

电机爪机用钢 AISI1006 生产工艺实践

刘从德，马庆丰，蒋栋初

江苏沙钢集团淮钢特钢股份有限公司炼钢厂，淮安 223002

Production technology practice of Steel AISI1006 for motor claw machine

Liu Congde, Ma Qingfeng, Jiang Dongchu

Steelmaking Works, Huaigang Special Steel Co Ltd, Jiangsu Shasteel Group, Huaian 223002, China

1. 前言

随着我国汽车工业及工程机械工业的蓬勃发展，发动机转子爪极用钢需求日益旺盛。爪极绕有励磁线圈，当励磁线圈有电流通过时，就会产生磁场，磁场通过线圈中心的磁轭导到爪极上，爪极的磁阻越小，电导率越高，越有利于提高发电效率，电机爪极用钢的高饱和磁感应强度、高磁导率、低矫顽力等磁性能直接影响发电量^[1]，钢中的成分控制是影响磁性能的主要因素之一，因此必须严格控制 AISI1006 的化学成分，尽可能的收窄碳、硅、锰成分范围，减少有害残余元素和非金属夹杂物的含量。

关于爪极的锻造工艺、爪极的设计、爪极的热处理等相关研究较多，关于爪极材料冶炼方面的研究很少^[1-5]。某钢厂生产的 AISI1006 主要用于汽车发电机爪极。为满足用户产品性能的要求，某钢厂从成分设计、铁水残余元素含量控制、转炉出钢氧含量控制、真空炉脱碳、脱氧控制、精炼炉成分稳定控制、连铸保护浇注等方面进行优化，提高了钢水纯净度，满足了用户产品性能的要求。

2. 生产及实践

2.1 化学成分及生产工艺流程

某钢厂生产的 AISI1006 钢主要化学成分如表 1 所示，为生产出满足客户需求的产品，采用了连铸方坯工艺：铁水脱硫→转炉→精炼炉→真空处理→LF 精炼炉→连铸机。

表 1 AISI1006 化学成分（质量分数）/%

Table 1 AISI1006 Chemical composition (mass fraction)/%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ni	Cu
0.03~0.05	≤0.10	0.25~0.40	≤0.030	≤0.030	≤0.10	≤0.070	≤0.10	≤0.25

2.2 铁水脱硫及转炉冶炼

成分硫元素控制从源头抓起，对铁水进行筛选，把关入炉铁水质量，初硫含量应≤0.050%，全铁水 KR 脱硫工艺，脱 S 后铁水 S≤0.008%，脱硫渣扒干净，控制转炉出钢硫含量≤0.020%。最大程度降低铁水中硫及其它有害元素的含量，减轻精炼炉中前期的脱硫负担。

转炉选用经过脱硫处理的优质铁水和优质自产废钢，为减轻精炼炉的脱硫压力，采用双渣操作法，吹炼过程采用恒压变枪操作，达到早化渣，化好渣，减少喷溅的目的，以便于快速的脱磷和控制终点碳、终点温度。

终点成分控制 $w[C] \leq 0.05\%$ 、 $w[P] \leq 0.015\%$ 、出钢温度控制在 1610℃~1630℃，出钢时间≤5min，为保证真空处理过程脱碳的需要，转炉出钢应保证一定的氧含量。出钢时采取滑板加挡渣锥双挡操作，目的减少下渣控制回磷量，出钢按照顺序加入金属锰、精炼渣。

2.3 精炼生产工艺

以往冶炼 AISI1006 时因真空炉钢水到站温度低或者氧含量不足，需要强制脱碳，但是吹氧的时机和时间往往把握不准，吹氧量无法精确控制，导致吹氧量过多，需补加更多的铝粒进行脱氧，钢水中 Al_2O_3 夹杂物明显增多，影响了连铸浇注稳定性，浇注时结瘤换水口情况较多。后逐步优化工艺，通过控制出钢碳含量，保证钢水到真空炉初始氧含量 700PPm~750PPm，钢水到真空炉的温度应大于 1570°C，低于 1570°C 需要到精炼炉先升温，不需要强制脱碳，依靠真空过程中的碳氧反应进行深脱碳。

真空处理过深脱碳反应式为：



理论计算每反应质量分数 100×10^{-6} 的碳，需要消耗质量分数 133×10^{-6} 的氧，脱碳结束后钢水中的氧含量较低，可减少补铝量，有利于提高钢水纯净度。RH 炉真空处理采用轻处理模式，处理 13 分钟后提高真空度，18 分钟后定氧，通过真空室料仓加铝粒，加料后保持循环 5-8min，控制到 LF 成分： $w[\text{C}] \leq 0.01\%$ 、 $w[\text{Si}] \leq 0.015\%$ 、 $w[\text{Al}] = 0.030\% \sim 0.040\%$ 。

由于 AISI1006 碳成分和硅成分要求较严格，精炼炉冶炼过程中重点做好钢水脱硫、脱氧、去除夹杂物和防止增碳、增硅的工作。通过控制电石加入量，防止电石增碳，控制氩气搅拌流量防止电极增碳；钢水增硅主要是渣中的 SiO_2 被 Al 还原，或者加金属锰合金中带入，通过减少转炉下渣、提高炉渣碱度，降低炉渣中 SiO_2 的活度，缩短精炼时间来防止钢水增硅。精炼渣采用 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 渣系。

AISI1006 精炼处理结束后工艺采用钙处理工艺进行变性处理，促使钢中氧化铝夹杂变为液态低熔点的 $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ ，提高钢水的可浇性^[6-7]。

2.3 连铸工艺

连铸中间包使用外装水口中包，开浇前采用氩气置换技术，置换时间超过 5min，保证中间包内氧的置换，为防止开浇温降大，中包烘烤温度 $\geq 1200^\circ\text{C}$ 。为搞好连铸保护浇注，长水口全程吹氩保护，吹氩流量 40L/min。

AISI1006 属于超低碳钢，中包覆盖剂采用无碳覆盖剂，避免浇注过程中的增碳。某钢厂使用的振动式大包下渣检测，能够准确的控制大包下渣，提高钢水纯净度。因 AISI1006 钢水的氧化性较强，对中包耐材的侵蚀也比较严重，某钢厂与维苏威中包耐材厂家共同设计特殊材质挡墙并严格控制中包浇注炉数，通常每个浇次控制 10 炉之内。依据长期生产经验，设计了表 2 连铸工艺参数。

表 2 钢液过热度与拉速对应关系

Table 2 Corresponding relationship between superheat and drawing speed of molten steel

过热度/ $^\circ\text{C}$	拉速/ $(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$	比水量/ $(\text{L} \cdot \text{kg}^{-1})$
30~40	1.35	0.45

3. 生产检验结果和分析

3.1 产品化学成分

连铸坯成品化学成分如表 3 所示，全部控制在内控范围内，成分波动很小。

表 3 AISI1006 成品成分/%

Table 3 AISI1006 Finished product composition/%

炉号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
A112	0.034	0.033	0.334	0.0138	0.004	0.044	0.005
A113	0.033	0.027	0.346	0.0155	0.004	0.032	0.004
A223	0.035	0.045	0.336	0.0181	0.004	0.043	0.008
B234	0.032	0.049	0.339	0.0092	0.004	0.041	0.009
B252	0.030	0.028	0.344	0.0159	0.004	0.021	0.004

B232

0.030

0.029

0.345

0.0151

0.004

0.026

0.011

3.2 气体含量检测

气体含量结果（见图 1）全部符合客户要求,氧含量控制在 20ppm, 最低达到了 15ppm, 氮含量控制在 40ppm 左右。

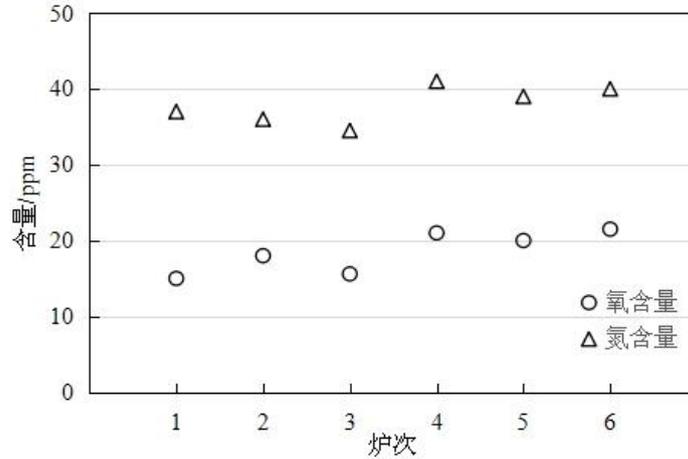


图 1 AISI1006 钢气体含量

Figure 1 AISI1006 steel gas content

3.3 低倍检验情况

AISI1006 钢材低倍按照标准评级, 一般疏松 0.5-1.0 级, 中心疏松 1.0 级, 全部符合标准要求, 低倍检验结果如表 4 所示。

表 4 低倍检验结果

Table 4 Low-power test results

炉号	一般疏松	中心疏松	非金属夹杂	中心偏析
A112	0.5	1.0	0.0	0.0
A113	0.5	1.0	0.0	0.0
A223	0.5	1.0	0.0	0.0
B234	0.5	1.0	0.0	0.0
B252	1.0	1.0	0.0	0.0
B232	1.0	1.0	0.0	0.0

4. 结论

(1) 转炉控制好终点 $w[C] \leq 0.05\%$, 保证到真空炉初始氧含量 $0.070\% \sim 0.075\%$, 依靠真空过程中的碳氧反应脱碳, 真空处理采用轻处理模式, 处理 13 分钟后提高真空度, 18 分钟后定氧以后, 通过真空室料槽加铝粒, 加料后保持循环 5~8min。控制到 LF 成分: $w[C] \leq 0.01\%$ 、 $w[Si] \leq 0.015\%$ 、 $w[Al] = 0.030\% \sim 0.040\%$ 。

(2) 精炼炉防止钢水增碳主要通过控制电石加入量防止电石增碳和控制氩气流量防止电极增碳; 连铸工序使用无碳覆盖剂防止增碳。

(3) 钢水增硅主要是渣中的 SiO_2 被 Al 还原, 或者加金属锰带入, 可以通过减少转炉下渣、提高炉渣碱度, 降低炉渣中 SiO_2 的活度, 缩短精炼时间来防止钢水增硅。

（4）AISI1006 钢水的氧化性较强，对中包耐材的侵蚀也比较严重，应严格控制中包浇注炉数。

参考文献

- [1] 陈正阳. 成分与组织对爪极用钢磁性能影响的研究[D].辽宁：辽宁工业大学材料科学与工程学院，2015.
- [2] 杨程，赵升吨，章建军. 汽车发电机爪极闭式热锻一步成形工艺研究[J]. 锻压技术，2011，36.
- [3] 滕来，王飞，郭成，等. 汽车发电机爪极温冷精密成形工艺研究[J]. 锻压技术，2012，37(5): 166-170.
- [4] 包石磊，张洪才，吴朝兵. 转炉冶炼低碳低硅 AISI1006 钢实践[J]. 现代冶金，2014，42(03): 15-18.
- [5] 张庆国，白连臣，石玉良，等. 转炉冶炼低碳低硅钢的生产实践[J]. 炼钢，2000，(05): 24-27.
- [6] 龚坚，王庆祥. 钢液钙处理的热力学分析[J]. 炼钢 2003，19(3): 56-59.
- [7] 张立峰. 钢中非金属夹杂物几个需要深入研究的课题[J]. 炼钢 2016，32(4): 1-15.