

IF1 钢合金化技术研究

欧阳炜

宁波钢铁有限公司，宁波 315807

Study on alloying technology of IF1 steel

Ouyang Wei

Ningbo Iron and Steel Co., LTD., Ningbo 315807, China

1. 前言

铁合金是炼钢的重要辅助材料，用于钢液的脱氧和合金化。但是，由于每个厂的工艺流程和技术参数不同，每种合金的产量相差较大。而且，即使同一钢厂的同一钢种不同温度下的合金产量也会因钢水状态和材料条件的不同而波动。本文研究了 IF1 钢的生产、装料、操作和检测数据，总结了铝等合金的使用规律。分析了铝与其他变量的相关性，并绘制了分布直方图。

2. 研究内容

炼钢用合金的品质（氧、氮、夹杂物含量、有害元素、高危害物相）评价；炼钢用合金的状态（粒度、粉化率、周转率）和性能（强度、耐磨性）指标对合金收得率影响；研究炼钢用合金的工艺配置（合金加入方式、加入位置、加入时机等）对合金收得率的影响，确定提升合金收得率的工艺模型；炼钢用合金夹杂物检测体系，提升钢中氧、氮等成分控制稳定性；合金对钢液洁净度的影响及遗传关系；炼钢用合金在冶炼过程的工艺流向和损失途径；炼钢用合金质量数据库的建立。最终为合金化工艺优化提供依据。

3. 过程与分析：

IF1 钢种吨钢平均铝耗：1.41kg，并且大部分铝耗在 1-1.8kg/t 之间。从生产的 IF1 钢冶炼数据中，RH 精炼过程的工艺参数与铝耗的相关性进行统计可以看出，铝耗与进站钢水温度、低真空时间、进站前氧含量的显著性水平小于设定的显著性水平，通过显著性检验，说明铝耗与以上冶炼参数具有一定的相关性。以下将具体分析不同工艺条件对于铝耗的影响。

3.1 进站钢水温度对铝耗的影响

铝耗与进站钢液温度有直接的关系，具体如下：

（1）钢液温度低于 1600℃时，

铝耗为：1.80-1.95kg/t 钢；

（2）钢液温度介于 1600-1630℃时，

铝耗为： $-0.0217 \times \text{钢液温度} + 36.5471$ kg/t 钢；此时，进站钢液温度每增加 10℃，铝耗降低 0.217kg/t 钢，即降低 15%。

（3）钢液温度高于 1630℃时，

铝耗为：1.1-1.3kg/t 钢。

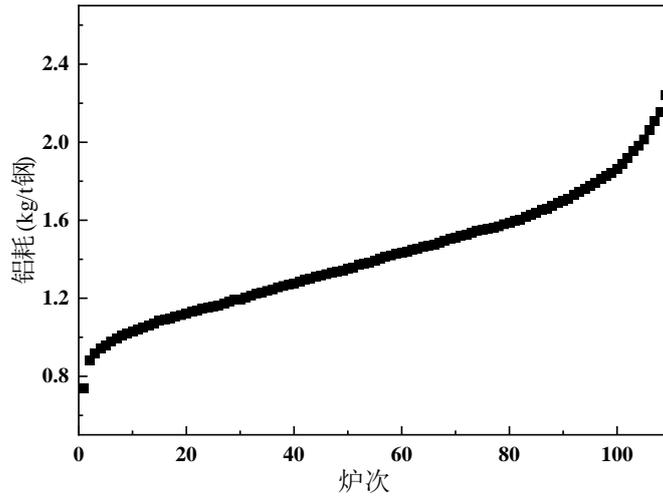


图 1 不同炉次铝耗情况

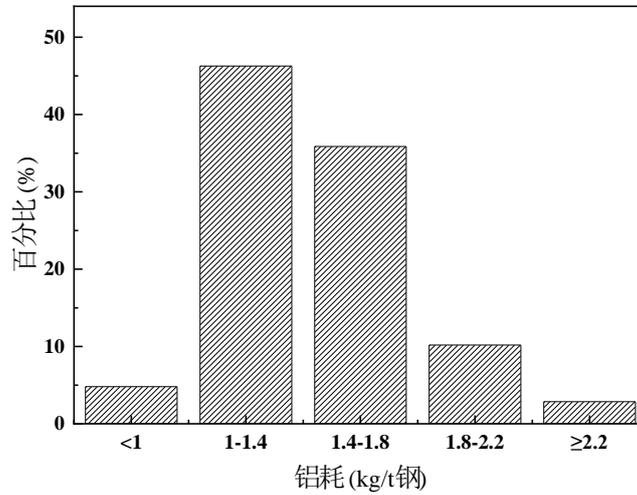


图 2 IF1 钢种冶炼过程铝耗情况分布图

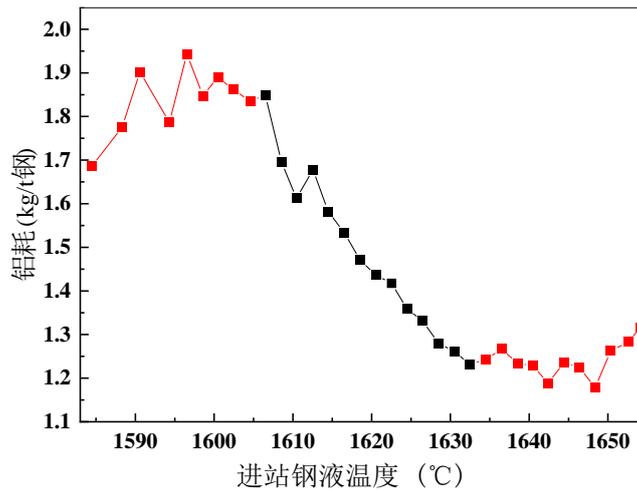


图 3 RH 进站钢水温度和铝耗均值线图关系

从以上结果可以看出,当进站钢液温度在 1630°C以上时,铝耗处于较低水平,保持在 1.1-1.3kg/t 之间,主要由于随着进站钢水温度的提高,升温铝耗量减少,导致铝耗降低。为了了解进站钢水温度的分布情况,对进站钢水温度做直方图,如图 3.4 所示。

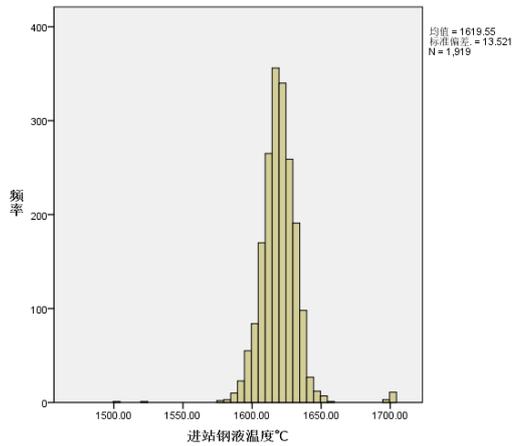


图 4 RH 进站钢水温度分布直方图

图 4 为 RH 进站钢液温度分布直方图，可以发现，RH 进站温度的均值为 1621°C，大于 1630°C 的炉次百分比仅占 21%；因此，通过提高 RH 进站温度来降低铝耗具有潜力；进站温度应控制在 1632-1646°C。

3.2 RH 低真空时间对铝耗影响

做出不同低真空时间和铝耗均值关系图，如图 5 所示。

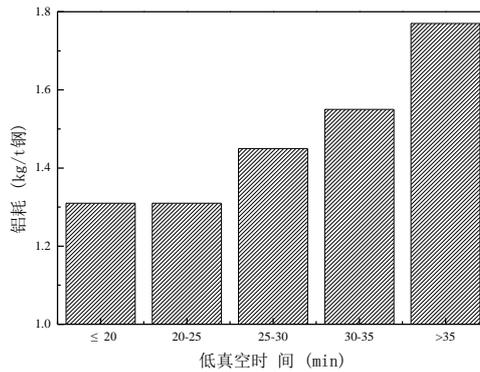


图 5 RH 进站钢水温度分布直方图

从图 5 发现，铝耗随着低真空时间的延长而增多，主要原因是铝耗的增多导致了低真空时间的延长；因为铝耗增多，导致铝夹杂物增多，需要更多的时间保证夹杂物的上浮。对低真空时间做直方图，如图 6 所示。

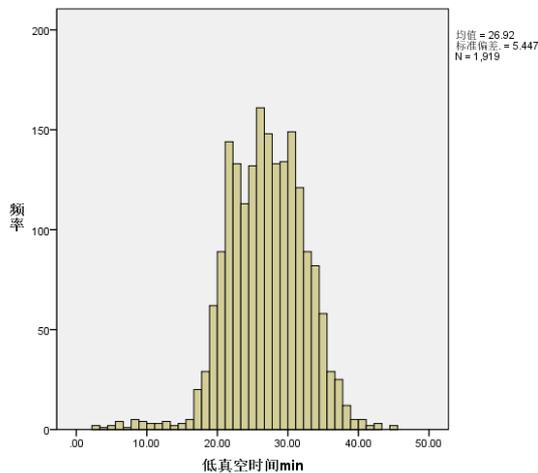


图 6 RH 低真空时间分布直方图

从图 6 发现，RH 低真空时间的均值为 26.9min 左右，低真空时间 >25min 的炉次百分比占到了 60%，可以通过低真空时间的分布大致推测铝耗加入量的分布情况。

3.3 RH 进站前氧含量对铝耗影响

做进站氧含量和铝耗关系的散点图，如图 7 所示。

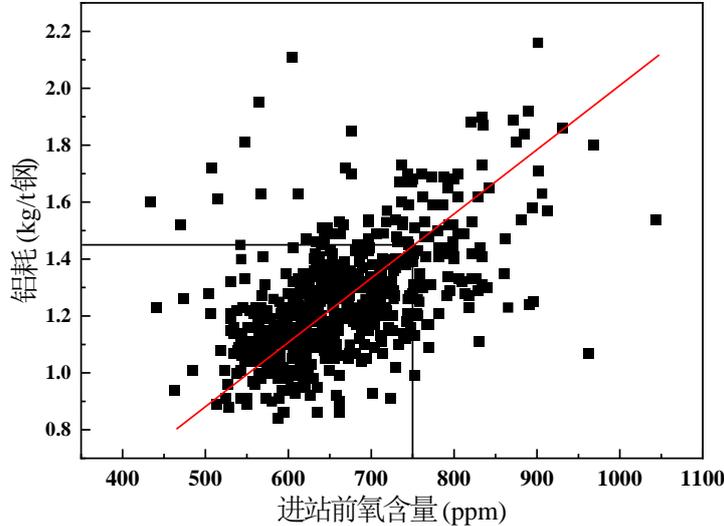


图 7 铝耗与进站前氧含量的关系

从图 7 可以发现，随着进站前氧含量的上升，铝耗呈上升趋势，主要是因为随着进站前氧含量的提高，脱氧用铝耗量增多，导致铝耗上升。以总体平均铝耗为临界点，所对应的进站前氧含量为 750ppm 左右。对进站前氧含量做分布直方图，如图 8 所示。

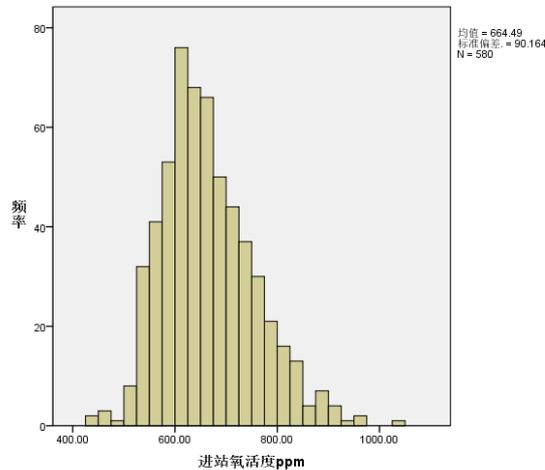


图 8 铝耗与进站前氧含量的关系

从图 8 可以发现，RH 进站前氧含量的均值为 664ppm 左右，大于 750 ppm 的炉次百分比较小。建议在保持现有控制水平的基础上，保证脱碳条件的同时，尽量降低进站前氧含量。

3.4 RH 中铝消耗过程流向追踪

对生产过程数据进行统计分析，定量追溯其损耗路径，对于提升 RH 中铝的优化利用，减少合金资源浪费具有重要作用。本研究结合宁钢二级机报表数据和生产报表数据，分析了 RH 过程 Al 去向，以期对后续生产起到指导作用。

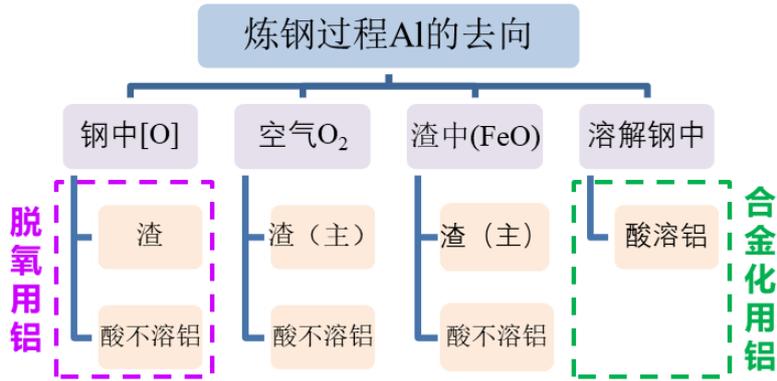


图 9 铝耗流向分析

从冶金热力学角度而言，RH 中铝耗可分为四个方向，如图 9 所示，分别为与钢中[O]结合形成渣和酸不溶铝（即脱氧用铝），与空气中氧气结合形成渣和酸不溶铝，与渣中(FeO)结合形成渣和酸不溶铝，溶解到钢中形成酸溶铝（即合金化用铝）。

宁钢RH真空脱氧数据			
测定项目	含量	测定项目	含量
到站Alt	16.88ppm	到站[O]	523.81ppm
到站Als	12.07ppm	脱碳终[O]	362.79ppm
出站Alt	371.63ppm	出站[O]	27.08ppm
出站Als	350.76ppm	铝粒加入	273.14kg

图 10 RH 真空脱氧数据

根据图 10 数据以及实际生产设备数据可知，钢包钢水量为：207t，进站前后酸溶铝增量为：337.93ppm，进站前后酸不溶铝增量为：16.82ppm，铝脱氧量为：335.71ppm，合金化铝耗：酸溶铝增量*钢水量=69.95kg，脱氧铝耗：铝脱氧量*钢水量*5448=78.18kg，氧化铝夹杂铝量：酸不溶铝增量*钢水量=3.48kg。所以，铝收得率=54.23%。

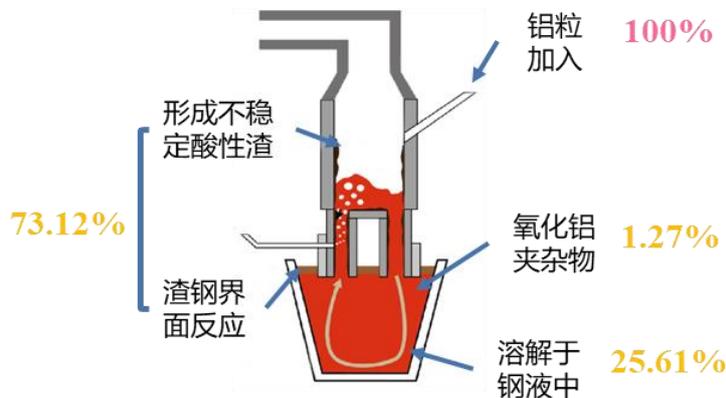


图 11 RH 真空脱氧数据

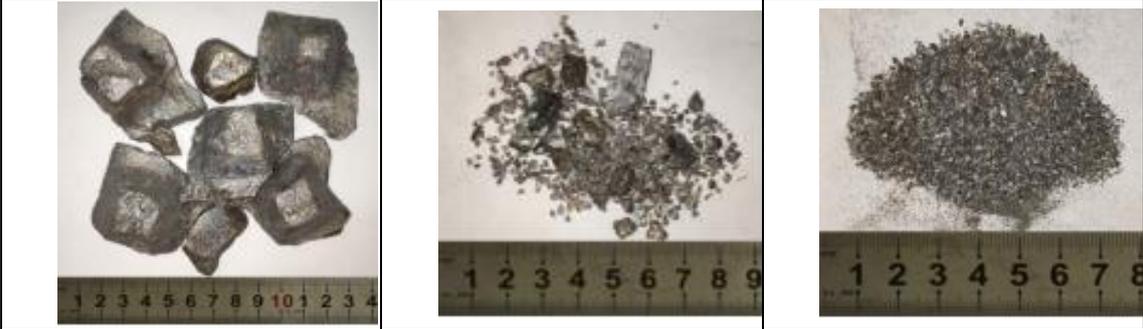
由图 11 可知，加入钢液的铝有 73.12%形成不稳定酸性渣或在钢渣界面反应，25.61%溶解于钢液中，1.27%形成氧化铝夹杂物。

3.5 铝系铁合金



样品名称	Al (w/%)	N (w/%)	O (w/%)
铝铁	40.72	<0.0030	<0.0030

图 12 铝系铁合金化学成分含量



粒度分级/mm	<1	1~10	>10	总计
重量/g	6.05	15.57	946.41	968.03
占比/%	0.62	1.61	97.77	100

图 13 铝系铁合金转鼓试验结果

将 969.36g 铝铁在高 700 mm，内径 $\Phi 135$ mm 的 I 型转鼓机内转动 60 转后，用孔径为 10 mm 和 1 mm 的方孔筛进行筛分，得到上表数据。

4. 结论

IF1 钢种铝耗与进站钢水温度、低真空时间、进站前氧含量的显著性水平小于设定的显著性水平，通过显著性检验，说明铝耗与以上冶炼参数具有一定的相关性。通过数据追溯发现加入钢液的铝有 73.12%形成不稳定酸性渣或在钢渣界面反应，25.61%溶解于钢液中，1.27%形成氧化铝夹杂物。

总体来说，影响合金收得率的因素还包括多个方面：如粒度、密度、有害元素含量、耐磨性、抗冲击性、替代性等；钢水的 O、C、Als、温度、成分等；合金的加入方式和时机等，投喂合金状态（块状、包

芯线)、脱氧与合金化的先后顺序、投喂合金速度等。通过一系列的研究,结合理论基础,为钢种合金化工艺优化提供依据。

参考文献

- [1] Xing L, Guo J, Li X, et al. Control of TiN precipitation behavior in titanium-containing micro-alloyed steel. *Mater Today Commun.* 2020;25:101292.
- [2] Krasnyanskii M, Kats YL, Myagkov K. Statistical models of the assimilation of silicon and manganese in the ladle treatment of steel. *Metallurgist.* 2012;55(11):790-798.
- [3] Gao CK, Na HM, Song K, et al. Technologies-based potential analysis on saving energy and water of China's iron and steel industry. *Sci Total Environ.* 2020;699:134225.
- [4] Wang Y, Karasev A, Park JH, et al. Non-metallic inclusions in different ferroalloys and their effect on the steel quality: *Metall Mater Trans B.* 2021;52(5):2892-2925.
- [5] Hasanbeigi A, Price L, Chunxia Z, et al. Comparison of iron and steel production energy use and energy intensity in China and the US. *J Clean Prod.* 2014;65:108-119.