

内部

硅钢片参考资料

(三)

国外专题文章

1971

山西太原钢铁公司革命委员会生产组

目 录

1. 氧气转炉炼电工钢	(1)
2. 重复渣洗时搅拌强度对变压器钢质量的影响	(5)
3. 威尔士炼钢公司的连续铸锭	(9)
4. 扁坯加热制度对冷轧变压器钢磁性的影响	(14)
5. 固溶退火对于 3 % 硅钢晶粒择优长大的意义	(19)
6. 变压器钢的低温脱碳	(26)
7. 关于硅钢片的脱碳	(30)
8. 电工钢板在保护气体中的脱碳退火	(45)
9. 高温热处理介质对变压器钢组织和磁性的影响	(49)
10. 冷轧变压器钢带拉伸退火的若干工艺特点	(53)
11. 生产新牌号的极薄电工钢的工艺特性	(58)
12. 冷轧变压器钢中的铝	(61)
13. 冷轧变压器钢中的非金属夹杂	(67)
14. 铁—硅—铝无取向电机薄板	(76)
15. 具有立方织构的新型铁硅材料的性质及应用	(80)
16. 低噪音的 6.5% 铁硅合金薄板的发展和应用	(82)
17. 含硅量超过 3.25% 的织构铁硅合金的磁性	(85)
18. 变压器钢一次再结晶基体稳定化的组织特点	(88)

19. 硫对3.25%硅钢片晶粒成长的影响	(92)
20. 硅钢片内产生(110)[001]织构的原因及条件	(98)
21. 在3%硅钢中二次晶粒长大时硫化物的凝聚	(104)
22. 应用氮化铝和氮化钒生产晶粒取向硅钢的比较	(107)
23. 溶质(硫、氮)对铁硅二次再结晶的影响	(109)
24. 3.1%铁硅合金中氮的作用	(112)
25. 在3%铁硅合金中 $\{111\} \langle hkl \rangle$ 的二次再结晶	(119)
26. 3%硅钢中的冷轧织构和(110)[001]二次再结晶 织构.....	(129)
27. 在变压器钢内用铝、钛、钒、锡代硅问题的报告	(136)

氧气转炉炼电工钢

在氧气转炉内炼电工钢，有几个优点：

- 1) 炉料中的废钢少，或者只用矿石作冷却剂，以保证成品中镍、铬、铜的总量不超过0.10%，低于平炉炼的钢；
 - 2) 与平炉相比，容易得到低的含碳量，去硫条件也好些；
 - 3) 温度制度灵活。钢中氮和氢的含量都低于平炉钢。
- 冷轧和热轧电工钢的化学成份（氧气转炉炼的）见表1。应指出，炼出成品硫小于0.025%的钢，并不困难。

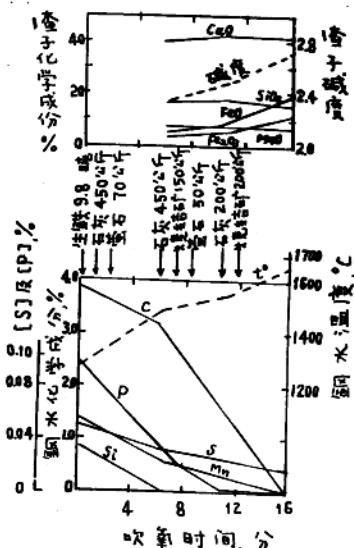


图1 钢与渣在10吨转炉吹炼过程中的化学成分变化

吹氧制度和造渣制度，与炼10KΠ及08KΠ等低碳钢并没有什么区别。对含硫要求严格的冷轧电机钢，应采用特殊方法。在55吨转炉内炼冷轧电机钢至1300时，向通常的二批石灰和铁矿料中附加第三批由400公斤石灰及100公斤萤石组成的料，可使脱硫程度

由22%提高到54%。

用10吨轉炉进行試驗时,在吹炼过程中加入火砖块及螢石,鋼的脫硫效率达到65%。硫在鋼与渣中的分配系数等于10—13 (高于平炉)。

氧氣轉炉鋼中的硫含量,基本上取决于生鉄內的含硫量。为得到含硫小于0.025%的电工鋼,生鉄中的硫不应超过0.045%。

表 1 氧氣轉炉炼的电机鋼的化学成份

轉炉容 量 (吨)	炉 数 号	化 学 成 份 %						
		C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr
25	3	0.06—0.07	0.94—1.20	0.24—0.44	0.021—0.024	0.007—0.013	痕迹	0.04
55	4	0.06—0.07	1.35—1.75	0.28—0.45	0.021—0.030	0.008—0.018	痕迹	0.03
10	17	0.06—0.10	1.94—2.4	0.25—0.45	0.016—0.023	0.018—0.024	0.02	0.05
	32	0.04—0.07	2.89—3.6	0.30—0.38	0.020—0.004	0.015—0.010	0.02	痕迹

图 1 为10吨氧氣轉炉用双渣法炼电机鋼时,吹炼过程中鋼与渣的化学成份变化。

研究确定,对下注的电机鋼,出鋼温度不应超过1600—1610°C,否則桶內加硅鉄后会使鋼水过热。过热的鋼水出鋼,則引起气体过飽和并使鋼錠粘結錠模。

电机鋼的脫氧,是用75%的硅鉄和錳鉄加于桶內。三分之二的硅鉄是出鋼前加于桶內,其余的在流鋼过程加入。沿着盛鋼桶的高度,硅的分布是均匀的。硅鉄的块度应为15—20厘米。表 2 是10吨盛鋼桶連續浇鑄过程中,鋼样化学成份的分析結果 (分布均匀)。

表 2 电机鋼32在連續浇鑄过程中桶內取样的化学分析結果

試 样 号	成 品 长 度 (米)	鋼 的 化 学 成 份 %				
		C	Si	Mn	S	P
1	2	0.05	3.60	0.42	0.020	0.020
2	5	0.04	3.56	0.43	0.019	0.020
3	7	0.05	3.52	0.44	0.020	0.015
4	8	0.05	3.60	0.44	0.016	0.019
5	11	0.06	3.54	0.44	0.016	0.020
1	1	0.06	2.99	0.31	0.021	0.022
2	4	0.05	2.90	0.34	0.021	0.021
3	6	0.05	2.89	0.34	0.018	0.025
4	10	0.04	2.90	0.37	0.022	0.023

出鋼过程中，桶內成份的变化以磷、硫和錳較大，桶內脫硫程度約為10—20%。脫氧后成品鋼的磷含量，通常增加1.5—3倍。

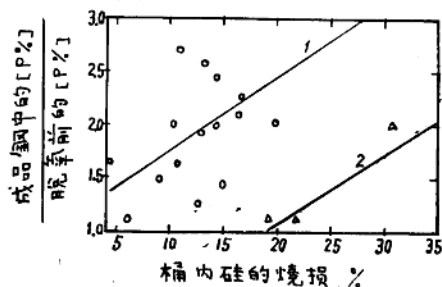


图2 鋼中磷的还原程度与硅的烧损量的关系

1—10吨盛鋼桶，322及332鋼；
2—55吨盛鋼桶，313鋼。

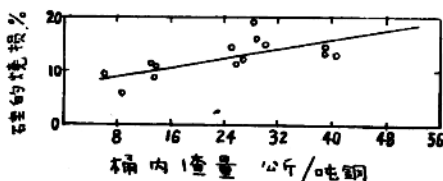


图3 出鋼时桶內渣量对硅的烧损量的影响

由图2可見，随着硅的烧损量的增加，磷由渣子向鋼中的还原程度也增加。在25吨轉炉試炼电机鋼时，錳由渣子向鋼中的还原程度，在出鋼时可达50%；在55吨及10吨轉炉炼电机鋼时，錳的还原程度为0—10%。

为避免桶內的磷及錳由渣子还原到鋼內，可以用碎石灰和錳砂的混合料使渣子变稠。在55吨轉炉炼电机鋼时曾用此法，完全消除了磷及錳的还原。

对各种容量的轉炉，硅的烧损变化在5—35%范围內。减少由轉炉流向桶內的渣量，可减少硅的烧损（图3）。

表3

氧气转炉电机钢的磁性

炼钢条件	钢号	化学成分%		钢板厚 (毫米)	铁损 (瓦/公斤)		磁感(高斯)			弯曲 (次)
		C	Si		P _{10/50}	P _{15/50}	B ₂₅	B ₅₀	B ₁₀₀	
ГОСТ 802-58 平炉 25吨转炉	热轧 Э13	0.10	0.8-1.8	0.5	2.8	6.5	15000	16200	17500	10
		0.08	1.8	0.5	2.6	6.3	15650	16700	17500	40-50
		0.07	1.59	0.5	2.15	5.5	15700	16800	18000	43-78
ГОСТ 802-58 30吨电炉 55吨转炉	冷轧 Э1300	0.07	1.0-1.8	0.5	2.5	5.8	15500	16400	17300	10
		0.04	1.52	0.5	1.93	4.42	15600	16600	18000	40-60
		0.04	1.52	0.5	1.90	4.30	15700	16700	18000	40-60
		0.07	1.75	0.5	1.75	4.0	16200	17300	18600	44-55

表3列出了电机钢电磁性能的检验结果(热轧的及冷轧的),以及ГОСТ标准上的要求。

摘译自(苏)《冶金学家》1965年12期

重复渣洗时搅拌强度对 变压器钢质量的影响

許多工厂用另一个炉子炼出的氧化鈣——氧化鋁合成渣，处理平炉鋼水和电炉鋼水，也有用本炉还原期形成的碱性白渣，在出鋼时处理电炉鋼水。

新——里别茲冶金工厂，在100吨电炉內炼电工鋼(3 %Si、0.04—0.05 %C)，再連續磷錠。在掌握这种鋼的炼鋼工艺时，出鋼时用最后的白渣处理鋼水。但是这样做时，鋼水所达到的净化（去除硫和去除夹杂）程度，并不能滿足生产的要求。不久，車間就过渡到两次渣洗。这时，除了真空——渣洗操作外，还采用电炉白渣在空气中两次处理鋼水。

两次处理时，鋼水与渣子同时由炉內流向无塞棒的盛鋼桶，所有的渣子与鋼水再由該桶轉注到有塞棒（安在架上）的注鋼桶。倒包后用有塞棒的盛鋼桶进行浇鑄。倒包时，由于鋼水与渣子的密切接触，去除了溶解的和悬浮的杂质，鋼水达到了完全的净化。

重复渣洗时，渣子的精炼效率取决于渣子的精炼活度（与渣子成份及温度有关），和渣相与鋼相間的搅拌强度。

本文研究倒包速度对净化程度的影响。試驗鋼号的倒包时间为1分鐘到6分鐘，相应的倒包速度 V_0 为17—100吨/分。全部試驗炉号，鋼流的落下高度都是一样的：倒包开始为5米，结束时为1米。

試驗炉号的造渣制度是相当稳定的。与作对比炉号的渣子相比，其平均成份沒有很大差别（表1）。当炉外处理的温度为1620—1650°C时，这些渣子具有高的流动性。

在出鋼和倒包过程中，流股高度的变化，和落下鋼水重量的变化，都对搅拌强度有影响。因此，鋼水与渣子間相互作用的强度，可以用动能 W_k ，或者用鋼水与地下盛鋼桶的渣面相遇时流股功率 N_{CTP} 来表征。在等速倒包时，这两个数值可用下面熟知的关系式，与降落高度 H 联系起来：

$$dW_k = mgdH;$$

$$\text{和 } dN = \frac{mg}{\tau} dH$$

式中： m ——鋼水重量；

τ ——轉注鋼水的时间；

g ——自由落体的加速度。

在所述的降落条件下，当鋼水量为100吨时，鋼水与渣子轉注到下面盛鋼桶的总动

表 1 变压器钢在重复渣洗时渣子平均化学成份及脱硫指标的变化

V _n 吨/分	試 样	渣 子 成 份 %							CaO SiO ₂	[S]%	L _s
		SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	CaF ₂	S			
100(6)	a	23.7	46.5	13.7	4.7	0.90	8.8	0.13	1.96	0.0200	6.5
	б	24.0	44.6	15.3	6.0	0.83	9.1	0.23	1.86	0.0052	44
	в	25.3	43.0	14.8	7.2	0.48	8.3	0.29	1.69	0.0025	116
50(7)	a	23.2	47.5	13.5	4.7	0.90	9.2	0.12	2.05	0.0185	6.5
	б	24.1	44.9	16.1	5.3	0.56	8.8	0.23	1.86	0.0049	48
	в	25.0	42.5	15.8	6.7	0.49	8.8	0.28	1.70	0.0026	107
33(4)	a	23.4	47.5	13.7	4.9	0.81	8.8	0.12	2.03	0.0195	6.1
	б	23.6	44.5	16.3	5.8	0.68	8.5	0.24	1.89	0.0052	46
	в	25.1	41.2	17.3	6.3	0.53	8.6	0.28	1.64	0.0029	97
25(2)	a	24.1	48.5	12.6	3.6	1.05	9.3	0.13	2.01	0.0210	6.2
	б	26.1	45.6	13.9	4.2	0.25	9.1	0.22	1.75	—	—
	в	26.6	43.1	14.5	5.6	0.38	8.6	0.27	1.62	0.0030	9.1
20(1)	a	24.4	43.7	16.5	5.8	0.58	7.8	0.12	1.79	0.0200	6.0
	б	24.5	43.6	16.2	7.7	0.61	7.2	0.24	1.78	0.0050	48
	в	25.5	39.6	19.0	7.3	0.67	7.0	0.28	1.50	0.0028	100

* a — 出鋼前炉內； б — 出鋼后桶內； в — 注鋼时桶內；

V_n—轉注速度（括号內为炉数）

能，根据計算是2.94万焦耳。与降落高度及倒包速度有关的流股功率，却在很寬的范围内变化。因此，試驗炉号根据平均功率作比較，在該条件下，仅与倒包时鋼水注速V_n成比例（表2）。

試驗炉号是按車間采用的工艺炼出的。出鋼后及浇注前，用插入式鎢—銻热电偶测温。

如图1所示，鋼水温度的损失，随着倒包時間的延长而增加。倒包速度为20—100吨/分时，自出鋼到注鋼的平均降温为40℃。两次渣洗时，正常的注鋼温度，要比仅用出鋼渣渣洗的低10—15℃（因为两次处理后的鋼水流动性增加了）。因此要在空气中

表 2

试验炉号钢中非金属夹杂物^{*1} 渣子夹杂物 (WB) 及氮含量 [N] 与倒包时^{*2} 搅拌强度的关系

(试样取自注钢中期的流股中)

V _n (吨/分)	N _{CTP} (千瓦)	N C	C C	A C	H B	W B	[N]
100(3)	49.0	1.32	2.62	0.38	4.37	3.72	8.8
50(7)	24.5	2.84	3.10	0.43	6.55	1.08	9.1
33(6)	16.3	5.03	2.66	0.93	8.83	0	8.6
25(4)	12.2	—	—	—	—	—	9.2
20(3)	9.8	7.57	1.91	1.76	11.38	0	9.6
17(3)	8.2	6.90	2.75	1.23	10.97	0	9.4

*1 N C—简单的硅酸盐; C C—复合的硅酸盐; A C—铝硅酸盐; H B—夹杂总量。

*2 V_n—转注速度 (括号内为炉数); N_{CTP}—流股功率。

重复渣洗的钢水, 在炉内应过热15—20°C。

出钢和倒包期间, 除硫外, 钢的化学成份都没有显著的变化。出钢前, 炉内的钢—渣系的硫距离硫的平衡很远 (表1)。因此, 在出钢时有紧密的相接触的情况下, 能观察到硫由钢往渣中大量转移。出钢时的去硫程度高 (达70%), 可解释为, 原来的状态很不平衡, 以及炉内的渣子在1700—1750°C时流动性高的缘故。

重复渣洗的结果表明: 硫在钢与渣中的分配系数 L_s , 平均增加到116。根据我们的测量, 在这种型式的硅钢和渣中, 平衡时的分配系数 L_s 为140—150。因此, 重复渣

洗, 使钢渣系中的硫接近于平衡, 显著地提高了精炼渣子的利用程度。

表2和图2表明: 钢的去硫程度、非金属夹杂的含量及氮含量的变化, 都与重复渣洗的强度有关。当增加倒包速度 V_n 时, 主要是降低了简单的硅酸盐, 及铝硅酸盐的数量。但是用非常强的流股倒包时, 却增加了钢的污染度 (乳化的渣子微粒)。强烈倒包时桶内的有力循环, 有助于更完全地由桶内排出非金属夹杂物。同时利用留在钢水上面盛钢桶四周的渣层, 来同化夹杂物。

研究表明: 氮在出钢时增加0.0006—0.0008%, 而在倒包时仍增加0.0003—0.0004% (可能是由于氮由渣中转入钢中)。倒包速度为33—100吨/分时, 大体说来, 钢中的含氮量, 低于倒包速度为17—25吨/分的。

在工厂内生产冷轧变压器薄板时, 按不同的方案, 操作过程的每一环节, 都对薄板的质量有显著的影响。在这种情况下, 成品钢的电磁性能, 与钢水重复渣洗的强度之间, 还不能用精确的关系来确定。倒包速度25—50吨/分时, 得到最多的高牌号产量,

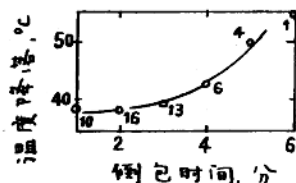


图1 反复渣洗时钢水的温度损失与倒包时间的关系 (曲线旁的数字为炉数)

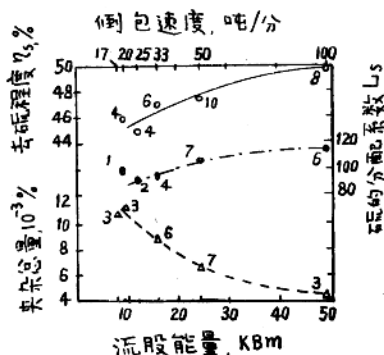


图2 反复渣洗的强度对于钢的去硫 (去硫程度 η_s 和硫在钢与渣中的分配系数 C_s) 和去除非金属夹杂 (ΣHB) 的影响 (曲线旁边的数字为炉数)

而倒包速度为17—20及100吨/分时, 这方面表现的效果较差。

结 论

1. 两次渣洗变压器钢水, 可以显著地提高钢的纯洁度, 并可更完全地利用渣子的精炼能力;
2. 具有碱度1.8—2.0、含MgO达15%的还原白渣, 在出钢时及重复渣洗时, 有良好的去硫能力;
3. 二次渣洗时, 100吨钢水的倒包速度应为30—50吨/分。

譯自(苏)《鋼》1970年第1期

威尔士炼钢公司的连续铸锭 (摘译硅钢部份)

威尔士有限炼钢公司于1947年建成,它主要生产热轧薄板、冷轧薄板、冷轧带卷、镀锌薄板和电工钢等。

该公司的连铸机在1963年开始试生产。在一些钢种的浇铸技术上得到了发展,其中包括含有0.5—3%硅的镇静钢和铝镇静钢。这些钢的标准操作工艺已在生产的基础上制定出来。

该车间有四个60吨的转炉。其工艺过程的主要特点是: a) 转炉是底吹的,鼓入的风是氧和水蒸汽的混合物; b) 利用高磷铁时必须采用双渣操作,以保证钢的合适成份; c) 在冶炼对氢的危害性特别敏感的钢时(例如,镇静钢),采用后吹氧和二氧化碳的混合物。

含硅电工钢的浇铸操作

该公司所生产的电工钢的含硅量在0.5—3%范围内。

开始研究电工钢的连续浇铸时,只限于含硅量0.5—1%。用连铸设备浇注这些钢时,起初操作有以下的特点: 1) 在钢模内的钢液表面上形成浮壳(称做硬壳); 2) 在钢模内钢液表面上存在有夹杂。要去除这些在浇铸时连续形成的硬壳是不可能的,这些硬壳通过弯月面卷到表面上。

钢模内存在的杂质将随同硬壳一起卷进到扁坯内部,这些杂质同样也卷到扁坯的表面上。这些杂质可深入到表面层下面25.4毫米处。这样,为了去除杂质,就必须进行过量的火焰清理。在皮下气泡处也发现有杂质。杂质的化学分析表明,它们主要是由二氧化硅和氧化锰组成,未含五氧化二磷;这说明它们是在浇铸时,钢水氧化的产物,在由这些扁坯所轧成的薄板中,同样存在硬壳和卷入表面的杂质等缺陷,表现为严重的夹层,而这样的薄板只好报废。

起初利用了种种方法(如利用惰性气体、漂浮于钢水面上的防溅木板、双注口等)企图减少模内浮渣与硬壳的形成,但是没有成功。

在模内应用了一种合成渣保护后,这个问题就解决了。这个技术也在其它地方成功地被采用了。这些渣子以粉状的形式加入到钢模内的液面上;然后,这些粉状渣熔化,在弯月面上形成渣液层。最初的操作方法是在整个浇铸的过程中连续地加入,以便保持一个完全的渣复盖层。应用这种操作方法时,在整个浇铸过程中,渣层的厚度逐渐增加,并且在钢模下产生严重的裂缝。每次裂缝都是在浇铸了15.3—18.3米后、也就是

在浇鑄20—25分鐘后产生的；在这段時間內，已往銅模內加入18公斤左右的熔剂，形成了75—100毫米厚的渣层。即使是应用若干不同类型的熔剂，也要产生裂縫。倘若利用特制的勺，每8—10分鐘去除一次液态渣层，然后再加上新的粉状渣，則可避免在銅模下产生裂縫。这种方法可保持一个合适的薄合成渣层。

在浇鑄的过程中，加入足够数量的渣子，以便完全复盖住穹月面。在浇鑄的末尾，当扁坯的頂部开始离开銅模而进入到噴水雾区前的时候，应尽可能多的去除掉液渣。用若干种不同的熔剂作了試驗，而效果最好的熔剂是由粉状的石灰、氧化錳、氧化硅和少量的碱性氧化物組成。粉的粒度是95%顆粒小于100篩孔（英国标准网目）。

在浇鑄时进行的試驗表明，渣层下沒有形成硬壳，因为热輻射减少了。在浇鑄时渣子的化学成份发生变化，二氧化硅、氧化錳和氧化鉄的含量增加了。这表明，熔剂吸收了鋼中的杂质。虽然，成份变化不足以引起粘度的显著变化（可以用流动小球試驗来测定），但是在实践中已經发现，較好的办法是有规律地去除和更換合成渣。浇鑄时渣子的消耗是每吨鋼1—1.5公斤。

这个技术也已經成功地应用于2%和3%硅鋼的浇鑄上，偶尔也应用于鋁靜鋼的浇鑄上。現在正在研究改变現有的合成渣成份的可能性，以便在浇鑄时能获得流动性更良好的、助熔能力不变的渣子。

連鑄生产的硅和鋁靜鋼扁坯质量，在一定程度上取决于所用的中間盛鋼桶的各种类型注口的性能和适宜性。注口的性能受各种因素的影响，例如鋼水的状态、溫度和鋼的成份等。

在整个浇鑄的过程中，主要是保証中間盛鋼桶鋼流良好的流动性。散流的鋼水引起鋼水在模子中过度地噴濺，这样就很难保持良好的复盖层。在浇鑄0.5%和1.0%硅鋼时，含有38%氧化鋁的坚固的耐火粘土注口具有良好的性能。在浇鑄高硅鋼和鋁靜鋼时，应用6%石墨耐火粘土注口証明是合适的。单注口和双注口中間盛鋼桶都成功地应用于浇鑄低硅鋼。一般說来，利用双注口中間盛鋼桶时，在模子中可保持較好的渣复盖层。然而，从操作观点来看，单注口中間盛鋼桶在現在更为实际些。目前，对硅含量較高的鋼以及鋁靜鋼來說，应用单注口砖的中間盛鋼桶比較成功。因为，采用直径較大的注口磚时，是不易产生阻塞現象的。

工 艺 过 程

低 硅 鋼

利用合成渣保护浇鑄时，可消除由于硬壳和夹杂形成的严重缺陷所引起的扁坯报废。这种扁坯的特点是有严重的波纹，这与銅模往复运动的周期有关。然而，在重新加热和軋制前必須对扁坯进行100%的清理，以便暴露出若干小缺陷；这主要是渣的残余物，它是合成渣保护下浇鑄出的扁坯的特点。这些残余渣粒在初始扁坯表面上是看不見的。并且，倘若它存在的话总是与波纹的特点有关；不論它是在扁坯的寬面上、还是边

緣上都是这样。一經暴露出来后,就可易于用表面缺陷清理机清除掉。图1示出了在合成渣保护下浇鑄的0.5—1.0%硅鋼的表面清理量。在100%火焰清理后,94%的材料还要求額外的10%的斑点清理,以清除掉残余渣粒。而余下的6%材料則要求10—40%的額外清理。

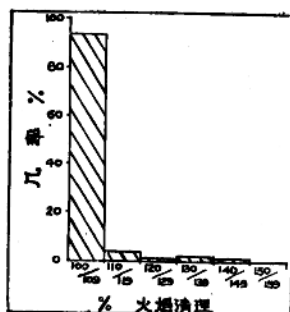


图1 連鑄的0.5%和1.0%硅鋼扁坯的表面清理量

从扁坯至成品的操作工序与普通浇鑄的扁坯的操作工序一样,也沒有遇到什么問題。热轧带材的宽度与原扁坯的宽度一样,或者較原扁坯宽些。带卷的边緣是良好的,与普通卷材相比,并不要求更多的剪边。表1說明利用連續浇鑄可获得高的收得率。

尽管扁坯是經過100%的火焰清理,但是收得率(热轧带材卷/鋼水)至少要比普通的收得率(热轧带材卷/鋼錠)高10%。这是采用連續鑄的主要优点之一。

这种材料的磁性相当于普通材料的磁性。

表1 0.5%和1.0%硅鋼收得率一览表

收 得 率	0.5% 硅 鋼	1.0% 硅 鋼
扁 坯/鋼水 %	96.6	96
热轧带卷/鋼水 %	90.9	90.2
优 质 板/鋼水 %	80.2	76

高 硅 鋼

直到目前为止,有关高硅鋼的浇鑄和工艺的經驗沒有低硅鋼多。然而,經驗表明高硅鋼

的冷却是特别重要的。在二次冷却区域，冷却到 100°C 的扁坯将出现裂纹，这是由高硅钢在低温时的脆性本质所决定的。当扁坯通过二次冷却区域时，就形成明显的裂纹，可以听到扁坯产生裂纹的声音。

因此，在浇铸时要控制水的冷却，使得扁坯的表面温度在通过二次冷却区时保持在 $700-800^{\circ}\text{C}$ 。这样就可保证用连铸机拉出扁坯时，使其温度至少在 $400-500^{\circ}\text{C}$ 之间。

把扁坯堆放在小车上，用砖把扁坯的底部与小车的钢结构隔开；然后迅速运到扁坯仓库，这样温度就降低的很少。

应该在尽可能高的温度下清理扁坯，通常在 $250-300^{\circ}\text{C}$ 之间清理，若在 200°C 以下清理，扁坯就要产生裂纹，这样的扁坯是不能用来轧制的。由于要在连铸机内阻止扁坯的拖出是困难的，有时只好听任其冷却到室温。由于连铸扁坯的组织是一种铸造组织，因此，与用初轧机轧制普通钢锭所获得的板坯相比，连铸扁坯对温度突变的敏感性更大些。这意味着，增加了在扁坯库存放高硅连铸扁坯的困难（与存放普通扁坯相比）。

清理后扁坯的温度约为 250°C ，或者把它堆放在温度较高的扁坯堆中间，则其温度会增加。轧制前用此方法使扁坯在扁坯库内存放96小时，这样不会有产生裂纹的危险。

高硅钢进行的浇铸以及工艺过程的有关试验，开始是用3%硅钢来进行的，因为这种钢的需要量比2%硅钢的需要量大。直至目前为止，所生产的大部份扁坯都是在试验初期作过试验的扁坯。初期试验产生的问题是散流和低的浇注速度（ $30-37.5$ 厘米/分），这与中间盛钢桶的注口有关。一般说来，扁坯的表面质量要比用普通方法得到的板坯的表面质量差，其主要缺陷是夹层和卷进表层的残渣。因此，这些扁坯的表面与普通板坯表面相比，呈现出范围更广泛的皮下夹层。改进浇铸条件可改善这些扁坯的最终表面质量，从而能与普通板坯的表面质量相媲美。

由于连铸的高硅钢具有极粗大的柱状晶组织，因此已经发现，为了在热轧的过程中生产出边缘良好的卷材，就必须剪切钢卷的边缘。在热轧过程中宽展25毫米的扁坯将生产出边缘极差（边裂和蔓延开的齿状缺陷）的卷材。这样一来，这些卷材除了通常的切边外，还需要再切边，因此切边损失很高。在热轧过程中，若把扁坯侧向轧成比原扁坯宽度小25毫米的卷材，则可显著地改进卷材的边缘质量，并且不要求再切边。这种材料的切边损失与普通材料的切边损失相类似。

3%硅钢的磁性是令人满意的。

已用合成渣浇铸2%硅钢，可获得优质的扁坯，收得率（扁坯/钢水）为97.7%。从扁坯至优质薄板的收得率相当于普通材料的收得率，其磁性是良好的。由于还没有浇铸足够数量的3%硅钢，不能获得可靠的收得率的数据，但是许多迹象表明，其收得率与低硅钢收得率差不多一样。

连铸硅钢的组织 and 偏析

低硅钢的低倍组织，都是细晶粒组织，而显微组织具有通常的铁素体/珠光体的铸造组织特征。然而，硅含量为2%或2%以上的硅钢组织则是一种较为粗大的晶粒组

織，并且3%硅鋼的低倍組織(图2)由三部份組成：等軸細晶粒的驟冷区；粗大的柱狀晶区；等軸晶粒的中心区。从低倍組織可明显地看出：为什么連鑄的高硅鋼扁坯对温度的突变很敏感。



图2 連鑄的3%硅鋼扁坯的低倍組織

60吨的鋼水可生产出两根約21米长的扁坯。为了研究連鑄高硅鋼的偏析情况，从1.8米、10.8米和20米的位置上(从扁坯尾部算起)切下横截面的試样，分析碳、硫、磷、錳和硅。钻孔的地方离断面窄边

为50毫米和340毫米。图3示出了碳、硫、磷、錳和硅在連鑄3%硅鋼中的典型分布情况，它是由钻孔分析得出的偏析百分数。所有元素的含量都在該鋼号的允許范围内。

还发现对于另外一些牌号的硅鋼，这些元素在横截面与整根縱截面上的分布都是均匀的，沒有显现出系統偏析的傾向。碳的分析表明，用合成渣浇鑄这些硅鋼时，鋼水沒有产生增碳現象。

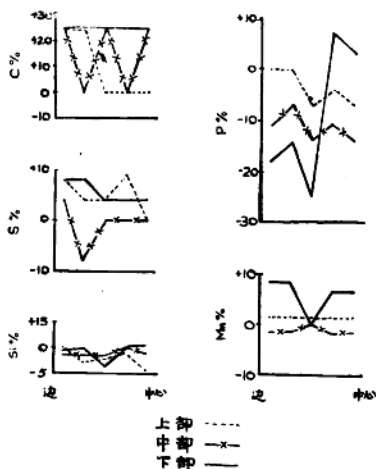


图3 3%硅鋼各元素的分布情况(%) (钻孔分析)

摘譯自(美)《电炉会报》1966年24卷

扁坯加热制度对冷轧变压器 钢磁性的影响

近10—15年发表了一系列工作，介绍热轧前提高金属加热温度和延长加热时间，以改善冷轧变压器钢的磁性。但是加热制度对钢的磁性影响的机理，并未详细研究过。本文总结了扎波罗日钢厂1961—1967年内在这方面的研究结果。

该厂将断面 135×810 毫米的扁坯在四段连续式加热炉中加热，然后经10机架连轧机轧成2.2毫米的钢带。

按过去通用的加热和轧制制度，加热段最高温度 $t_{c.n}$ 是 $1250-1300^{\circ}\text{C}$ ，而最低温度 $t_{c.n}$ 不低于 1200°C ；均热段的温度 $t_r=1220-1270^{\circ}\text{C}$ ，加热时间 τ 不小于2.5小时。粗轧机组的轧制温度 $t_p=1030-1080^{\circ}\text{C}$ ；终轧温度 $t_k=780-830^{\circ}\text{C}$ ；卷取温度 $t_{c.m}=620-670^{\circ}\text{C}$ 。

1. 板坯加热时间的影响

统计整理现在生产的资料表明：0.35毫米及0.50毫米厚的钢板（斜线的左方和右方），随着扁坯加热时间（ τ ）的延长，其磁性也跟着提高（ N 和 n 分别为批数和炉数）：

τ (时:分)	N	n	B_{20} (高斯)	P_{10} (瓦/公斤)
2:10—2:29	25/68	8/14	18430/18550	1.58/1.95
2:30—2:59	157/329	35/76	18430/18540	1.56/1.94
3:00—4:00	54/41	11/114	18630/18780	1.49/1.89

该结果不仅对0.35毫米厚的钢板表现出这种倾向，而且对0.5毫米厚的钢板也表现出这种倾向，不过程度要轻些。

为了检验得到的结果，把12个扁坯（每炉2个共6炉）装在停工检修前的一个均热炉内。轧机停工时刻，在出料口放一个1000毫米宽的碳素钢扁坯（防止前面的变压器钢扁坯受冷），其后6块变压器钢的扁坯放在炉子均热段的炉底上；其余板坯放在加热段的炉底水管上。在这样的安置下，板坯于 $1200-1240^{\circ}\text{C}$ ，在炉内保持4小时。总的板坯加热时间（按在炉内运行的时间计算）为11小时。

在炉底上均热四小时（板坯1—6）的扁坯，其磁性要比普通加工的炉号高些，性能也均匀些。扁坯7—12，在加热段保持同样长的时间，其磁性却比普通加工炉号低很