·资 料·

关于获得高级优质低硫结构钢的方法选择

Л.Ф.Косов, В.Ч.Бреус

研究钢的炉外精炼以提高其质量的意义是极其重大的。

对具体的车间或工厂来说，在能够提高钢的质量和改进冶炼工艺的许多炉外精炼方法中，选择一种最有效和最适用的方法，通常是相当复杂的。因此，要对大量生产低硫结构钢的工艺进行分析。

结构钢可靠性的指标之一，是评定其冲击韧性。钢的韧性和各向同性是要取决于硫含量、硫化物夹杂的性质与形态。因此，按照现行标准和技术条件，硫含量是评定结构钢的质量的准则。

现阶段，硫含量允许在下列水平：普碳钢0.050%，优质钢0.040%，低合金钢0.040%，优质合金钢、高级优质合金钢和特高级优质钢分别为0.035%、0.025%和0.015%。标准规定，热轧普通碳素钢材在－20℃的冲击值应大于0.3兆焦耳/米²。因此，北方就不能使用这种钢材（对于普通低合金钢要求－40℃的冲击值）。当生产直径很大的气体输送管道时，为了提高低合金钢的韧性和耐寒性，通常是降低钢中的硫含量。例如，用于制造直径为1220毫米的电焊管道的17Г1С—У钢的硫含量的上限从0.035%降到了0.020%，这就可以将－40℃的冲击值提高到0.5兆焦耳/米²。

对于生产多层气体输送管道的09Г2СФ热轧板卷来说，当硫含量的上限规定为0.015%且钢的强度为600兆帕时，在-20℃时的冲击值不低于0.9兆焦耳/米²，在DWTT试样的断口上，韧断部分在该温度下不低于85%。

为了保证直径为1420毫米直缝管道在北方条件下使用的可靠性，当气压为7.5兆帕时，根据中央黑色科学研究院的标准，09Г2ФБ钢板的含硫量不得超过0.006%。只是在这种条件下，才能保证钢材的综合机械性能：在强度不低于560兆帕时，横向V型缺口试样的冲击值不低于0.9兆焦耳/米²，DWTT试样断口上韧断部分在－15℃时不低于85%。

降低硫含量，不仅能提高钢的冲击韧性，而且还能大大改善钢的可焊性，这对北方使用的焊接结构是非常重要的。

因此，进一步降低结构钢中硫含量是提高其质量和可靠性的最重要的措施。

钢中硫含量的降低，可用两种基本的方法：降低原料（生铁和废钢）中的硫或降低钢中的硫（在炼钢炉或钢包中进行）。

对于炼钢生产，若生铁的含硫量低而稳定，炼钢工艺就会有较大的改善，石灰和附加料的消耗就少，炼钢设备的生产率也会提高；有时也可增加炉料中废钢的比例。

为了获得含硫低于0.015%的特高级优质钢，随着废钢（含硫量通常为0.050%）的消耗量不同（10—30%），炼钢生铁中的含硫量不得超过下列数值（分子—未

考虑炼钢炉中的脱硫，分母—考虑炼钢炉脱硫20%）：

10%	15%	20%
0.012	0.009	0.006
0.015	0.014	0.011

25%	30%
0.003	0
0.008	0.005

显然，当使用普通废钢（0.050% S），在平炉或双床平炉中要想获得低硫钢时，不加辅助措施而仅用低硫生铁来冶炼，实际上是不可能的。

看来，在高炉中要求直接得到这样的（低硫）生铁是不适当的。在高炉中为了冶炼低硫生铁需要增加费用；这时高炉的技术经济指标明显恶化。

根据一座冶金工厂的数据，为了在高炉里从生铁中脱除0.010%的硫，需要提高炉渣碱度0.19和增加焦炭消耗16.7公斤/吨生铁。高炉生产率下降2.97%和增加附加费用0.91卢布/吨生铁。当要求生铁的含硫量降得更低时，该费用还要增加。因此，为了得到含硫量低于0.005%的钢，对高炉生铁应该进行炉外脱硫。高炉正常操作时，生铁中的含硫量为0.040～0.060%。

在炼钢设备中，随着生铁、废钢、石灰的数量和质量及精炼时间的变化，钢的脱硫率η_S的波动范围为：氧气转炉为0—40%，平炉为30—40%，电炉为50—60%。

仅只在电弧炉中能够冶炼含硫量小于0.015%的钢。

从下面的数据看出，在亚速钢厂的转炉冶炼过程中，在生铁的含硫量〔S〕生铁相当低、渣中碱度(B)高、石灰消耗量(И)高和萤石耗量（ПШ）大的情况下，实际上没有脱硫。

	И，公斤/吨	ПШ，公斤/吨	B	〔S〕生铁	〔S〕钢	η_S
亚速钢厂	70—100	3.5—4.3	3.0—3.6	0.020—0.030	0.020—0.030	0
ЗСМЗ（西西北利亚钢铁厂）	70—80	1.5—2.3	3.0—3.8	0.020—0.040	0.020—0.030	25
НЛМЗ（新利佩斯钢铁厂）	87—98	2.8—3.1	3.2—3.5	0.020—0.035	≈0.020	40

因此，为了在转炉中获得硫低于0.010%的钢，必须使用予先脱硫的生铁（硫不大于0.010%）、低硫废钢和低硫石灰。为了获得硫含量为0.005－0.006%的成品钢，要求生铁的硫含量小于0.005%。

根据许多冶金工厂的数据，平炉冶炼时，每脱除0.010%的硫，增加费用为1.2—1.3卢布/吨钢；当要求成品钢中的硫小于0.020%时，所需费用还要增加。

实际上，平炉冶炼不可能获得含硫量低于0.015%的钢。

由此得出，为了大量生产低硫结构钢，在现有条件下，有两种基本方法可供使用：生铁的炉外脱硫和用液体合成渣对钢液进行处理。

生铁炉外脱硫过程是在专用的设备中完成的。金属镁是一种主要脱硫剂，尽管它比碳化钙贵，但是往生铁中加入较简单，而且操作无危险。

为了把镁加入生铁，将纯的或钝化了的镁锭装入钟罩型设备（蒸发器）浸入金属中，也可通过埋入式喷咀或通过包底将细镁粒吹入铁水中。

钝化了的镁比纯镁蒸发较慢，用它脱

硫时利用率较高（高1.5倍），其耗量可从0.4降到0.25公斤/吨生铁，脱硫率可达50—53%，生铁的最终含硫量为0.020—0.035%。

通过埋入式喷咀用压缩空气将细镁粒带入铁水，这项技术在许多工厂得到发展。镁的消耗量为0.6—0.9公斤/吨生铁，处理一包铁水的时间为3—5分钟。生铁中含硫量可降到0.005%，相应的脱硫率为80—90%，用镁可脱除30—60%的硫。

为了提高细镁粒的脱硫效率，要求在处理后用可靠的机械从铁水包中将高炉渣扒出，现在使用的扒渣机的结构还有缺点，因而降低了脱硫效率和增加了铁损。

五个冶金工厂生铁脱硫的费用　　表1

指　　标	А	Б	В	Г	Д
生铁中含硫*，%	0.061/0.035	0.047/0.022	0.066/0.032	0.053/0.020	0.051/0.012
处理费用，卢布／吨生铁	0.345	0.420	0.369	0.806	1.096
其中：脱硫剂成本	0.250	0.240	0.330	0.756	1.049
用于钝化的费用	0.031	0.007	—	—	—
单耗费用，卢布/吨生铁	0.222	0.300	0.155	0.242	0.240
折算费用，　　〃	0.376	0.462	0.391	0.840	1.130
脱除0.010%S所需费用：					
在炉外脱硫设备中	0.145	0.190	0.115	0.254	0.290
在高炉内	—	1.21	1.13	—	0.795
在平炉内脱除0.010%S**的费用（为的是对比）	—	1.32	1.31	—	1.150

* 分子——用镁处理前生铁的成分，%
分母——用镁处理后生铁的成分，%
** 原刊误印为0.001%（译者注）

表1列出了一些工厂的炉外脱硫设备、高炉和平炉脱硫成本的数据。

可以看出，高炉和平炉的脱硫费用比炉外脱硫的费用高得多。

现在还不能保证氧气转炉、平炉和双床平炉都得到低硫生铁。因此，当生产高级优质钢和特高级优质钢时，在钢包中用液体合成渣精炼的方法获得迅速发展，在所有炼钢车间都取得了同样的效果。在这种情况下，能同时去除钢中的硫、氧和非金属夹杂。

出钢前钢中硫含量为0.030—0.040%时，在钢包中用渣处理之后，高、中碳钢和硅钢的含硫量为0.003～0.007%，低碳钢为0.005～0.012%。随着炉料、钢种和对硫的要求不同，合成渣的消耗量可在一个大的范围内（20—50公斤/吨钢）变化。当前在各个冶金工厂，在60—400吨钢包中用渣处理了上百个不同的钢种。

工业试验表明，用合成渣处理硫含量小于0.020%，特别是小于0.015%的高级优质和特高级优质结构钢（碳钢、低合金钢和合金钢）、冷镦头钢，特别是深冲铝镇静钢，模具钢、北方用的气体输送管道

干线钢、镍铬耐蚀钢和其它特殊钢，其工艺是合理的。

用合成渣处理下列钢的经济效果更大，像建筑结构钢，轴承钢和其它零件钢，特别是在北方和西北利亚的焊接油、气输送管道干线钢。

在采用不同用途的高强度合金钢制造零件和结构时，这些钢材的可靠性、耐久性、均一性、焊接性都很好。

使用合成渣的费用约为3—6卢布/吨处理钢。对冶金工厂而言，由于减少了废品和脱氧剂的消耗，提高平炉生产率5%，其它炼钢炉的生产率提高10—12%，所以实际费用仅占上述数值的50—70%。

由于使用了廉价的含氧化铝材料，例如铝热法生产铁合金的废渣、磨料生产中的碎渣、高炉铝氧渣等，并提高炼渣炉的生产率和工作效率（包括使用旋涡燃烧室在内），熔炼合成渣的成本，在多数情况下，可降低25—30%。

因此，在现阶段，技术上正确、经济上合理的生产高级优质钢的方法有两种，即炉外铁水脱硫和用合成渣处理钢液。究竟采用那一种，首先要根据生产现场的条件、品种和对钢提出的要求来决定。

可见，为了在转炉中生产硫含量为0.015—0.020%的钢，必须使用脱硫至0.010%的生铁。但是在平炉和转炉中，当利用一般废钢和石灰时，使用这种生铁，也不能得到含硫量低于0.020%或0.015%的钢。为了生产上述硫含量的钢，应该推荐使用普通含硫生铁，用液体合成渣在钢包中进行精炼。

用合成渣处理钢液的优点如下：

氧气转炉或平炉，可以使用含硫0.040—0.060%或更高的生铁冶炼，它可以提高高炉的生产能力和降低焦炭消耗；

可以使用不同含硫量的废钢；

脱硫、脱氧（包括吸收及去除非金属夹杂）和金属的变性处理，可以同时在钢包中进行；

由于钢包中有脱氧能力很强的渣，所以提高了喷粉、吹氩和真空处理的效率；

在有炼渣炉的车间，采用钢包脱硫法，在技术上是最合适的。

近年来，中央黑色冶金科学研究院和新利佩斯钢厂研究和推广了用液体合成渣脱硫和与之相配合的喷吹脱硫法，粉剂为硅钙和其它材料。

这种方法的脱硫率很高，能保证低碳钢中硫含量不大于0.005%，同时能改变硫化物和氧化物夹杂的形态。

脱硫剂的利用率为10—15%，合成渣的消耗量约为50公斤/吨，包括在钢包中喷吹30%的硅钙在内，总的费用约为4卢布/吨钢。

在亚速钢厂的转炉车间，用合成渣精炼09Г2ФБ钢时，在350吨钢包中处理的效果比在130—160吨钢包内的效果好。几乎所有炉次成品钢的硫含量都不大于0.006%。没有用硅钙粉喷吹钢液时，其机械性能也达到了要求。

各种脱硫方法的经济效果，应从生产的多种因素来评价，但经常考虑的是生铁和钢的生产特点：冶炼方式、炉子的容量和钢种、高炉生产情况、脱硫剂成本、设备的寿命、脱硫工艺和脱硫效果的稳定性，同时脱硫、脱氧和减少夹杂的能力，改变夹杂形态，最后还应注意用户得到的经济效益，包括提高设备的可靠性，延长零件的使用寿命和降低部件、机组及设备的金属结构重量等。

表2列出了在工业条件下使用的几种脱硫方法的技术经济指标。

最后应该指出，急需修改标准，把普碳钢、优质钢、高级优质钢和低合金结构钢

各种炉外脱硫方案的技术经济指标* 表2

脱硫工艺方案	A	Б	B	Г
生铁炉外脱硫	0.035	0—38	—	—
同上	0.025	1—96	10	1—96
同上，但用钝化镁	0.012	3—49	10	0—87
用液体合成渣处理钢液（20公斤/吨）	0.020	2—86	30	0—95
同上（40公斤/吨）	0.010	5—50	60	0—92
同上（50公斤/吨）				
并向钢包中用氩喷吹硅钙粉	0.006	9—74	70	1—39

*A—在成品钢中保证的硫含量（%），不大于；
Б—附加费用，卢布一戈比／吨钢；
B—冷脆性转变温度的降低，度；
Г—考虑到冷脆性转变温度每降低10℃所增加的费用，卢布一戈比／吨钢。

中硫含量控制得更低。为了保证在现有的炼钢车间炼出低硫钢，研究和推广了生铁和钢的炉外脱硫方法，这就允许根据钢种和对钢质的要求，来选择可靠地经济地获得低硫钢的方法。

当用一般炉料（生铁、废钢、石灰）冶炼高级优质和特高级优质低硫钢时，使用液体合成渣处理钢液的工艺是成功的。解决了从铁水罐中扒除终渣的问题之后，用镁或其它效率较高的脱硫剂在铁水包中脱硫时，转炉车间使用普通的废钢和石灰就能冶炼出含硫小于0.015%和0.030%的高级优质钢和优质结构钢。

王英译自《СТАЛЬ》3—1982
周镜校