

# 目 录

## 前 言

### I. 概况

1. 国外氧气顶吹转炉生产概况.....(1)
2. 美国氧气顶吹转炉、平炉和电炉冶炼的钢种.....(3)
3. 苏联的氧气转炉发展情况.....(7)

### II. 氧气转炉冶炼合金钢的基本研究

4. 用纯氧顶吹转炉冶炼合金钢的基本条件.....(9)
5. 氧气顶吹转炉熔炼合金钢.....(13)
6. 氧气顶吹转炉熔炼合金钢的质量.....(17)
7. 氧气顶吹转炉冶炼高级镇静钢.....(19)

### III. 钢种及工艺

8. 氧气转炉生产低织构电工钢.....(25)
9. 氧气转炉冶炼电工钢.....(28)
10. L-D 转炉炼制不锈钢的新方法.....(31)
11. 用氧气转炉钢 14CrMnSi 生产电焊管.....(37)
12. 碱性氧气转炉生产高碳钢.....(43)
13. 威斯康辛(Wisconsin)钢厂高碳钢和合金钢的生产.....(46)
14. 碱性氧气转炉合金钢的生产与质量.....(53)
15. 碱性纯氧顶吹转炉生产高合金特种钢.....(58)

# 国外氧气顶吹转炉生产概况

## 一、氧气顶吹转炉生产概况

氧气顶吹转炉自 1952 年出现以来,到目前为止,产量已在 2 亿吨以上,占世界总的钢产量 40% 左右(1971 年占 41%)。压到了平炉、电炉的产量,详见如下:

二十年来平炉、电炉、氧气转炉在世界钢产量中比重(%)

| 年 份  | 平 炉 | 电 炉 | 氧 气 转 炉 |
|------|-----|-----|---------|
| 1952 | 74  | 6   | 0.1     |
| 1960 | 72  | 11  | 4       |
| 1970 | 36  | 15  | 40      |

日本最先大力发展氧气顶吹转炉,迅速地提高了炼钢能力。1960 年氧气顶吹转炉在日本钢产量中占 12%,1970 年上升到 80%。美国对氧气顶吹转炉犹豫不决,落后了一段,到 1965 年后才大力发展氧气顶吹转炉。1960 年氧气顶吹转炉钢产量占总的产量 3.4%。1966 年上升到 25%,1970 年达到 48%,超过了平炉而占首位。欧洲共同市场国家虽然是采用氧气顶吹转炉最早的国家,但发展速度不如美、日。1960 年氧气顶吹转炉钢占 2%,1970 年占 40%。苏联和东欧各国近年来才发展。1970 年氧气顶吹转炉钢在钢产量中比重:苏联为 16%,捷克 18%,波兰 12%,罗马尼亚 28%。

在设备和生产能力方面,据统计,已投产的氧气顶吹转炉车间有 154 个,正在建设和设计的有 33 个,总的生产能力为三亿多吨(包括正在建设的)。其中主要几个产钢国家的氧气顶吹转炉的台数和生产能力如下(1970 年统计):

| 国 别 | 台 数 | 生 产 能 力 (万吨/年)         |
|-----|-----|------------------------|
| 美 国 | 85  | 7300 (1971 年为 7800 万吨) |
| 苏 联 | 42  | 2360                   |
| 日 本 | 91  | 8880                   |
| 西 德 | 39  | 3160                   |
| 英 国 | 21  | 1226                   |
| 法 国 | 19  | 660                    |

据美国有人预计,1970~1980 年全世界氧气顶吹转炉生产能力将增加到 3.4 亿吨。在扩大氧气顶吹转炉生产能力的同时,炉子的容量近年也在迅速扩大,1964 年平均为 82 吨,1966 年平均为 108 吨,1969 年平均为 118 吨。现在最大单座容量为 385 吨(西德)。美国最大容量为 335 吨。

## 二、氧气顶吹转炉钢品种概况

氧气顶吹由于脱碳效率高,钢中氮含量低,约在 0.003%,其它杂质也低,所以钢材性能良好。近年来平炉钢逐渐地在减少,而由氧气顶吹转炉来生产。以日本为例,特殊钢用氧气顶吹转炉生产比例不断地上升,具体如下:

| 年 份  | 比 例 (%) | 产 量 (万吨) |
|------|---------|----------|
| 1966 | 20.8    | 107.8    |
| 1967 | 27.5    | 182      |
| 1968 | 37      | 286      |
| 1970 | 50      | 512.6    |
| 1971 | 44.9    | 449.9    |

美国也如此,在 1971 年,钢种使用规范中有 217 项允许用氧气顶吹转炉钢(详见第二篇),比两年前允许使用氧气顶吹转炉钢规范增加了 45 项,所以氧气顶吹转炉生产的钢种使用范围在逐渐地增加。

从品种来看,目前已生产过的有:钢轨钢(中、高碳)、船板钢、碳素锅炉钢、低合金高强度钢、弹簧钢、电机硅钢、滚珠轴承钢、不锈钢等等。具体成分如下(%):

| 钢 种       | 碳    | 磷    | 锰    | 硅    | 硫    | 铬    | 钼    |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 表面硬化钢     | 0.14 | 0.02 | 0.50 | 0.45 | 0.02 | 0.75 | —    |
| 铬-钼 合 金   | 0.16 | 0.02 | 1.10 | 0.25 | 0.22 | 1.10 | 0.20 |
| 滚 珠 轴 承 钢 | 1.00 | 0.02 | 1.00 | 0.60 | 0.02 | 1.00 | —    |
| 电 机 钢     | 0.03 | 0.02 | 0.15 | 2.30 | 0.20 | —    | —    |

为了提高氧气顶吹转炉钢质量,采用了与真空处理相结合方法,这样既达到脱氧目的,又进一步去除夹杂,而且借真空室(罐)可准确地调整钢水成分。另外,日本、西德曾对氧气顶吹转炉冶炼多种优质钢或低合金钢等工艺,如单渣、双渣工艺和加入合金工艺等方面,作过多次研究,并且发表了报告。如日本曾报道了用摇包脱硫,高炉出铁后脱硫,使铁水中的含硫量降到 0.02% 或更低,使氧气顶吹转炉能炼成含硫很低的优质钢。

# 美国氧气顶吹转炉、平炉 和电炉冶炼的钢种

氧气顶吹转炉在近十几年来有了很大发展, 它所冶炼的粗钢在不少国家中已达产量的一半以上, 并且品种也越来越多。现统计了美国材料试验学会 (ASTM) 1971 年的标准 1~4

表 1 1971 年美国材料试验学会 (ASTM) 的钢种规格、冶炼方法及钢种数目

| 大 类                 | 小 类                                                                                                     | 纯 氧 顶 吹 转 炉                                                                                                                                                            | 平 炉                                                       | 电 炉                                                                                                                        |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 结 构 钢               | 碳素钢 (包括易削钢、低锰钢、铅钢)                                                                                      | A576-67 (64)、A424-68 (2)<br>A545-68 (1)、A549-68 (1)                                                                                                                    | A216-70a (3) (熔焊用铸件)                                      | A583-67 (4)、A631-70 (均为火车车轮用高碳钢)                                                                                           |
|                     | 高强度钢                                                                                                    | A517-70 (13)、A572-70a (6)<br>A242-70a (2)、A325-70a (7)<br>A374-68 (1)、A440-70a (1)<br>A441-70a (1)、A514-70 (14)<br>A562-70 (1)、A588-70a (9)<br>A607-70 (7)、A618-68 (4) | A487-67a (10) (高压容器铸件)                                    |                                                                                                                            |
|                     | 合金结构钢 (Mn、Mo、Cr-Mo、Ni-Cr-Mo、Ni-Mo、Cr、Cr-V、Cr-B、低Ni-Cr-Mo-B、Si-Mn、Cr-Mo-V、Cr-Ni-Mo-V)                    | A 519-68 (90)、A 304-66、<br>A290-67 (1, 减速齿轮用)                                                                                                                          | A294-64 (3, 透平轮及盘用)、<br>A293-64 (透平转子与轴用)                 | A 519-68 (4)、A 288-68 (3, 透平发电机护环用)、<br>A469-65 (6, 真空处理、转子)、A508-69 (5, 真空处理、高压容器)                                        |
|                     | 氮化钢                                                                                                     |                                                                                                                                                                        |                                                           | A355-70 (4, Cr-Al-Mo 或 NiSe)                                                                                               |
|                     | 超高强度钢                                                                                                   |                                                                                                                                                                        |                                                           | A579-70 (25, 低合金、高合金)                                                                                                      |
|                     | 弹 簧 钢 (高 C、Cr-V、Cr-Si)                                                                                  | A227-68 (2, 高 C)、A229-68 (2, 高 C)<br>A231-68 (1, Cr-V)、A401-68 (1, Cr-Si)                                                                                              | A228-68 (1, 琴钢丝)<br>A230-68 (1, 高 C)<br>A232-68 (1, Cr-V) |                                                                                                                            |
|                     | 低 温 钢 (0~9 Ni 或 CrCuAlMo)                                                                               | A333-70a (6, 无缝管)<br>A553-70a (1, 钢板)                                                                                                                                  | A350-65 (2, 锻件)<br>A352-70 (3, 铸件)                        |                                                                                                                            |
|                     | 轴 承 钢 (Cr、Cr-Mo、Cr-Mn-Mo)                                                                               |                                                                                                                                                                        | A534-65 (8, 渗碳)                                           | A295-70 (3, Cr)、A485-63 (4, Cr-Mo)<br>A534-65 (2, 渗碳)                                                                      |
|                     | 高锰钢                                                                                                     | A128-64 (8, 铸件)                                                                                                                                                        |                                                           |                                                                                                                            |
|                     | 硅 钢 (Si 0.5~5%)                                                                                         | A345-55 (8)                                                                                                                                                            |                                                           |                                                                                                                            |
| 工 具 钢               | 合金工具钢<br>高速工具钢                                                                                          |                                                                                                                                                                        |                                                           | A597-69 (8)<br>A600-69 (26)                                                                                                |
| 不 锈 钢<br>与<br>耐 热 钢 | 铬锰系不锈钢                                                                                                  |                                                                                                                                                                        |                                                           | A412-69 (4)                                                                                                                |
|                     | 奥氏体不锈钢 (Cr 17~25—Ni 7~21—Mo 0~3.5 TiCbSe)、马氏体不锈钢 (C 0~1.1—Cr 5~17—Ni 0~2 MoSeS)、铁素体不锈钢 (Cr 12~25 或另 Se) |                                                                                                                                                                        | A320-70 (6, 低温螺杆用奥氏体不锈钢等)                                 | A511-70 (26)、A314-70 (38)、A167-70、A268-70、<br>A 269-70、A 296-68、<br>A 297-67、A 312-70a、<br>A 313-70a、A 276-70、<br>A 580-67 |
|                     | 铸造不锈钢 (成分约同上或稍高)                                                                                        |                                                                                                                                                                        |                                                           | A 296-68 (21)、A 451-66 (22)、A297-67、A350-70                                                                                |
|                     | 耐热钢 (Cr 11~20—Ni 0~26—Co 0~20—W 0~3.65 或另加 NbTiAlVNBCu)                                                 |                                                                                                                                                                        |                                                           | A 453-70 (4)、A 457-63 (3)、A 461-65 (12)、<br>A564-66 (5)、A565-66 (3)                                                        |
|                     | 低合金耐热钢 (Cr 0~9, Ni 0~20, Mo, V)                                                                         | A182-69 (4, 锻轧管材)<br>A336-70a (5)                                                                                                                                      | A 217-70a (7, 铸件)                                         | A199-70 (8, 冷拉无缝管)<br>A335-70 (1, 无缝管)                                                                                     |
| 总 计                 |                                                                                                         | 263 种                                                                                                                                                                  | 45 种                                                      | 241 种                                                                                                                      |
| 相当的%                |                                                                                                         | 48%                                                                                                                                                                    | 8%                                                        | 44%                                                                                                                        |

表2 各种冶炼方法有代表性的钢种

| 钢种类别        | ASTM<br>规格                               | 冶炼炉            | 钢种牌号                              | 产品形式<br>或用途                 | 化 学 成 分 (%, 不 大 于)                             |                                          |                                 |                               |                                             |                                   |                        |                                            |                                     |  |
|-------------|------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|--|
|             |                                          |                |                                   |                             | C                                              | Mn                                       | P                               | S                             | Si                                          | Cr                                | Ni                     | Mo                                         | 其 他                                 |  |
| 碳 素 钢       | A545-68<br>A216-70a<br>A631-70           | 氧炉<br>平炉<br>电炉 | 1021<br>WCA<br>Class C            | 钢<br>铸件<br>火车车轮铸件           | 0.18~0.23<br>0.25<br>0.67~0.77                 | 0.6~0.9<br>0.7<br>0.6~0.85               | 0.035<br>0.04<br>0.05           | 0.045<br>0.045<br>0.05        | 0.15~0.3<br>0.6<br>≥0.15                    |                                   |                        |                                            | 其他 ≤1                               |  |
|             | A225-70<br>A487-67a                      | 氧炉<br>平炉       | Grade B<br>1N, 1Q                 | 厚铸<br>板件                    | 0.2<br>0.3                                     | 1.45<br>1                                | 0.035<br>0.04                   | 0.04<br>0.045                 | 0.13~0.32<br>0.8                            |                                   |                        |                                            | V=0.07~0.16<br>V=0.07~0.15          |  |
|             | A519-68<br>A534-65<br>A355-70<br>A579-70 | 氧炉<br>平炉<br>电炉 | 4023<br>4023<br>Class A<br>4130+V | 无缝<br>柱轴<br>棒材<br>锻件        | 0.2~0.25<br>0.2~0.25<br>0.38~0.43<br>0.27~0.33 | 0.7~0.9<br>0.7~0.9<br>0.5~0.7<br>0.4~0.6 | 0.04<br>0.035<br>0.035<br>0.025 | 0.04<br>0.04<br>0.04<br>0.025 | 0.2~0.35<br>0.2~0.35<br>0.2~0.4<br>0.2~0.35 | 1.4~1.8<br>0.8~1.1                |                        | 0.2~0.3<br>0.2~0.3<br>0.3~0.4<br>0.15~0.25 | Al=0.95~1.3<br>V=0.05~0.1           |  |
| 弹 簧 钢       | A231-70<br>A232-70                       | 氧炉<br>平炉       | 6150<br>6150                      | 弹<br>簧<br>簧簧                | 0.48~0.53<br>0.48~0.53                         | 0.7~0.9<br>0.7~0.9                       | 0.04<br>0.02                    | 0.04<br>0.035                 | 0.2~0.35<br>0.2~0.35                        | 0.8~1.1<br>0.8~1.1                |                        |                                            | V ≥ 0.15<br>V ≥ 0.15                |  |
| 低 温 钢       | A553-70a<br>A333-70a                     | 氧炉<br>平炉       | 9Ni<br>9Ni                        | 厚<br>无<br>缝管                | 0.13<br>0.13                                   | 0.9<br>0.9                               | 0.035<br>0.045                  | 0.04<br>0.045                 | 0.13~0.32<br>0.13~0.32                      |                                   | 8.4~9.6<br>8.4~9.6     |                                            |                                     |  |
| 高 锰 钢       | A128-64                                  | 氧炉             | B-1                               | 铸<br>件                      | 0.95~1.05                                      | 11.5~14                                  | 0.07                            |                               | 1                                           |                                   |                        |                                            |                                     |  |
| 轴 承 钢       | A295-70<br>A535-65                       | 电炉<br>真空<br>电炉 | 52100<br>52100                    | 优<br>质<br>特<br>优 质 量        | 0.98~1.1<br>0.95~1.1                           | 0.25~0.45<br>0.25~0.45                   | 0.025<br>0.015                  | 0.025<br>0.015                | 0.2~0.35<br>0.2~0.35                        | 1.3~1.6<br>1.3~1.6                |                        |                                            |                                     |  |
|             | A345-55                                  | 氧炉             | M4                                | 薄<br>板                      |                                                |                                          |                                 |                               | ~3                                          |                                   |                        |                                            |                                     |  |
| 合 金 工 具 钢   | A597-69<br>A600-69                       | 电炉<br>电炉       | OO-1<br>T1                        | 铸<br>件<br>各 种 产 品           | 0.85~1<br>0.65~0.8                             | 1~1.3<br>0.2~0.4                         | 0.025<br>0.03                   | 0.025<br>0.03                 | 1.5<br>0.2~0.4                              | 0.4~1<br>3.75~4.5                 | V ≤ 0.3<br>V = 0.9~1.3 |                                            | W=0.4~0.6<br>W17.25~18.75           |  |
| 形 变 不 锈 钢   | A312-70a<br>A320-70                      | 电炉<br>平炉       | 321<br>321                        | 无<br>缝<br>管<br>低温用螺栓        | 0.08<br>0.08                                   | 2<br>2                                   | 0.04<br>0.045                   | 0.03<br>0.03                  | 0.75<br>1                                   | 17~20<br>17~19                    | 9~13<br>9~12           |                                            | Ti ≥ 5×C ≤ 0.6<br>Ti ≥ 5×C ≤ 0.6    |  |
| 铸 造 不 锈 钢   | A451-66<br>A453-70                       | 电炉<br>电炉       | CPF8<br>651                       | 管<br>铸<br>件<br>铸 件          | 0.08<br>0.28~0.35                              | 1.5<br>0.75~1.5                          | 0.04<br>0.04                    | 0.04<br>0.03                  | 1<br>0.3~0.8                                | 18~21<br>18~21                    | 8~11<br>8~11           | 1~1.75                                     | W1~1.75, TiNb                       |  |
| 低 合 金 耐 热 钢 | A182-69<br>A356-68<br>A335-70            | 氧炉<br>平炉<br>电炉 | F11<br>1 1/4Cr-1 1/2Mo<br>P11     | 锻 轧 管 材<br>铸 件<br>冷 拉 无 缝 管 | 0.1~0.2<br>0.2<br>0.15                         | 0.3~0.8<br>0.5~0.8<br>0.3~0.6            | 0.04<br>0.035<br>0.03           | 0.04<br>0.03<br>0.03          | 0.5~1<br>0.6<br>0.5~1                       | 1~1.5<br>1~1.5<br>1~1.5           |                        | 0.44~0.65<br>0.45~0.65<br>0.44~0.65        |                                     |  |
| 合 金 结 构 钢   | A290-67<br>A294-64<br>A471-70            | 氧炉<br>平炉<br>电炉 | Class E, F<br>Class A<br>Class 10 | 锻 件<br>锻 件<br>真空处理锻件        | 0.35~0.45<br>0.35~0.5<br>0.27~0.37             | 0.7~1<br>0.6~1<br>0.7~1                  | 0.04<br>0.035<br>0.015          | 0.04<br>0.035<br>0.015        | 0.2~0.35<br>0.15~0.35<br>≥ 0.2              | 0.8~1.15<br>0.75~1.5<br>0.85~1.25 |                        | 0.15~0.25<br>≥ 0.15<br>1~1.5               | V ≤ 0.06<br>V 适当<br>V = 0.2~0.3, Sb |  |

部分(为叙述方便起见,我们把标准规定可用电炉、平炉、纯氧顶吹转炉冶炼的钢号算作是纯氧顶吹转炉冶炼的钢号,把电炉或平炉可以冶炼的钢号算作是平炉冶炼的钢号),纯氧顶吹转炉可以冶炼的钢号标准有 218 个,平炉冶炼的有 32 个,电炉冶炼的有 78 个;按钢种分类列出有代表性的标准及钢号如表 1(括号中数字系标准中钢号数,重复的钢号基本上未列入)。另外有代表性的各种钢的成分、冶炼方法与用途如表 2。

上述二表的钢种,可进一步归纳如下:

### (一)纯氧顶吹转炉冶炼的钢

1. 碳素钢——包括低锰钢、硫易削钢、铅易削钢,美国纯氧顶吹转炉冶炼的碳素钢约有 68 种,成分主要在 A576-67 标准中。含碳量最高的约 0.95%,最低的要算 A424-68 中搪瓷钢板(碳有  $\leq 0.04\%$  及  $\leq 0.008\%$  两个钢号)。

2. 低合金高强度钢——共约有 12 个标准(64 个钢号)可用纯氧顶吹转炉冶炼,这些标准及钢种如下:

A242-70a——锰铜钢二种。

A325-70a——硼、铬镍铜、铬镍铜钒、铬镍铜钼、铬镍铜钼钛钢等共七种。

A374-68 ——低锰钢一种。

A440-70a——锰铜钢一种。

A441-70a——锰铜钒钢一种。

A514-70 ——铬钼钨硼、铬钼钒钛硼、钼硼、铬钼钛铜硼、镍铬钼钒铜硼、铬钼钨硼、镍铬钼钒硼、镍铬钼硼钢等共十四种。

A517-70 ——铬钼硼、镍铬钼硼、钼硼、镍钼硼钢等共十三种。

A562-70 ——锰钛钢一种。

A572-70 ——铌钒钢六种。

A588-70a——镍铜钒、镍铬铜钒、铬铜钨铌、镍钼铜、镍钼铜钒、铬铜钒、镍铬铜钒钒、镍铜钒钢等共九种。

A607-70 ——锰铌钒及锰铌钒氮钢共七种。

A618-68 ——锰钒、锰铜钒钢共二种。

除高压容器用低合金铸钢规定用平炉冶炼之外,低合金高强度钢均用纯氧顶吹转炉冶炼。

3. 合金结构钢——大部分合金结构钢均可用纯氧顶吹转炉冶炼。如 A519-68(共九十种)基本上包括了美国合金结构钢的所有类型。还有 A290-67 包括镍铬钼钒钢在内的四种钢是用纯氧顶吹转炉冶炼的。

弹簧钢一部分包括在合金结构钢中,另外还列有用纯氧顶吹转炉冶炼的弹簧钢标准。它们是: A227-68 高碳钢二种, A229-68 高碳钢二种, A231-68 铬钒钢一种, A401-68 铬硅钢一种。

低温镍钢(镍在 9% 以下)大多数均可用纯氧顶吹转炉冶炼, A333-70a 中有六种, A553-70a 有一种。

4. 硅钢——美国的硅钢在 A345-55(八种)标准中未注明冶炼方法,但在美国钢铁协会的硅钢规格(Flat rolled electrical steels)(共十六种)注明是可以用纯氧顶吹转炉冶炼的。

5. 低合金耐热钢——不少这类钢的 ASTM 标准中规定纯氧顶吹转炉只冶炼含铬在 2% 以下的铬钼、铬钼钒、镍铬钼钒钢, 如 A182-69 及 A213-70 各有四种, A387-70a 有三种是用纯氧顶吹转炉冶炼的。但 A336-70a 的五种钢含铬超过 2% 也用纯氧顶吹转炉冶炼, 这包括含铬 5%, 含钼 0.5% 的铬钼钢, 有一种则是含铬高达 11.5~13.5% 的不锈钢 (碳  $\leq 0.12\%$ )。

6. 高锰 (一般为 11.5~14%) 钢——A128-64 标准中有八种可用任何转炉冶炼, 当然也可用纯氧顶吹转炉冶炼, 有的钢还另有 2% 的铬, 或 3.5% 的镍, 1% 或 2% 左右的钼。

### (二) 电炉冶炼的钢

电炉冶炼的钢主要是工具钢、不锈钢及耐热钢、氮化钢、超高强度钢、轴承钢、无缝管用的低合金耐热钢、火车车轮用的高碳钢铸件, 某些硫磷较低的合金结构钢等。由其他资料可以得知某些耐热钢和工具钢等未见有标准, 而特优质量的 12 种轴承钢则只能用真空电弧炉或真空感应炉冶炼 (A535-65)。

### (三) 平炉冶炼的钢

平炉可冶炼的钢种数目很少, 仅 45 种, 只占 8%, 大约介于上述两种炼钢炉可冶炼钢种之间的钢种, 如熔焊用的碳素钢铸件 (A216-70a), 某些低合金高强度钢铸件, 透平发电机用轴、转子用的镍铬钼钒合金结构钢, 低合金耐热铬钼钢铸件, 高合金的低温螺杆用奥氏体不锈钢, 优质弹簧钢与琴钢丝, 制作无缝管用的低温镍钢, 表面渗碳的滚柱轴承用低碳合金钢。

## 苏联的氧气转炉发展情况

1956年苏联彼得罗夫冶金厂的贝塞麦车间改建为20吨吹氧转炉。采用平炉生铁和碱性炉衬。出钢时用小出钢口出钢。同时对各种成分的生铁进行了试验,无论是低锰、高锰、低磷、高磷的生铁都炼成了与平炉质量相同的钢。

与底吹转炉相比,氧气顶吹转炉具有一系列的优点:

1. 能处理化学冷的平炉生铁而炼成质量不亚于平炉的钢;
2. 能造成活跃的炉渣和调节炉渣成份,这就保证了不同含磷量的铁水在吹炼时其脱磷都比脱碳超前;
3. 发挥了转炉生产的长处(生产率高、设备和维修简单),同时又避免了转炉钢的不足(氮和磷含量高)。

彼得罗夫和克里伏洛格两个钢厂转炉车间的生产实践证明转炉要比平炉优越。因此,在1962年决定建造一批氧气转炉车间并相应地在机器制造厂内建造为制造转炉、烟气净化设备、废热锅炉及其他辅助设备用的车间。同时决定大力发展能制造氧气纯度为99.5%的大功率制氧机。

1963年下塔吉尔钢铁公司100吨氧气转炉进行了吹炼含钒生铁的工作,得到的钒渣含 $V_2O_5$ 达16.5%。1964年先后又建成了几个100吨氧气转炉车间。

氧气转炉钢历年产量如下(万吨):

|       |       |       |       |           |           |
|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|
| 1957年 | 1958年 | 1959年 | 1960年 | 1961年     | 1962年     |
| 48.1  | 120   | 188.8 | 249.1 | 249.7     | 263.9     |
| 1963年 | 1964年 | 1965年 | 1966年 | 1967年(计划) | 1968年(预计) |
| 274.9 | 322.5 | 400.8 | 640.8 | 940       | 1170      |

彼得罗夫和克里伏洛格钢铁厂氧气转炉车间日产记录分别达到6,650和6,320吨。由于采用多孔喷枪后减少了喷损和烧损,1966年克里伏洛格50吨氧气转炉车间金属收得率达到90.7%。1967年第一季度,依里奇冶金工厂废钢加入量达到189.5公斤/吨钢。1966年依里奇工厂炉龄达到180炉,克里伏洛格工厂为150~180炉,最高记录为242炉(新利彼茨克工厂达到302炉)。由于炉龄提高和过装,平均炉产量较高。1966年克里伏洛格冶金厂二车间平均炉产量为114.9吨,依里奇工厂为117.6吨,1971年第一季度依里奇工厂炉产量达到120.5吨。

克里伏洛格50吨氧气转炉钢的成本为35卢布64戈比,其中冶炼费用为5卢布8戈比。依里奇工厂1967年三月份成本为41卢布55戈比(生铁差价大致为6卢布)。这二个厂的炉衬消耗分别为9公斤/吨和7.9公斤/吨。

正在设计容量250吨,年产量达4~5百万吨的车间。

目前,所有的氧气转炉已全部采用了多孔喷枪。这就使铁耗有所下降、炉龄有所提高、造渣过程得到改善并基本上消灭了喷枪结瘤的现象。苏联氧气炉炉衬大多采用焦油白云石



砖。正在从缩短吹炼时、提高砖的密度、改进砌炉质量等方面来提高炉龄，喷补技术已得到应用。正在研究炼钢过程自动化控制的工作。

从工艺上看，氧气转炉有可能生产优质钢、合金钢和高合金钢。从各种性能上看，氧气转炉钢的质量不亚于同牌号的平炉钢。转炉生产的沸腾钢和镇静钢其化学成分，机械性能如抗拉强度、冷脆、时效倾向、可焊性、疲劳极限、锈蚀时间等都符合相应的平炉钢的标准。

彼得罗夫和克里伏洛格冶金工厂的主要产品是型钢（槽钢、工字钢、角钢等）。所以氧气转炉生产的主要钢种是 CT3 沸、CT2 沸、08 沸、08 半镇（作为通讯线材、金属制品）、镇静钢 CT5、吊车轨道用钢 P-62、钢筋（25Mn<sub>2</sub>Si、35Mn<sub>2</sub>Si）等。

日丹诺夫冶金工厂生产板材，主要产品是冷轧纯铁板。也生产相当数量的变压器钢、电机钢、钢丝绳钢、结构钢和合金钢（12CrNi<sub>3</sub>、06Ni<sub>3</sub>、IIIX 15、15CrSiNiCu、Y7A-Y13A、10CrSiNiCu、1Cr13、1Cr18Ni9Ti、40Cr、20CrNi、20CrMo、30CrMnSi、25CrMnSi 等）。

氧气转炉生产的型钢已经用于工业建筑（烧结车间、轧钢车间）钢筋等方面。

摘译自“Сталь” 1967 年, № 10, p. 897~901.

# 用纯氧顶吹转炉冶炼合金钢的基本条件

## 一、绪 言

对在 L-D 转炉中合金钢冶炼的基础作了讨论。实验是在 10 吨试验转炉中进行的。

## 二、基 本 条 件

一般在 L-D 转炉中冶炼合金钢时,按合金元素的熔化方法大致可以有以下三种情况:

### (一)设置铁合金熔化用电弧炉

这是一种将高炉生铁在 L-D 转炉中精炼,在电弧炉内熔化合合金元素的联合方法,即“Cocktail”法;

### (二)设置热风化铁炉

这种方法是将废钢(含有合金元素之废钢或普通废钢)在热风化铁炉中熔化成化铁炉铁水,然后兑入 L-D 转炉吹炼。化铁炉铁水的碳、硅含量较高,而杂质中的磷、硫则可以通过加强原料的管理而控制得较低,因此,这种方法如以最初含铬等元素的“顶装法”(Top charge),或者“直接法”(direct)、 “Cocktail”法,都能进行热装。

### (三)添加硅或燃料

这种方法同上述两种方法不同,不用庞大的辅助设备,仅需 L-D 转炉。

现将以上各种方法的特征列入表 1。

表 1 L-D 转炉冶炼合金钢的方法

|                     | 方 法         | 原 料      |                |          | 合 金 化 法               | 可能冶炼的合金钢的合金元素含量 |
|---------------------|-------------|----------|----------------|----------|-----------------------|-----------------|
|                     |             | 熔化炉用     | 转 炉 用          | 合金元素     |                       |                 |
| 采用其它熔化炉配合 L-D 转炉的工艺 | 设置热风化铁炉的直接法 | 铁合金,合金废钢 | 化铁炉生铁          | —        | 热风化铁炉熔化后兑入 L-D 转炉     | 直到 18-8 不 锈 钢   |
|                     | 设置电弧炉的联合法   | 铁合金,合金废钢 | 高炉生铁           | —        | 合金元素和碳钢熔炼后混合          | 直到 18-8 不 锈 钢   |
| 仅用 L-D 转炉的工艺        | 普通冶炼(单渣法)   | —        | 高炉生铁           | 铁合金      | 吹炼和除渣以后将冷的合金元素加入炉内或包内 | 合金含量不超过 2%      |
|                     | 以硅供热(双渣法)   | —        | 高炉生铁           | 铁合金、合金废钢 | 除渣后将冷合金元素连同硅加入炉内      | 直到 18-8 不 锈 钢   |
|                     | 燃料、氧-燃料供热   | —        | 废钢、冷生铁(或同种热铁水) | 铁合金,合金废钢 | 在其它原料熔化后向炉内加入冷合金元素    | 直到 18-8 不 锈 钢   |

根据以上各种方法的讨论结果，并考虑到目前日本国内的铁水和废钢状况以及附属设备的投资等。尤其不宜采用熔化炉，最初曾选择以平炉生铁为主要原料的 L-D 单炼法。

采用这一方案时，要有以下两个主要前提：

1. 合金化元素熔化方法的开发
2. 在加入铬等合金元素之前，高炉生铁中的杂质——磷必须完全去除。

关于铁合金的熔化方法已列于表 1。最初曾就利用钢水固有的物理热熔化铁合金的方法进行过研究。但这种方法有些困难：

1. 合金元素的熔化极限小。对于低碳钢各种合金元素的总量约 1.5%，高碳钢为 2% 左右。此外，合格率的控制还有一些问题；
2. 对于低碳钢的内在缺陷和夹杂等脱氧产物的调整也存在某些问题；

基于上述原因，现在着重讨论一下采用双渣法时，在排除二次渣以后向炉内添加合金元素的方法。

### 三、脱磷操作

脱磷的有效操作是：调整炉渣碱度、强化熔池的氧化性和降低温度等。如果采用双渣法，则 L-D 转炉的特点就能得到最大限度的利用，上述脱磷原理也将获得有效的发挥。

关于 L-D 转炉中脱磷极限的实验结果见图 1。图中各组数据的测定条件如表 2 所示。根据图表，所有各组数据表明，渣中 ( $\Sigma\text{Fe}\%$ ) 对钢中  $[\text{P}\%]$  的影响是明显的。但 A~D 各组的含碳量在  $0.05\pm 0.02\%$  到  $2.0\sim 3.0\%$  范围内，增加渣中 ( $\Sigma\text{Fe}\%$ ) 含量时，含碳量对钢中  $[\text{P}\%]$  没有影响，而且钢中  $[\text{P}\%]$  都具有极低值。图中虚线是在  $1,600^\circ\text{C}$  时 H. Knipel 和 F. Oeters 的平衡值。平衡状态中的  $[\text{O}\%]$  是根据渣中 ( $\Sigma\text{Fe}\%$ ) 用 Fischer 公式计算求得的。

炉渣的脱磷必须使炉渣与钢液之间有充分的搅拌才能实现。对 L-D 转炉的研究表明，

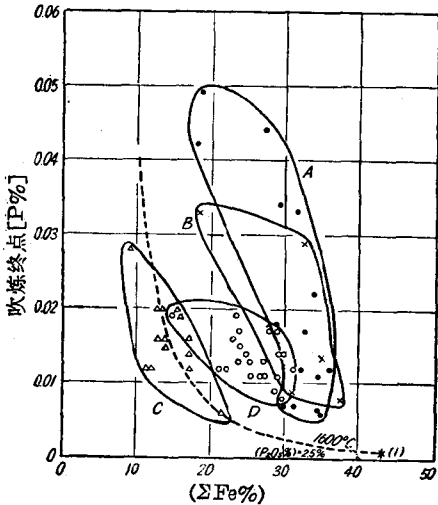


图 1 不同吹炼条件下 ( $\Sigma\text{Fe}\%$ ) 与  $[\text{P}\%]$  的关系

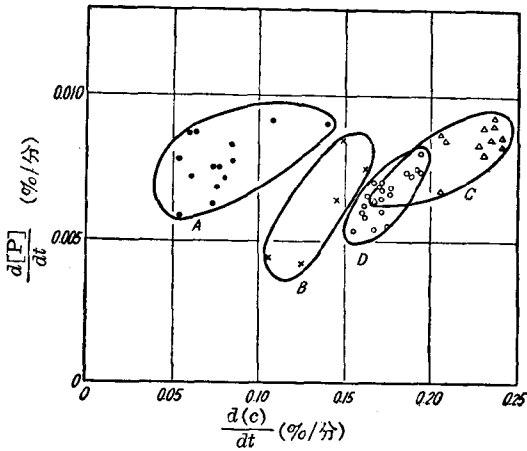


图 2 在不同吹氧条件下脱碳速度与脱磷速度的关系

表 2 试验操作条件

| 组 别 | 原 料    |         | 氧 气 消 耗 量                    | 喷射速度 | 吹 炼 终 点   |           |
|-----|--------|---------|------------------------------|------|-----------|-----------|
|     | 生铁比**  | 碱 度     |                              |      | 含 碳 量     | 熔 池 温 度   |
| A*  | 90%    | 3.5~4.5 | 1.6~2.0 标米 <sup>3</sup> /分·吨 | 软 吹  | 2.0~3.0%  | 1400±50°C |
| B   | 90     | 3.5~4.5 | 2.2~2.8 标米 <sup>3</sup> /分·吨 | 中等软吹 | 0.5~1.0   | 1620±20   |
| C   | 90~100 | 3.5~4.5 | 2.5~3.0 标米 <sup>3</sup> /分·吨 | 硬 吹  | 0.05±0.02 | 1660±20   |
| D   | 78~82  | 3.5~4.5 | 2.1~2.5 标米 <sup>3</sup> /分·吨 | 多嘴吹炼 | 0.05~0.01 | 1620±20   |

\* 双渣法后吹

\*\* 生铁中 [P%]: 0.150~0.180%

其搅拌作用是不够充分的,但是仍应考虑到 CO 的沸腾作用,氧喷嘴吹氧带入的能量,以及热对流等有利因素。曾对 CO 的沸腾作用与脱碳反应的关系进行了研究。图 2 为脱磷速度与脱碳速度的关系。上述各组中的脱磷速度随着各个脱碳速度的增大而增加,如果以平均脱磷速度考虑,各组大致具有相似的水平。

由于供氧量的某些差异情况也较复杂,但钢液面吹氧速度从硬吹到软吹降落时,脱磷速度没有很大变化,而脱碳速度则降低了。软吹是氧的脱碳效率当然也变低了,为了弥补脱碳效率的降低而增大供氧量,从而使脱磷速度与供氧量成比例增大的实验,由于没有结束,所以也不清楚。

A 组在温度为 1,400°C 左右时对脱磷是极为有利的,但是采用双渣法时,一次吹炼后要 进行排渣,所以上述温度就没有必要。

关于吹氧条件变化时钢液氧化状况的变化另作讨论。

在 L-D 转炉操作中,上面谈到的三个脱磷基本条件之一的氧化气氛,通过氧的喷射速度便可得到有效的调节;关于碱度只要通过适当调整,在含碳量为 0.05~3.0% 之间,钢中 [P%] 均能达到一般要求范围以下。不过钢中硅、锰等抑制氧化气氛的元素的残余量过高,特别是硅,即使其它条件得到满足,脱磷也不可能充分,这一点在操作上必须引起注意。

## 四、合金化操作

采用双渣法时,在排除了一次渣和二次渣使磷完全去除后,即向炉内加入铬等合金元素。铬熔化时与硅的平衡关系最成问题。关于 Cr-Si-O 的平衡,佐野、坂尾、小岛、佐野等的报告最初参照若干文献,提出了与不同铬加入量相平衡的必要数值。上面谈到的过剩硅可以吹炼几分钟去除。但这种吹炼对以后的合金钢质量、成分等影响颇大,在操作中必须充分注意。吹炼过程中的主要问题是喷枪操作,即吹氧条件,虽然具有与普通钢吹炼相同的特性,但比普通钢吹炼时要敏感得多。关于加入合金元素吹炼操作,在吹氧条件发生变化时 Fe 与 Cr 的氧化状况见图 3。根据图 3,喷射速度低则熔池被氧化,渣中( $\Sigma\text{Fe}\%$ ),( $\Sigma\text{Cr}\%$ )量增加,仍然表明添加合金元素吹炼时所存在的软吹与硬吹的关系。如果选择适当的吹炼工艺,几乎没有铁和铬的氧化损失。

图 4 是 Fe-Cr-Si-O 系统硅-氧平衡的计算值,不论什么情况钢中的 [O%] 都较高。为此必须降低炉渣中的含氧量,防止上述氧化过程的进行,进而吸收钢中的氧。随着熔池中活

度的降低,必须改善钢液被脱氧性的下降,使脱氧产物容易上浮,尽量减少钢中含氧量水平和防止非金属夹杂对钢的污染。

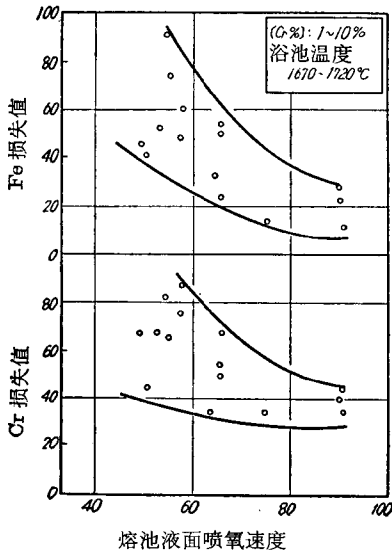


图3 添加合金吹炼时,熔池液面的喷氧速度对铁、铬吹损的影响

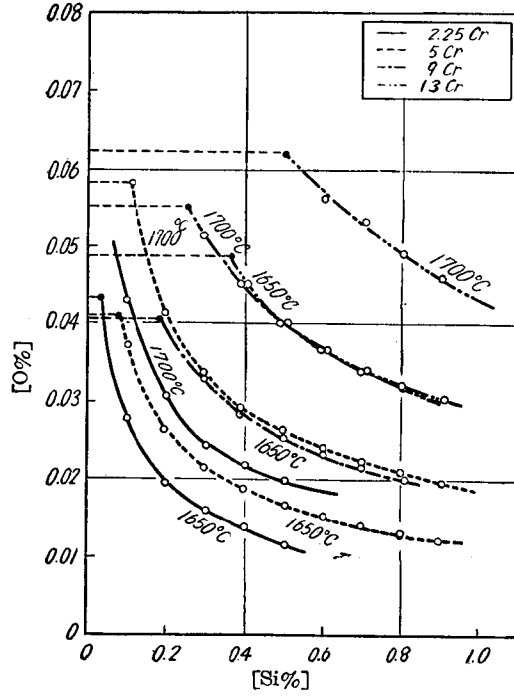


图4 1700℃和1650℃下不同Cr含量时Si-O平衡的计算值

## 五、结 束 语

本文讨论了用一般高炉生铁在 L-D 转炉中吹炼高合金钢的基本条件, 报告了在 10 吨实验转炉中的试验结果。

参考文献(略)

《铁と钢》1964, Vol 50, No. 11, p. 182~185.

# 氧气顶吹转炉熔炼合金钢

## 一、绪 言

有关转炉制造合金钢的基本问题,即冶炼方法、冶炼过程中的物理化学分析等,已如前所述。本报告以川崎制铁所转炉工厂内 10 吨试验转炉的研究结果作为转炉冶炼合金钢的实例,加以叙述。

## 二、冶 炼 钢 种

本研究冶炼钢种对象如表 1 所示,结构用的中碳铬——铬钼钢,锅炉管用铬钼钢,板及管用的不锈钢、计有九类钢种,最后均成轧制品。

表 1 氧气转炉熔炼的钢种

| 钢 种                                                                                                    | 对 应 JIS 规 格                                         | 产 品                 | 用 途                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------|--------------------|
| 1. SCM-3<br>2. STKS-3                                                                                  | SCM-3<br>STKS-3                                     | 中 碳 合 金 钢           | 机械结构用的圆钢与钢管        |
| 3. 1Cr-0.5Mo<br>4. 1 $\frac{1}{4}$ Cr-0.5Mo<br>5. 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo<br>6. 5Cr-0.5Mo<br>7. 9Cr-1Mo | STBA-22<br>STBA-23<br>STBA-24<br>STBA-25<br>STBA-26 | 锅 炉 管 用<br>Cr-Mo 钢。 | 锅炉、热交换器及化工用管       |
| 8. 13Cr<br>9. 18Cr-8Ni                                                                                 | SVS-21<br>SVS-27                                    | 铁素体不锈钢<br>奥氏体不锈钢    | 锅炉、热交换器和化工用的钢板、钢管。 |

## 三、冶 炼 方 法

主要原料系含磷为 0.13~0.20%、硫为 0.02~0.05% 的铁水(装入废铁比约 10%),采用二次造渣,二次排渣法。彻底去除硫、磷后,将合金料与硅合金一起加入炉内进行熔化吹炼,从而高效率冶炼成优质合金钢。

## 四、冶炼过程及其分析

### (一)去除铁水中的硫、磷

氧气转炉主要采用硫、磷浓度较高的平炉铁水作为主要原料,为得到优质钢,必须尽量降低杂质。尤其制造铬合金钢时,磷必须在添加铬合金之前除去。当熔化吹炼时,如单靠将钢水中的磷移至渣内,则添加合金时将引起大的回磷,故须将浓度高的磷渣排出炉外,所以

要进行二次排渣。它的吹炼过程如表2。一次吹炼主要目的是脱磷，谋求装入造渣剂进行早期渣化的同时，进行软吹以促进脱磷。化渣时间5~6分钟。

表2 双渣法中的一次吹炼和二次吹炼的操作标准  
(13吨/炉, 氧气转炉)

|                               |                               | 一 次 吹 炼     | 二 次 吹 炼     |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|
| 造 渣 (公斤/吨)                    | 焙 烧 石 灰                       | 40          | 60          |
|                               | 造 渣 组 成                       | 40          | —           |
|                               | 废 钢                           | 15          | 15          |
|                               | Fe-Si                         | —           | 10          |
| 喷 枪 高 度 (米)                   |                               | 1.6         | 0.8         |
| 氧 气 压 力 (公斤/厘米 <sup>2</sup> ) |                               | 6           | 5           |
| 钢 液 成 分 (%)                   | C                             | 2.0~3.0     | —           |
|                               | Si                            | ~0.03       | 0           |
|                               | P                             | ~0.04       | ~0.010      |
|                               | S                             | 0.01~0.035  | 0.005~0.025 |
| 炉 渣 成 分 (%)                   | CaO                           | 40~52       | 40~50       |
|                               | SiO <sub>2</sub>              | 10~15       | 15~25       |
|                               | Fe                            | 20~25       | 10~20       |
|                               | MnO                           | 4~7         | >2.5        |
|                               | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 2~3         | >0.8        |
| 温 度 (°C)                      |                               | 1,380~1,420 | 1,600~1,650 |

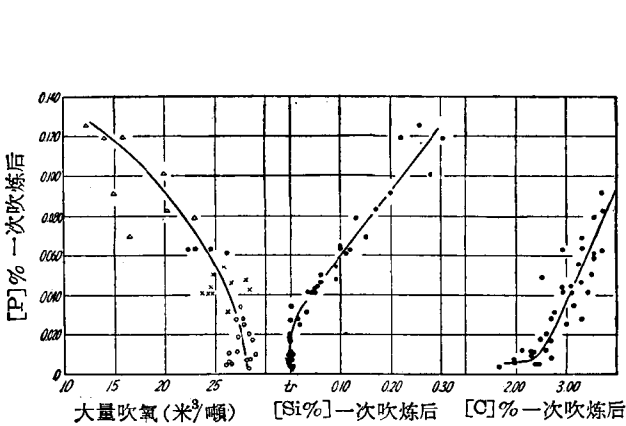


图1 一次吹炼双渣法脱磷效应  
废钢比例: 10%  
含硅:  
○ 残硅                    × 硅 <0.1%  
● 硅 0.1~0.2%        △ 硅 >0.2%

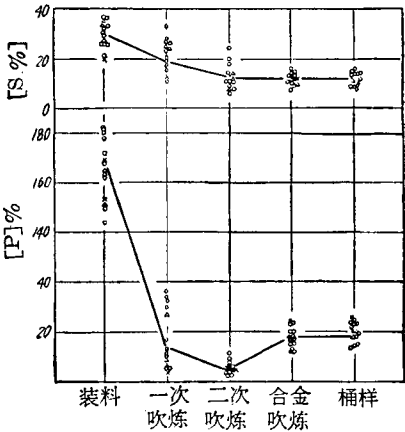


图2 一次吹炼、二次吹炼、双渣法  
过程中硫、磷的情况  
○ 低碳 Cr-Mo 钢  
△ 中碳 Cr-Mo 钢  
× 不锈钢

二次吹炼目的不仅是脱碳到要求含碳量,而且稀释渣内磷的浓度,进一步减少钢水中的磷、硫。与一次吹炼相同须要缩短化渣时间,形成泡沫式的炉渣。此外,从脱磷平衡论观之,也是低温更利于脱磷。由图 1 可知,一次吹炼氧的需要量是 25 米<sup>3</sup>/吨 以上,特别是钢中残存磷时,就能有效地进行脱磷。

添加合金剂前,磷是降到 0.010% 以下,但完全排渣是困难的,故熔化吹炼时不能避免有若干回磷。一次吹炼时由于低温,硫几乎不能除去。二次溶化吹炼时才被去除,最后减少到主要原料中硫含量(%)的 1/2~1/3。

## (二)合金剂熔化吹炼

熔炼铬合金钢时,借助硅存在于 Fe-Cr 二元合金中,从而容易将铬溶于钢内,并可稳定钢中成分(铬、硅及其它)。另一方面,硅和铬的收得率也有直接关系,是含铬钢一次脱氧极其重要的成分,必须作为主要的控制因素,所以冶炼铬合金时,尤须控制下述三点:

1. 钢内含铬量。
2. 钢内含硅量。
3. 钢水温度。

另外,也发展了添加合金元素吹炼。添加过剩的硅于铬合金元素中,进行氧气吹炼,利用硅的燃烧发热加速熔解。因此所需要的硅,则按合金剂熔解、钢水升温、补偿炉体散热及炉内残余量来计算的。合金剂中若须含有硅时(例如 Si-Mn、Si-Cr),炉料铬则按 Fe-Si 等形式添加。

添加合金剂后,吹入硅燃烧所需之氧气量,进行合金剂熔化吹炼,2~3 分钟的吹炼就可添加约 5~7% 的元素。合金元素完全均匀溶解,铬的收得率可达 95%,钼、镍等收得率近于 100%。所以在炉内使各成分合于规格。

各种因素对冶炼合金钢的作用很大,这已如前所述。图 3 是钢水温度与铬配比的关系,这是试验转炉冶炼各种含合金钢的值。由此可知,铬的配比受到温度很大影响。

在进行熔化吹炼时,顶吹转炉也能进行还原精炼,而吹氧尽对钢水搅拌和硅的燃烧有效。

添加热量也随合金添加量而异,不同钢种所求得热量情况也不同。顶吹转炉的缺点就是热补偿问题。这可以通过采用硅在短时间里产生大量热量而得到解决。熔炼 18-8 不锈钢,也能在短时间内使添加剂的收得率保持一定。

但是,添加大量的合金元素时,即使熔化吹炼适当,也将大幅度降低钢中氧气的活动系数(例如铬等元素),就是与硅等共存时,其脱氧也不够,这种场合,炉内熔化吹炼后的钢水中,须添加与氧化合力大的元素(例如铝、钛、钙、镁或铈和稀土元素等)。为此,在使用铝作为强制脱氧剂的同时,再研究采用其它的脱氧剂,就可获得优质钢。

试验转炉出钢时在钢包内成分如表 3 所示。

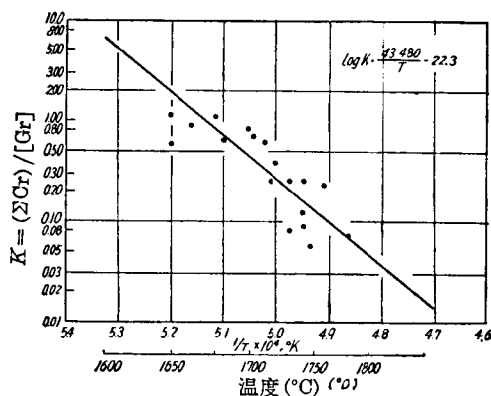


图 3 温度与铬配比之间的关系



表3 氧气转炉熔炼合金钢包内分析之实例

| 钢 种 | 钢 包 内 分 析 (%) |      |      |       |       |      |       |         |        |        | $H$<br>毫升/100克 |
|-----|---------------|------|------|-------|-------|------|-------|---------|--------|--------|----------------|
|     | C             | Si   | Mn   | P     | S     | Cu   | Cr    | Mo      | O      | N      |                |
|     | 0.34          | 0.19 | 0.63 | 0.018 | 0.011 | 0.08 | 1.11  | 0.25    | 0.0043 | 0.0026 | 6.24           |
|     | 0.37          | 0.24 | 0.75 | 0.020 | 0.009 | 0.08 | 0.99  | 0.19    | 0.0055 | 0.0088 | —              |
|     | 0.09          | 0.22 | 0.44 | 0.014 | 0.005 | 0.06 | 0.93  | 0.58    | 0.0065 | 0.0089 | 5.30           |
|     | 0.10          | 0.73 | 0.50 | 0.023 | 0.012 | 0.07 | 1.40  | 0.52    | 0.0058 | 0.0079 | 7.75           |
|     | 0.10          | 0.22 | 0.45 | 0.018 | 0.008 | 0.08 | 2.30  | 1.05    | 0.0050 | 0.0078 | 7.20           |
|     | 0.41          | 0.28 | 0.43 | 0.025 | 0.013 | 0.05 | 5.05  | 0.60    | 0.0065 | 0.0092 | 7.62           |
|     | 0.13          | 0.53 | 0.41 | 0.023 | 0.014 | 0.06 | 9.28  | 1.02    | 0.0034 | 0.0132 | 8.70           |
|     | 0.08          | 0.56 | 0.58 | 0.020 | 0.012 | 0.07 | 12.58 | —       | 0.0022 | 0.0164 | 8.15           |
|     | 0.06          | 0.76 | 1.19 | 0.026 | 0.011 | 0.07 | 18.22 | Ni 8.85 | 0.0109 | 0.0186 | 9.40           |

## 五、结 语

试验转炉熔炼合金钢试验,系采用双渣法充分去除钢中[P][S]。熔炼高合金钢也可能顺利实施。此外,可以看出借助添加合金剂进行吹炼,就能稳定成分,稳定操作,增加冷料添加量。

《铁と钢》1964, Vol. 50, No. 11, p. 185~188.