

· 组织和性能 ·

宝钢涂层半工艺无取向电工钢的退火工艺和产品特性

陈晓

(宝钢分公司硅钢部, 上海 200941)

摘要 宝钢涂层半工艺无取向电工钢产品 B50A700T ($\leq 0.003\% \text{C}, 1.25\% \sim 0.65\% \text{Si}$) 和 B50A1300T ($\leq 0.003\% \text{C}, 0.50\% \sim 0.15\% \text{Si}$) 由铁水预处理-顶底复吹转炉-RH-连铸-热轧-冷轧-退火工艺生产。试验了成品退火温度 550 ~ 900 °C 对该无取向电工钢 HV1 硬度值的影响和 680 ~ 800 °C 消除应力退火对该钢磁性的影响。在采用成品退火温度 650 ~ 700 °C 生产的涂层半工艺无取向产品, 经 750 °C × 2 h 消除应力退火后, 牌号 B50A700T 的铁损为 4.10 W/kg, 而牌号 B50A1300T 的铁损为 4.70 W/kg。

关键词 涂层 半工艺 电工钢 退火

Annealing Process and Product Characteristics of Baosteel's Semi-process Non-oriented Electrical Steel with Coating

Chen Xiao

(Silicon Steel Dept, Baosteel Branch, Baosteel Iron and Steel Co Ltd, Shanghai 200941)

Abstract The products B50A700T ($\leq 0.003\text{C}, 1.25 \sim 0.65\text{Si}$) and B50A1300T ($\leq 0.003\text{C}, 0.50 \sim 0.15\text{Si}$) of semi-process non-oriented electrical steel with coating are produced by hot metal pretreatment-top and bottom combined blowing converter-RH-CC-hot rolling-cold rolling-annealing process at Baosteel. Effect of annealing temperature at 550 ~ 900 °C on HV1 hardness value of the non-oriented electrical steel and effect of stress-relief annealing at 680 ~ 800 °C on magnetic properties of the steel were tested. For the finished semi-process non-oriented electrical steel products with coating annealed at 650 ~ 700 °C, the core losses of designation B50A700T and designation B50A1300T stress-annealed at 750 °C for 2 h were 4.10 W/kg and 4.70 W/kg respectively.

Material Index Coating, Semi-process, Electric Steel, Annealing

电工钢冲成铁心后, 要对铁心进行消除应力退火, 消除应力退火除了去掉冲剪应力恢复磁性外, 还能使电工钢的晶粒长大, 铁损进一步降低。

1 涂层半工艺无取向电工钢的工艺

1.1 生产工艺流程及化学成分

宝钢 B50A700T 和 B50A1300T 属于涂层半工艺低碳低硅无取向电工钢产品, 生产工艺流程如下: 铁水预处理→转炉顶底复吹冶炼→RH 真空处理→

连铸→热轧→酸洗冷轧→退火涂层→剪切包装。

B50A700T 和 B50A1300T 的主要化学成分见表 1, 2 个牌号的化学成分主要区别在硅含量不同, 其它成分基本相同。由于 B50A700T 和 B50A1300T 硅含量低, 为满足用户冲片加工对力学性能的要求, 通过在成品退火时的调质退火处理生产出了涂层半工艺无取向电工钢, 而磁性的最佳状态要在用户消除应力退火后才能实现。

表 1 牌号 B50A700T 和 B50A1300T 电工钢的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of electrical steel designation B50A700T and B50A1300T /%

牌号	C	Si	Mn	P	Al	S	N
B50A700T	≤ 0.003	1.25 ~ 0.65	0.15 ~ 0.50	0.040 ~ 0.120	0.15 ~ 0.50	≤ 0.008	≤ 0.005
B50A1300T	≤ 0.003	0.50 ~ 0.15	0.15 ~ 0.50	0.040 ~ 0.120	0.15 ~ 0.50	≤ 0.008	≤ 0.005

1.2 成品退火温度对力学性能的影响

图 1 所示 B50A700T、B50A1300T 退火温度与硬度 HV1 的关系, B50A700 退火温度在 700 °C 前, B50A1300 退火温度在 650 °C 前, 随着退火温度的升高, 硬度 HV1 快速降低, 其后, 随着退火温度的提

高, 硬度 HV1 下降缓慢。因此, 根据退火温度与硬度 HV1 的关系, 针对用户对电工钢产品硬度 HV1 的要求, 合适的退火温度在 650 ~ 700 °C。

2 涂层半工艺无取向电工钢产品的特点

2.1 磁性

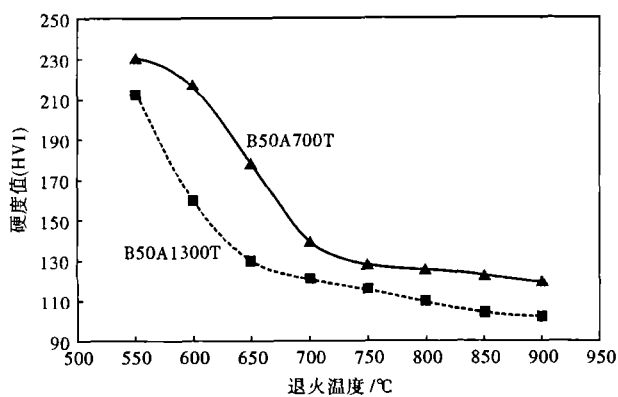


图 1 退火温度对电工钢成品硬度 HV1 的影响

Fig.1 Effect of annealing temperature on hardness HV1 of electrical steels products

从表 2 中可见:(1) B50A700T 在 750 °C × 2 h 条件下退火后的铁损 P15/50 为 4.10 W/kg,磁感 B50 为 1.72 T,铁损达到了中牌号无取向硅钢 B50A470 铁损标准水平,且磁感要比 B50A470 高 0.04 T,因此,该产品特别适合制造冰箱压缩机和空调压缩机铁心。(2) B50A1300T 在 750 °C × 2 h 条件下退火后的铁损 P15/50 为 4.70 W/kg,磁感 B50 为 1.74 T,因此,具有磁感高,较低铁损的特征,该产品已在制造空调压缩机铁心中得到广泛应用。

表 2 宝钢 B50A700T 和 B50A1300T 电工钢的磁性典型值
Table 2 Typical values of magnetic properties of designation B50A700T and B50A1300T produced at Baosteel

牌号	厚度/ mm	密度/ (kg · dm ⁻³)	典型值	
			铁损 P15/50/ (W · kg ⁻¹)	磁感 B50/ T
B50A700T	0.50	7.80	4.10	1.72
B50A1300T	0.50	7.85	4.70	1.74

注:(1)表中数据是按 JIS C2550-2000 测量,试样总数的一半是平行轧向,另一半是垂直轧向;(2)磁性试样是消除退火后测量,退火条件 750 °C × 2 h, N₂ 气。

图 2(a,b) 分别示出了宝钢涂层半工艺电工钢 B50A700T、B50A1300T 铁损曲线和直流磁化曲线。

2.2 力学性能

从表 3 中可见:(1) 涂层半工艺 B50A700T 比涂层全工艺 B50A700 的力学性能有明显改善,HV1 从 125 提高到 140,屈服强度从 265 MPa 提高到 360 MPa,特别是屈强比 (Y_p/T_s) 从 66.3% 提高到 78.3%。(2) 涂层半工艺产品 B50A1300T 比涂层

表 3 宝钢 B50A700T 和 B50A1300T 电工钢的力学性能典型值

Table 3 Typical values of mechanical properties of designation B50A700T and B50A1300T produced at Baosteel

牌号	屈服强度 (Y_p)/MPa	拉伸强度 (T_s)/MPa	硬度值 (HV1)	屈强比/ %	产品工艺
B50A700T	360	460	140	78.3	半工艺
B50A700	265	400	125	66.3	全工艺
B50A1300T	315	400	125	78.8	半工艺
B50A1300	255	370	115	68.9	全工艺

注:力学性能试样是消除退火前测量。

全工艺 B50A1300 的力学性能有明显提高,HV1 从 115 提高到 125,屈服强度从 255 MPa 提高到 315 MPa,特别是屈强比 (Y_p/T_s) 从 68.9% 提高到 78.8%。

由于宝钢涂层半工艺电工钢比全工艺电工钢力学性能有明显提高,从而延长了冲片模具寿命^[1] 和提高了冲片铁芯的尺寸精度。

2.3 涂层性能

目前,常见的电工钢涂层有 3 种类型:有机、无机和半有机涂层。

一般来说,半有机涂层又可以分成厚涂层和薄涂层 2 种。尽管随着涂层厚度的增加,冲片性上升,但厚涂层附着性和铆接强度降低。因此,为了兼顾冲片性、附着性和铆接性 3 个方面,宝钢涂层半工艺电工钢选择了半有机薄涂层。

对需要消除应力退火的涂层半工艺电工钢而言,半有机薄涂层的优点如下:

(1) 带涂层的带钢耐蚀性和防锈性好。(2) 在冲压端面剪切部分有一定量的涂层回落起到润滑作用。(3) 铁芯叠片在消除应力退火时,若带钢有涂层,带钢板面的粗糙度 R_a 在 0.25 μm 左右,表面光滑,叠片系数高。

2.4 时效性和带钢尺寸精度

电工钢成品中碳的存在会产生磁时效,这是因

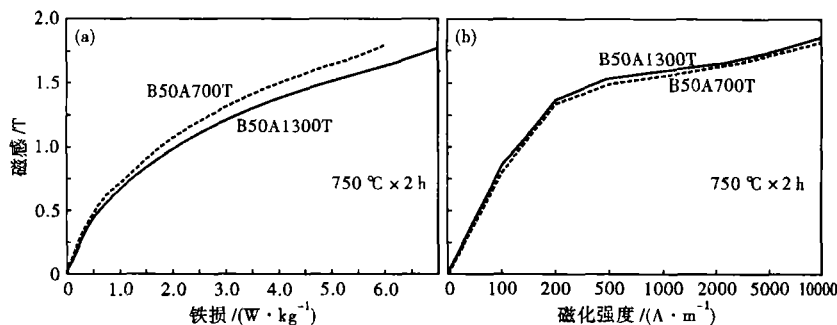


图 2 宝钢生产的电工钢铁损(a)和直流磁化(b)曲线

Fig.2 Curves of core loss (a) and DC magnetization (b) of electrical steel produced at Baosteel

为无取向电工钢在脱碳退火时,高温下碳的固溶度高,从高温较快冷却时,钢板中还没有脱完的碳来不及析出而形成过饱和固溶体。随着时间的推移,碳就漫漫地以细小弥散的 ϵ 碳化物质点析出,从而使矫顽力 H_c 提高,磁性变坏。宝钢涂层半工艺电工钢成品碳含量与铁损劣化率的关系见图3,一般标准规定,允许铁损劣化率在5%以内,从图3可见,涂层半工艺电工钢保证铁损劣化率在5%以内的允许碳含量小于0.003%,因此,宝钢提供的涂层半工艺电工钢的碳含量全部小于0.003%。

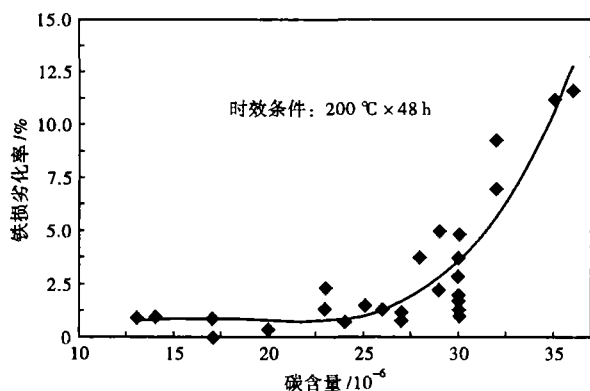


图3 碳含量对 B50A700T、B50A1300T 成品铁损劣化率的影响

Fig. 3 Effect of C content on core loss deterioration rate of designation B50A700T and B50A1300T

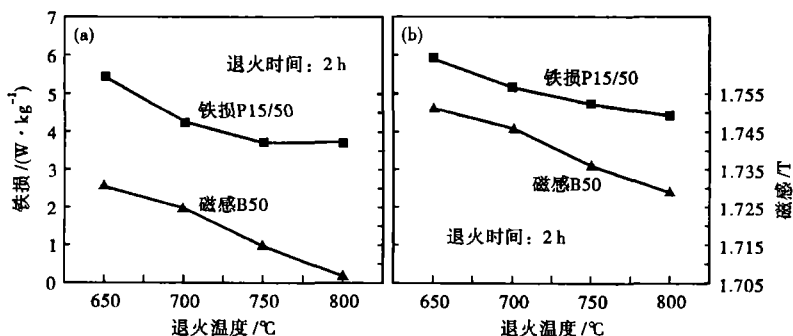


图4 消除应力退火温度对 B50A700T(a) 和 B50A1300T(b)磁性的影响

Fig. 4 Effect of stress-relief annealing temperature on magnetic properties of designation B50A700T (a) and B50A1300T (b)

宝钢电工钢冷轧是在具有世界先进水平的1550酸洗轧机联合机组上生产,该机组采用了紊流酸洗、横断面凸度检测仪、边缘降检测仪和板形仪的前馈后馈技术。使用了UCMW轧机的ASC、AGC控制技术以及特有的带锥度工作辊自动窜动技术。其0.50 mm钢板尺寸精度为 $\pm 5 \mu\text{m}$,宝钢电工钢产品

带钢尺寸精度达到了国际先进水平。

3 半工艺电工钢冲片铁芯的退火和发蓝

电工钢片在剪切与冲裁过程中,受冲压应力的影响,使冲片局部产生塑性变形,沿分离线0.5~1.0 mm的边缘晶粒歪曲和晶格畸变,磁畴受到破坏等,使硅钢片磁性恶化。因此,为提高电机效率,需要对电机叠片进行消除冲剪应力退火,以恢复磁性。

图4(a,b)示出了B50A700T与B50A1300T消除应力退火温度与磁性的关系,从图4中可见,随着消除应力退火温度的升高,铁损迅速降低,而磁感也随消除应力退火温度的提高在逐渐下降。以上现象的产生是由于电工钢晶粒随退火温度的升高而长大,从而使电工钢铁损中的磁滞损耗部分减少,但晶粒的长大又引起了电工钢难磁化织构比例的增加,导致了磁感的下降。因此,消除应力退火温度对磁性影响很大,用户必须要根据压缩机对铁损和磁感的设计要求综合考虑消除应力退火温度,宝钢推荐的消除应力退火温度为750℃,而退火时间的长短,主要由材料装炉量的大小以及摆放位置等来控制,以期达到最佳的退火效果。

电工钢经过退火后需要对冲片进行发蓝处理,发蓝处理通常是向炉内送入水蒸气,使铁芯冲片端面及表面生成致密的三氧化二铁薄膜。

根据反应机理^[2],发蓝温度不能高于570℃,但温度过低,则氧化缓慢。推荐的发蓝工艺:温度450~500℃,保温时间30~60 min,炉内露点60~80℃。

4 结语

针对用户对产品硬度HV1要求,宝钢生产的涂层半工艺电工钢B50A700T和B50A1300T产品合适的退火温度为650~700℃,用户应根据压缩机对铁损和磁感的设计要求综合考虑消除应力退火温度,推荐的消除应力退火温度为750℃。

参考文献

- 1 何忠治. 电工钢. 北京:冶金工业出版社,1996
- 2 张鸣元. 压缩机电机硅钢片热处理. 微电机,2005(1):71

陈晓(1960-),男,教授级高级工程师,1982年华中科技大学毕业,电工钢研究。