

内 部

硅钢片参考资料

(五)

国外硅钢片生产专利

(无取向、双取向、涂层)

1971

山西太原钢铁公司革命委员会生产组

目 录 *

(一) 无取向硅钢片生产工艺

1. 含硅、铝无取向电工钢板的制造方法 (1)
2. 含铝无取向电工钢生产方法的改进 (9)
3. 用改进盛钢桶操作的方法生产高磁性电工钢 (13)
4. 用热轧后急冷处理生产高磁感无硅电工钢带 (15)
5. 用热轧时轻微的残余变形提高电工钢板的磁感 (17)
6. 用一次冷轧法生产低硅电工钢板 (21)
7. 电工钢的松卷脱碳方法 (23)
8. 电工钢的涂层脱碳方法 (25)
9. 无时效焊接电工钢带的生产方法 (27)
10. 用连续退火生产高磁性无取向硅钢带 (30)
11. 生产粗晶粒电工钢板的方法 (38)
12. 用拉伸矫直机生产无取向电工钢带 (43)
13. 用单一热处理完成电工钢的脱碳、成品退火、
消除应力退火及绝缘处理 (46)
14. 用调质轧制和平整矫正的方法改善电工
钢板的磁性和冲切性 (49)
15. 采用“两段连续退火”工艺提高电工钢板

* 譯注：原专利题目很不具体，比較一般化。为了使题目恰当地反映专利的中心内容，我們对本集各篇专利的题目作了适当修改，为便于讀者查閱，各篇专利后附有专利号。

的冲切性能	(57)
16. 高磁感立方体面织构电工钢板的制造方法	(61)
17. 用交叉热轧法生产立方体面织构的硅钢板	(65)
18. 用恒温轧制生产高磁感斜双取向织构的电工钢板	(74)
19. 立方体面织构电工钢板的制造方法	(78)
20. (100)[hkl]硅钢片的制造方法	(83)

(二) 双取向硅钢片生产工艺

21. 铁铝硅双取向电工钢板的制造方法	(84)
22. 低硅立方织构钢板的生产方法	(89)
23. 厚规格双取向磁性薄板的生产工艺	(91)
24. 用交叉轧制生产双取向硅钢板	(99)
25. 用交叉轧制方法生产双取向硅钢带	(104)
26. 用高温中间退火生产双取向硅钢片	(119)
27. 用时效处理生产双取向硅钢板	(122)
28. 用 α 相氧化铝作隔离层生产双取向硅钢板	(126)
29. 立方织构铁硅、铁铝和铁铝硅合金薄板的 最终热处理方法	(131)
30. 生产高取向度立方织构硅钢板的高温退火工艺	(134)
31. 用单取向材料生产双取向硅钢片的方法	(138)
32. 降低双取向硅钢板高频铁损的方法	(142)

(三) 硅钢片表面涂层工艺

- 33. 具有良好附着性的氧化镁涂层的制造方法 (144)
- 34. 真空退火对氧化镁涂层的影响 (147)
- 35. 电工钢的绝缘涂层 (150)
- 36. 生成高绝缘电阻和强附着性绝缘薄膜所用的涂料 (157)
- 37. 用羟基羧酸作还原剂的铬酸绝缘涂层 (162)
- 38. 硅钢片硼酸盐绝缘薄膜的制造方法 (165)
- 39. 耐热性硼酸玻璃状绝缘涂层的制造方法 (167)
- 40. 玻璃状涂层的电工钢板及其制造工艺 (171)
- 41. 用辊压操作改善硅钢薄板的绝缘涂层 (187)
- 42. 用于电工钢带表面涂层的涂料成份 (192)
- 43. 适用于立方体面织构硅钢的特殊涂层的制造方法 (196)

(四) 其 他

- 44. 硅钢板的焊接方法 (201)
- 45. 钢卷的防锈方法 (208)

含硅、铝无取向电工钢板的制造方法

本专利方法是对一定含硅量及含铝量的钢锭，通过适当的工艺，制造用于电机铁芯的无取向电工钢板。

以前生产无取向硅钢板的一个代表性方法，是专利特公昭31—4505所提出的方法。这种方法的特点，是在含硅量低于3%的情况下，利用最终退火时的相变来破坏取向晶粒的成长。这种方法采用的是一次强冷轧工艺，没有特殊的中间退火。因为退火次数少，除非采用优质钢，否则其性能不能达到良好的水平。另外，还有一种方法，即通过轻压下率（大约百分之几）的调质轧制，来破坏原先由冷轧和中间退火所生成的各向异性，从而得到无取向钢板。但是，采用这种方法时，仍常常残留有各向异性。

本专利的目的是用简单工艺、来稳定地生产比通常无取向钢板性能更好的产品。

本专利的特点是：采用含硅1.5~3.5%、含铝0.5~2.0%、硅铝之和大致为2.5~4.5%、其余为微量杂质和铁所组成的钢锭，通过适当的冷轧和热处理，生产无取向硅钢板。

根据实验结果，硅和铝含量之和大体上为2.5~4.5%，可以得到低铁损的无取向电工钢板。当其小于2.5%时，则使电阻减小，铁损增大；而大于4.5%时，则冷轧困难，而且磁感降低。因此，要限定这个范围。此外，根据实验结果，为了得到良好的磁性，满足无取向的条件及其他条件，含硅量要大于含铝量，起码要等于含铝量。

将上述成分的钢锭，热轧到要求的板厚，然后以每次50~80%的压下率进行两次以上的冷轧。

在冷轧之间，进行750~950°C范围的中间退火。退火时间最好是在30分钟以下，在较高温度时用较短的时间。

采用这种方法，很容易冷轧；而通过上述条件的中间退火，可进行脱碳和再结晶。

本专利方法首先在高频感应炉中用氩作保护气冶炼纯铁，使有害的夹杂物充分降低；然后抽真空；按照含硅量1.5~3.5%、含铝量0.5~2.0%、而两元素之和大约在2.5~4.5%范围、大体上硅含量要大于铝含量这样的成分，逐步加入硅、铝。成分达到要求后，出钢铸锭。

实验用的全部钢锭的成分范围，如表1所示。

表1 钢锭的成分

例	C %	Si %	Al %	Mn %	P %	S %
例 1	C 07	1.01—3.20	1.09—1.34	C.2	0.004—0.005	0.006—0.012
例 2	0.005—0.01	1.35—2.90	C.36—1.77	痕迹	0.005—0.008	0.003—0.005

將具有这种成分的鋼錠，在均热炉中进行 1200°C 均热，经过鍛造或者只经过开坯轧成扁坯。将这种扁坯在 $1150\sim 1250^{\circ}\text{C}$ 加热20分鐘后（該加热温度不作特别的限制），热轧到2.5mm厚，其终轧温度为 $850^{\circ}\sim 950^{\circ}\text{C}$ 。接着，在温度为 80°C 的15%硫酸溶液中进行酸洗，以充分去除氧化铁皮，此时，鋼板的厚度大約要减少0.2mm左右。对这种鋼板进行两次以上冷轧，其每次压下率随最終成品的厚度而不同，但也可以采用同样的压下率。若由于质脆室溫难于冷轧时，可将鋼板加热到 200°C 左右，然后再进行冷轧。由此，板厚减到1.0到0.2mm。两次冷轧中間要进行中間退火，其退火条件是：在露点大約为 $+30^{\circ}\text{C}$ 的分解氨气体中，于 $750\sim 950^{\circ}\text{C}$ 的范围内，进行30分鐘以下的短時間处理。保护气体也可以单纯用惰性气体，但是氮气因为有可能形成对磁性非常有害的氮化鋁，所以不推荐使用。另外，提高保护气体的露点，对脱碳是有效的。热处理温度与時間，对成品的性能有重大影响，因此根据磁性要求应当加以选择。在生产特殊无取向鋼板时，上述中間退火的温度低时，可以经过大約30分鐘較長時間的处理；当温度提高到 900°C 、 950°C 这样的高温时，必須是大約3分鐘以下的短時間处理。

图2表示了中間退火温度与時間的关系。图中 $\bullet$ 符号表示含2.10%Si、1.40%Al的鋼； $\circ$ 符号表示含2.65%Si、0.99%Al的鋼； Δ 符号表示含3.28%Si、0.70%Al的鋼。将这些鋼用本专利的方法进行冷轧，分別进行 800°C 、 850°C 、 900°C 、 950°C 的中間退火，在各个温度下分別保温3分鐘、10分鐘、30分鐘，然后在 100°C 进行10小时最終退火。这样得到的試料，測量其磁轉矩M，显示了很好的无取向性。将 $M < 3.0 \times 10^{-4}$ 达因/厘米²者，根据其热处理参数（温度和時間）繪于图中。由图可知：在 750°C 中間退火，退火時間以30分鐘以下为宜；随着温度提高，退火時間縮短，接近 950°C 时，理想的时间是3分鐘左右。即使温度在 $750\sim 950^{\circ}\text{C}$ 的范围内，若退火時間在图2所示的曲綫范围以上时，也会形成各向异性，达不到本专利无取向的目的。此外，退火条件在 750°C 以下，即使显示了无取向，可是其磁性（鉄損、最大導磁率等）惡化。

最終退火在露点小于 -40°C 的气氛中进行，惰性气氛、还原性气氛或 10^{-3} 毫米汞柱的真空都可以。但是，氮气由于对磁性有坏的影响，故最好不使用。退火温度大概在 $1000\sim 1100^{\circ}\text{C}$ ，可以給出良好的结果； 1100°C 以上有产生取向的危險。退火時間要比較長，大約5~40小时。冷却速度应保証鋼板內部不产生变化，最好是在 $50^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 以下。

用磁轉矩检查所制鋼板的取向情况。下面說明检查结果：

图1是表3試样4用X光分析的结果，其磁轉矩曲綫如图3Ⅳ（表3的4号試料）所示。

图1是用X光方法所得鋼板各晶粒的（110）极图。将軋制面选为极面，R、D为軋制方向，T、D为垂直于軋向。

从該极图中看到：〔110〕方向的取向是弱的，而且不在一个固定的位置上。大体上，晶粒的（111）面平行于軋制面，可是沒有获得特定的方向。此外，有的也显示了（111）〔112〕型的弱纖构。少量存在着与这种纖构相偏离的（100）〔001〕弱纖构。其他则是

混乱的排列。

由图3的磁轉矩曲綫看到：最大的磁轉矩至多是 3×10^4 达因/厘米²，是非常低的。

下面，将本专利方法制得的成品磁性与一般工业产品的磁性进行比较，并作说明。

表2是一般供应冷轧无取向硅钢板的磁性。

表2 一般供应冷轧无取向硅钢板的磁性

測 量 方 向	磁 性 值										最 大 磁 轉 矩 达因/厘米 ² M
	矯頑力 (奧)		剩 磁 (高斯)		鉄 損 瓦/公斤		最大导 磁 率	磁 感 (高 斯)			
	H _c ⁵	H _c ¹⁵	B _r ¹⁰	B _r ¹⁵	W _{10/50}	W _{15/50}	μ _m	B ₁₀	B ₂₅	B ₅₀	
軋 向 L	0.42	0.56	8,600	12,000	0.81	2.07	15,900	14,900	15,900	16,700	4.4×10 ⁴
垂直軋向 C	0.65	0.86	6,100	7,100	1.27	2.92	5,900	13,700	14,900	15,600	
L C 平均值	0.54	0.68	7,400	9,700	1.04	2.56	10,900	14,300	15,400	16,200	
(C-L/L)	+55	+43	-29	-38	+57	+41	-63	-8	-6	-7	

由表可知：軋向(L方向)与垂直軋向(C方向)的磁性值有相当大的差别。鉄損 $W_{10/50}$ ，C方向的值是1.27瓦/公斤，比L方向的值0.81瓦/公斤高57%；最大导磁率 μ_m ，C方向是5900，L方向是15900，所以C方向低了63%。其他性能差别也甚大，具有相当大的各向异性，几乎不能叫无取向。与此相反，用本专利方法制得的成品，如表3和表4所示，比一般工业产品显示了良好的无取向性，同时其磁性也是好的。

表3所示是在表1例1的成分范围内，硅及铝在不同含量的情况下各实例的性能。可见，从L、C方向的鉄損看，C方向的鉄損值大约是0.9瓦/公斤左右，而相应L方向的鉄損值大致是0.8瓦/公斤左右，C方向只稍高10%，比一般工业产品的无取向性有显著改善。两个方向的最大导磁率差大约在30%以下，各向异性差明显减少。另外，在图3中，p是一般工业无取向硅钢板的磁轉矩曲綫；IV是本专利鋼板（Ⅳ代表表3的4号試料）的磁轉矩曲綫。最大磁轉矩，与前者的 5×10^4 达因/厘米²相比，后者在 3×10^4 达因/厘米²以下，是很低的，可见取向性较小，接近于无取向的性能。

表4是在含碳量較低的表1例2的成分范围内，硅及铝含量不同的情况下各实例的性能。可见，最大磁轉矩依然在 3×10^4 达因/厘米²左右，是无取向的，而且鉄損 $W_{10/50}$ 为0.6瓦/公斤，显示了良好的磁性。图4为一般工业无取向硅鋼板（以p表示）的L方向性能(PL)和C方向性能(PC)与本专利表3实例5（5号試料，以Q表示）的L方向性能(QL)和C方向性能(QC)的对比。可见本专利的鋼在低磁感下，C方向显著改善；在高磁感下，L方向的磁感虽稍有降低，可是L、C的差却变得非常小。

表3

用 本 专 利 方 法

試 料				中 間 退 火 条 件 溫度×時間 (°C×分)	最終退火条件 溫度×時間 (°C×小時) 冷 却 速 度 °C / 小 時	測 試 方 向	矯 頑 力 (奧)	
							H _c ¹⁵	H _c ¹⁰
編号	Si %	Al %	Al+Si %					
1	3.2	0.6	3.8	750×3	1000×10 25	L	0.44	0.63
						C	0.49	0.71
						L C 平均	0.47	0.67
						(C-L/L) %	+11	+13
2	3.2	0.6	3.8	750×30	1000×10 25	L	0.45	0.62
						C	0.48	0.69
						L C 平均	0.47	0.66
						(C-L/L) %	+7	+11
3	3.2	0.6	3.8	800×10	1000×10 50	L	0.41	0.60
						C	0.45	0.66
						L C 平均	0.43	0.63
						(C-L/L) %	+10	+10
4	3.2	0.6	3.8	850×3	1000×40 50	L	0.44	0.59
						C	0.49	0.66
						L C 平均	0.47	0.63
						(C-L/L) %	+11	+12
5	2.5	0.8	3.3	900×3	1000×10 25	L	0.44	0.61
						C	0.52	0.68
						L C 平均	0.48	0.65
						(C-L/L) %	+18	+12
6	2.0	1.3	3.3	800×3	1000×10 25	L	0.45	0.62
						C	0.50	0.69
						L C 平均	0.48	0.66
						(C-L/L) %	+11	+11

生产的成品磁性

交 流 磁 性 (50赫)								最大磁 轉 矩 达因/厘米 ²
剩 磁 (高斯)		铁损 (瓦/公斤)		最大导 磁 率 μ_m	磁 感 (高斯)			
B_r^{10}	B_r^{15}	W10/50	W15/50		B 10	B 25	B 50	
8,500	12,000	0.81	2.61	13,300	13,800	14,600	15,400	1.7
7,500	10,900	0.90	3.44	10,000	13,400	14,100	14,900	
8,000	11,500	0.86	3.03	11,700	13,600	14,400	15,200	
-12	-9	+11	+33	-25	-3	-3	-3	
8,100	12,000	0.82	2.52	12,200	14,000	14,800	15,500	1.9
7,900	10,900	0.88	3.14	10,700	13,500	14,300	15,000	
8,000	11,500	0.85	2.83	11,500	13,800	14,600	15,300	
-3	-9	+7	+25	-12	-4	-3	-3	
7,900	10,600	0.73	2.52	13,300	13,700	14,400	15,300	1.4
7,400	10,500	0.79	3.15	10,600	13,300	14,100	14,900	
7,700	10,600	0.75	2.84	12,000	13,500	14,300	15,100	
-6	-1	+8	+25	-20	-2	-2	-3	
8,100	11,100	0.79	2.09	13,300	14,400	15,200	15,900	2.6
8,100	10,600	0.86	2.53	11,200	13,800	14,500	15,300	
8,100	10,900	0.83	2.31	12,500	14,100	14,900	15,600	
0	-5	+9	+21	-19	-4	-5	-4	
8,200	11,900	0.78	2.37	13,500	14,500	15,300	16,100	3.5
7,700	11,200	0.92	2.51	9,500	14,300	15,000	15,800	
8,000	11,600	0.85	2.44	11,500	14,400	15,200	16,000	
-6	-6	+18	+6	-30	-1	-2	-2	
8,100	11,700	0.81	2.48	12,000	14,100	14,900	15,600	2.8
7,700	10,400	0.91	2.92	9,500	14,000	14,700	15,400	
7,900	11,100	0.86	2.70	10,800	14,100	14,800	15,500	
-5	-11	+12	+18	-21	-1	-1	-1	

表4 用本专利方法生产的成品磁性

試料				中間退火条件		最終退火条件		矯頑力 (奥)			交 流 磁 性				最大磁矩 (M)	
編号	Si %	Al %	Si+Al %	溫度 (°C)	X時間(分)	溫度×時間(°C×小時)	冷卻速度 (°C/小時)	H _c ¹⁰	H _c ¹⁵	剩磁 (高斯)		鐵損(瓦/公斤)	最大導磁率	磁 感 (高斯)		达因/厘米 ² (×10 ⁴)
										B _r ¹⁰	B _r ¹⁵			B ₁₀	B ₂₅	
7	2.55	0.47	3.12	800×0.5		1,000×10	50	0.38	0.54	8,000	12,500	0.65	2.21	15,700	14,400 15,200 15,900	2.2
8	2.26	0.53	2.79	800×1		1,000×10	50	0.39	0.55	7,700	11,600	0.69	1.99	14,000	14,400 15,100 15,800	1.6
9	3.18	0.78	3.96	900×3		1,000×10	50	0.36	0.51	8,500	12,500	0.64	1.55	18,300	14,400 15,100 15,800	3.8
10	2.98	0.81	3.79	900×10		1,000×10	50	0.36	0.50	7,600	10,500	0.60	1.81	14,700	14,700 15,600 16,300	3.9
11	1.35	1.77	3.12	950×1		1,000×10	50	0.35	0.50	7,500	10,600	0.62	1.93	15,600	14,200 15,000 15,800	3.1

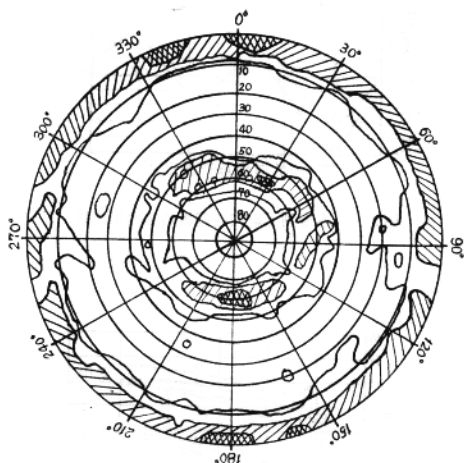


图1 用X光作成的本专利无取向电工钢板的(110)极图。

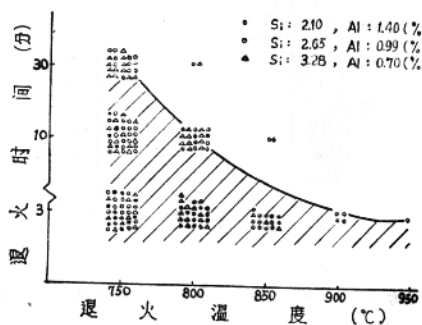


图2 本专利的中间退火温度和时间关系

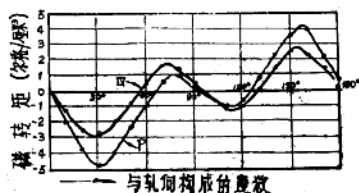


图3 本专利无取向硅钢板的磁转矩曲线

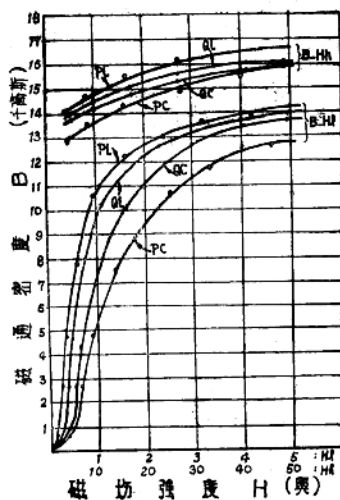


图4 本专利无取向电工钢板和一般无取向硅钢板的磁化曲线比较

譯自日本专利昭39-16770 (1964年)

含铝无取向电工钢生产方法的改进

倘若用铝代替硅作合金化元素，则对磁性的影响是相似的。所以，铁铝合金是一种有用的软磁材料，其铁损特性类似于硅钢。但是，由于增加铝时，塑性变坏的程度与增加硅相比不太显著，因此含铝6%的合金仍容易进行冷加工，并且与硅钢相比，还可利用较高合金含量所具有的优良磁性。

现在，已经推荐用含铝量 $\leq 8\%$ 的铁铝合金来生产磁性钢，但是含有多于痕微量铝的铁铝合金恰巧有一种严重缺点，以致一直严重地限制着它们在工业方面的发展。在制造过程中，当铁铝合金在含氮的控制气氛中进行热处理（这通常使用于软钢和硅钢）时，由于氮与铝化合形成稳定的氮化物，因此易于被合金吸收。这种氮化物在铁铝固溶体中呈针状析出，这对铁损极为有害。例如，以细小针状氮化物形式存在的0.02%氮，可使铁损增加100—200%。

然而，假如能够解决氮化物所引起的问题，那么在磁性钢的生产中，用铝作为一种合金成分将会有很多优点。例如，在炼钢时如果应用了铝，就可用硅化钙去除合金中的硫，这样就可降低对磁性有害的元素的含量。用硅化钙去硫的方法不能应用于硅钢。

业已发现，某些三元合金（例如铁—铝—硅），在工业上作为软磁材料是有效的，并且具有高合金含量（铝+硅）的优点，而没有伴随着的脆性缺点。例如，与2.5%硅钢相比，含有4%铝和1%硅的合金进行冷轧时没有多大困难。

本专利提供了一定磁性的无取向电工钢板的生产工艺。这种钢的成分特点是：含有0.08%—8%铝，大体上不含有硅。其生产工序如下：①钢锭或扁坯的热轧；②进行至少一次的冷轧和退火。在进行所有退火工序时，可用下述办法使金属不和氮发生反应：①采用加入了水蒸气的、含氮量小于20%的保护气氛；②为金属表面提供一种氧化膜（例如在氧化气氛中加热）；③或者两种方法结合着使用。

本专利还包括上述工艺过程的修正方案，其中钢的含硅量不超过3.5%，并且铝与硅的总含量不大于7%。

上面所说的‘大体上不含硅’是指所用的铁铝合金仅含有加入硅化钙（为了去硫）时所带进的硅（可达0.5%）；并且，当硅作为一种合金化成分被有意加进钢中时，在给出的铝与硅的总含量中，也包括硅化钙所带入的硅。

现在推荐，用硅含量为0.05—4%的钢，在含有2—3.5%水蒸汽的氢气气氛中，于650—900°C进行脱碳退火，以生产具有一定磁性的硅钢。

还推荐，用含有 $C \geq 0.02\%$ 、 $Mn \leq 0.20\%$ 和 Al 为0.02—0.08%的低碳钢来生产无时效低碳钢薄板。

在本专利的操作中，倘若首先适当地选择原料，以保证残余元素含量为最少，那么，可以用任一种冶炼方法来制造合金。为了去硫，硅化钙可以和铝、硅铁一起加到盛钢桶中。

下面是适于本专利操作的试样的典型分析，但是本专利不限于这些成分和比例。

C: 0.03% (最大) S : 0.008% (最大)

P: 0.03% (最大) Mn: 0.50% (最大)

Al: 4% Si : 1%

钢水浇注成钢锭后，按通常的硅钢工艺进行生产：经均热炉加热、板坯轧制、火焰清理、再加热和热轧成1.5—2.5mm厚的板卷。或者钢锭可直接热轧成板卷而不经中间加热。继续这些处理之后，尚需进行以下工序：

(1) 热轧板卷切边。

(2) 酸洗除磷。

工序①和②的顺序可以颠倒，并且，为了降低碳含量，可在酸洗前进行黑退火。

(3) 把酸洗后的钢卷冷轧到比所要求的最终厚度厚1—20% (最好是厚6—10%) 的厚度。

(4) 在600—1000°C (最好在750—950°C) 之间，在含有水汽 (为了得到20—80°C，最好是50—70°C的露点) 的氢气中进行敞开退火。因为冷轧金属的再结晶时间相当短，所以可使用连续炉。这种操作也可在里——威尔逊型松卷箱式退火炉中进行。在此处理中，用湿氢可除掉部分碳。或者，假如控制退火条件能阻止氮的吸收，那么材料可在普通的箱式炉中进行中间退火。实施的方法之一是在退火前给钢带上一层氧化膜或氧化物层，但这层氧化膜必须在下步操作之前去除掉 (通常用酸洗法)。

(5) 冷轧成最终尺寸。

(6) 在与第④工序相同的条件下再次进行退火 (用松卷箱式退火，或连续退火)。但在此工序，最好是用连续退火，因为希望软磁带材平直，而松卷箱式退火后的带材会有变形。在此工序可进一步脱碳，根据退火时间，钢带的碳含量能够降低到0.002%。

在退火时，用含有充分水汽的氢气气氛，或者用氧化物或氧化膜复盖层，可避免吸收氮气。在连续退火操作中，难于完全隔绝氮气，因为密封炉底辊的轴承时，用氮是安全的；因此，炉内的“氢”气氛可含有多至20%的氮，但是，由于连续退火时间短，故钢带不会吸收大量的氮。

然而，假如中间厚度的产品在松卷箱式退火炉中退火，处理的时间就要长些，因此必须仔细地操作，要在每次装炉开始时，尽快地用氢气来代替用于洗炉的氮气，以保证退火时不吸收氮气。

这种产品是脱碳的、冷轧的铁铝或铁铝硅钢带，它基本上是无取向的；当然，其铁损随铝含量或铝加硅的总量而变化。

下述的实例说明了本专利的方法：

例 1

(1) 热轧板卷切边。

(2) 酸洗除磷。

(3) 冷轧到比要求的最終尺寸厚 8 % 的厚度。

(4) 进行連續退火。退火温度为 850°C，气氛是露点为 55°C 的湿氢。

(5) 冷轧到最終厚度。

(6) 进行連續退火，使軟磁鋼帶得到所要求的性能。炉温为 850°C，气氛为露点 55°C 的湿氢。退火后，鋼帶的碳含量是 0.002 %。

下面的鉄損值（在磁感为 13 千高斯和 50 赫的情况下）是用艾卜斯坦迭片測得的，迭片試样的一半沿軋向切取，另一半沿橫向切取。

合 金	鉄 損 (瓦/公斤)
3% Al—Fe	1.98 ⁽¹⁾ (0.35mm厚)
4% Al } 1% Si } Fe	1.83 ⁽²⁾ (0.35mm厚)
0.25% Al } 0.25% Si } Fe	3.48 ⁽¹⁾ (0.50mm厚)
4% Al—Fe	1.87 ⁽¹⁾ (0.40mm厚)
2.4% Al } 0.7% Si } Fe	1.89 ⁽¹⁾ (0.35mm厚)
2.4% Al } 0.7% Si } Fe	2.00 (0.50mm厚)

(1) 艾卜斯坦試样经过消除应力退火。

(2) 只在軋向檢驗。

虽然，为使合金得到最佳磁性，在中間和最終連續退火时，可用控制鋼帶移动速度的办法，或者，在中間松卷箱式退火时，采用調正保溫時間的办法，把最終碳含量降低到 0.002—0.005 % 是最好的，但是根据所要求的鉄損值来看，把碳脱到这种程度并不总是有必要的。例如，对 4 % 鋁、1 % 硅的合金，当最終碳含量为 0.013 % 时，其鉄損为 1.83 瓦/公斤。

上述处理是两次冷轧法。指出最終压下量限制范围的目的是，提供冷轧的临界压下

量，以便在最終退火時能出現可能的最大晶粒，從而得到最低鐵損。對於某些用途，可採用一種簡單而便宜的操作工藝，但所得的鐵損比實例 1 給出的鐵損值要高。這種簡單的方法舉例如下：

例 2

(1) 成分範圍、鋼的製造、熱軋成鋼帶、酸洗、熱軋鋼帶切邊等與例 1 相同。

(2) 冷軋到最終尺寸。

(3) 在 850°C、在露點為 55°C 的濕氫中進行敞開退火。可以採用松卷箱式退火，也可採用連續退火；但如例 1 所述，最好採用後者，因它不產生鋼卷變形。

由此可知，例 2 不包括臨界變形操作，而只用一次脫碳熱處理操作。這樣處理的產品，與按例 1 方法處理的同成分產品相比，它具有較小的晶粒和較高的碳含量，而這兩個因素卻對鐵損有不利影響。

這種缺點可以用增加熱處理溫度到 1020°C，並使用露點為 15°C 的氫氣的方法來克服。這種高溫處理將增加晶粒尺寸和降低碳含量，從而降低材料的鐵損。但是，這種處理只能在特殊設計的爐子中進行，以保證退火後材料的平直度。

實例 1 和 2 的變更

通常，用戶在沖剪加工後，要再次進行退火以恢復材料的磁性。在使用脫碳氣氫和防止吸收氮的條件下，由於這種消除應力退火的保溫時間是足夠長，因此可有效地脫碳。這樣，用戶在沖剪後進行的退火能夠用來取代鋼帶的最終退火。

因此，本專利兩個例子中都可以取消最終退火（在 2 例中分別是第 6 和第 3 工序）而鋼帶以“非最終退火”狀態發送給用戶。

譯自英國專利 1094975 號（1967 年）

用改进盛钢桶操作的方法生产高 磁性电工钢

本专利的目的是为了改进生产电工钢时的盛钢桶操作。这样可易于生产出磁性优良的电工钢，而成本也不高。

如图 1 所示，为了得到要求的磁性，必须把碳和硫分别降至 0.02% 及 0.01% 以下。这可用精选炉料和延长精炼期的通常冶炼工艺来达到。

但是，借助于改进冶炼工艺使每炉钢的硫含量都降至 0.01% 以下是不容易的。

因此，本专利的目的是提出一种既简单又经济的去除电工钢（如硅钢）中硫和夹杂物的方法，这种方法就是改进盛钢桶操作。

本专利不限于应用某一类型的炉子。但是用倾动式平炉比用 L—D 氧气转炉或固定式平炉，能够得到更满意的结果。

通常的脱氧方法是把脱氧剂（如铝、硅等）单独地或混合着加到盛钢桶内。这样加入的脱氧剂与钢水中的氧起反应形成脱氧产物。大部份的脱氧产物从钢水中被去除了，但是不够完全。假如适当调整脱氧剂的种类和数量，使脱氧产物的熔点降低、流动性良好，那么，就可避免在钢水中残留下脱氧产物特别是高熔点的脱氧产物（它均匀地分散在整个钢水内，并对钢的磁性有不利影响）。

众所周知，可用苏打粉、萤石等去硫。但是没有一种操作方法可同时完成脱氧和去硫，本专利在合金化和把夹杂物降到很低水平的操作中，同时实现了脱氧和去硫。几乎完全去除了在钢水内所形成的有害元素。因而易于经济地生产出磁性优良的电工钢。

下面介绍本工艺的实际操作：

图 1 表示碳、氧、硫和磷对电工钢磁滞损失的影响。图 2 是说明本专利所用设备的部份截面图。

所用的设备（见图 2）包括倾动式平炉 11。无渣的钢流 13 由出钢槽 12 流出，并且通过钢液 16 的表面 15 上的渣层 14，流进盛钢桶 17 中。漏斗 19 内装有铝、钙、硅、苏打粉、萤石、冰晶石和合成电炉渣等固体混合附加剂，它还有一个用来调节倾倒数量和倾倒位置的机构。漏斗的滑槽 18 应这样布置：使它能按照要求的数量，把附加剂连续地倒入盛钢桶中，并能与钢流流在同一点上。盛钢桶 17 中的附加剂有助于脱碳和去硫。而另一方面，低熔点的助熔剂立即熔化，覆盖钢液的表面形成了渣层 14。

为了实现沉淀脱氧，脱氧剂颗粒的直径最好限制在 10~50mm；而其它造渣剂和净化剂颗粒的直径最好 ≤ 10mm。颗粒尺寸越小，它们对本专利的实际操作就越有利。当钢水从炉内流出通过渣层 14 时，便去除了固体氧化物夹杂。