行轧压加工,也可使其平滑,

本发明的第三个特征是:在焊接后,或将焊缝隆起部份打磨到与板厚大体相等以后,一边用转动辊轧压,一边以适当的电压在辊间直接通电,将焊接区加热到适当的温度,使焊接区及其附近组织均匀化和进行焊接区的整形。就是说,在本专利的条件下即使使用了焊条,焊缝部份在焊接原状态下仍旧会残存有柱状晶组织,常常因焊接区的强度不足,不能经受冷轧时的冲击力而发生断裂。通过对其通电轧压,可使柱状晶均匀化,从而增加焊接区的延展性韧性,使其具有足够的经受冷轧外力的强度。

加热不仅用直接通电法,也可用气体加热或高频加热等适当方法,必需加热到 A_3 以上奥氏体变态区,进行轧压操作。

轧压用转动辊的直径、壁厚、材质,应根据焊接板的厚度、质量而变化。用钢制辊子,可采用辊面硬度500Hv以上,直径200mm、壁厚13mm的。其中特别是壁厚,应根据焊道的宽度选择适当数值。

下面的表2所示,是在0.7mm冷轧硅钢带的焊接中,原先的方法和本发明方法焊接条件的区别,以及冷轧时焊接区断裂情况的实验结果。结果表明:采用本发明方法焊接时,断带率为零,比原来的方法明显改善了。

表2

焊 接 条 件	焊接电流 (安)	焊接电压 (伏)	焊接速度 (Cm/分)	氩气流量 (公升/分)	焊丝直径 (mm ϕ)	焊丝传送速度 (Cm/分)
原来的方法	45	11—12	90	10	—	—
本专利的方法	80	12—13	90	12	0.81	84
通电辊压条件	辊 宽 mm	辊 径 mm	辊子压力 kg	辊子运行速度 Cm/分	通电轧压加工温度 °C	
原来的方法	—	—	—	—	—	
本专利方法	13	200	1500	90	800—850	
冷轧过轧机情况	板卷宽度 mm	焊 缝 数	过 轧 机 数	断 裂 数	轧制过轧机率 %	
原来的方法	760—790	16	13	3	81.3	
本专利方法	760—790	20	20	0	100	
使用焊丝的化 学 成 份	C	Mn	Si	P	S	
	0.08	0.25	0.03	0.03	0.03	

试验证实,当板厚更大时采用惰性气体保护熔化电极焊(MIC)或埋弧焊,上述第三个特征也具有非常的效果。就是说,如果板厚增大,采用MIC焊或埋弧焊,比采用使用焊条的TIC焊,一般可以使焊缝金属的成份少受母材的影响,这时如果也采用轧压通

电法，则可使焊接区的延展性提高。

表 3

焊 接 条 件	焊接电流 A (安)	焊接电压 V (伏)	焊接速度 Cm/分	氩气流量 公升/分	焊 剂	焊絲直径 mmφ
MIG 焊	195—205	26—28	110—120	10	—	1.6
埋 弧 焊	260	23	200	—	55号 12×150网目	2.4
通 电 辊 压 条 件	辊 宽 mm	辊 径 mm	辊 子 压 力 kg	辊 子 运 行 速 度 Cm/分	通 电 辊 压 加 工 温 度 °C	
原 来 的 方 法	—	—	—	—	—	
本 专 利 方 法	13	200	1500	70	820—900	

焊 接 区 机 械 性 能			延 伸 率 %			反 复 弯 曲 次 数		
母 材			1.0			0.75		
MIG 焊	焊 接 原 状 态		4.0			2.5		
	采用本专利的处理		12.2			7.5		
埋 弧 焊	焊 接 原 状 态		4.5			3.0		
	采用本专利的处理		13.5			8.4		

使用焊絲的化学成份	元 素	C	Mn	Si	P	S	AI	不溶性 AI
	MIG 用	0.14~	0.33	0.01	0.06	0.015	0.003	0.006
	埋弧焊用	0.08	0.25	0.03	0.06	0.03	0.002	0.005

表 3 是焊接1.8mm冷轧硅钢板时实验数值的一个例子。可见，由于采用辊压通电法，使焊接区的延展性显著改善了。

由于采用本专利方法，从而使能够充分经受冷轧的优良硅钢带焊接得以实现。

——译自日本专利昭38—24224 (1963年)

譯注：該專利和昭44—20851是同一出处（八幡鋼鐵公司），該專利在前（1963年公布）

昭44—20851在后（1969年公布）。

昭44—20851的譯文見“硅鋼片參考資料”第五冊。

硅钢带在连续酸洗和冷轧 作业线上的焊接

1. 序 言

高效率宽带钢冷轧机要求连续运转。就是说，如果能轧制大直径的板卷，无需频繁的向轧辊夹送材料，那么很明显，作业线就可不中途停顿，就可得到良好的作业效率。

冷轧之前，对连续的钢带要作连续表面处理（例如酸洗），有必要将热轧分割成的小板卷钢带连结成连续的长钢带。因此，为了酸洗和冷轧，必须有一个适当的焊接方法。

在一般材质情况下，焊接技术本身不是什么困难问题。通常是将厚度2—3mm，宽度800—1200mm的钢带彼此对焊，酸洗后，只要能以可前后拉伸的某种轧机进行冷轧就行了。

采用电阻对接焊焊接钢带是众所周知的。尤其对于低碳钢来说，这种焊接可以获得良好的结果。但是对于某些焊接困难的材料，电阻焊难以得到必要的接头性能。例如含硅3%的钢带，由于在连续轧制工艺中，要经受多次的交变弯曲负荷，故在对接电阻焊时，需装入一种低碳钢中间材进行焊接。如此得到的接头，尽管能够保证钢带传送，但不能轧制，同时不经济，焊接一个地方必须焊两次，是很不方便的。

2. 应 力 问 题

在酸洗线间，板卷要经过卷取和开卷，钢带要经受大致20多次弯曲。其表面组织，因弹性限度以内的拉伸和压缩，产生周期性的形变。

因拉伸力（张力）产生几毫克（mg）的张应力，按一般概念只要钢带是平整的（不是非直线性的），还是可以允许的。但是，热轧钢带实际常常是弯曲的，钢带四边部份的应力根据情况有时达到了材料的屈服点。

在钢带边缘存在高张应力的状态下，会发生斜方向切断。在钢带焊接的情况下也能够发生这种情况。另外，因切口产生的高应力，往往给予金属材料以剧烈的局部疲劳。

钢带（和焊接部份）因交变弯曲和偏心张力产生的应力，显著地影响着金属的形变特性。根据实际经验，经受不住冷轧的接头，或多或少会在酸洗中发现损伤。如果每一次轧制中能有大约30%的塑性变形，那么就充分满足了冷轧的需要。

3. 影响变压器带钢焊接头塑性的重要因素

在焊接方法实际应用情况下，重要的问题是该方法应是自动的，并且在各个方面都是优越的。通过各种焊接试验，在埋弧焊和各种气体保护焊接（MIG、TIG）中， CO_2 气体保护熔化电极焊接获得了质量最好的效果。

实验的目的是在于：不论在冶金或技术上都得到满意的接头塑性。

4. 填充金属成份的影响

在表1中，从用作试验的各种焊丝中列举出两种说明其影响。列举这两种焊丝的原因，是因为它们得到了有趣的结果。

为了研究焊缝金属和热影响区的机械性能，按图1a制做了试样，中间开以线孔，把断面最小部份设置在相当于试验接头部的焊缝区中央或熔融区中央。

表 1 成 份 表

		C	Mn	Si	P	S	其 它
A	D ₅	0.07	1.35	0.8	0.02	0.023	Cr, Cu, Ni < 0.2
	ZK ₅	0.05	0.4	2.6			
B	D ₅	0.08	1.2	0.3	0.023	0.026	Ni 0.5, Mn 0.3, V 0.06 V 0.01
	ZK ₅	0.05	0.4	2.1			
C	M	0.04	0.08	3.0	0.015	0.006	Al 0.02

试验结果表明，以D5焊丝为最好。特别是对焊缝金属和热影响区的塑性说是如此。

如表1所示，D5焊丝的特点是含有一些钒。电子显微镜的分析结果表明，这种焊丝的特长是在于：铁素体中的氮和 CO_2 在最大限度熔透的温度范围内，形成了稳定的钒的炭氮化合物，由此而防止了时效（根据“布拉齐斯拉瓦”焊接研究所的报告）。