

● 钢锭浇注

与钢锭质量

孟凡钦 编著

冶金工业出版社



9500251

TF 775

钢锭浇注与钢锭质量

孟凡钦 编著

(京) 新登字 036 号

图书在版编目 (CIP) 数据

钢锭浇注与钢锭质量/孟凡钦编著. —北京: 冶金工业出版社, 1994. 9

ISBN 7-5024-1547-5

I. 钢… I. 孟… II. ①铸锭-浇注②铸锭-质量
N. TF775

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 06715 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

北京昌平百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1994 年 9 月第 1 版, 1994 年 9 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 13.375 印张; 354 千字; 417 页; 1—1500 册

16.00 元

序 一

改革开放以来,我国钢铁工业有了很大发展。钢产量1978年为3178万吨,1992年已上升到8093万吨,连铸比达30%。发展连铸是今后我国钢铁工业实现现代化的战略目标之一。但是,从我国国情出发,近期模铸钢锭仍将占产钢总量的一半以上,到本世纪末,模铸钢锭所占比例也仍会有20%~30%。因此,搞好模铸,提高钢锭质量,从而确保成品钢材质量,仍具有十分重要的现实意义。

近三十年来,在连铸技术发展的同时,铸锭新技术、新工艺、新材料不断出现。国外发表了不少论著,我国各高等院校也编有多种铸锭讲义或教科书,冶金出版社也曾出版过《钢锭浇注问答》、《钢锭质量》等书,但尚无一本系统阐述钢锭浇注设备、辅助材料、浇注工艺及其与钢锭质量关系的书。为此,中国金属学会铸锭学术委员会委托孟凡钦同志编写了《钢锭浇注与钢锭质量》一书,1987年由《炼钢》杂志编辑部内部出版。现在冶金工业出版社决定出版此书,我相信一定会受到众多从事钢锭浇注工作的广大读者欢迎,从而对改善我国钢锭质量产生积极的影响。

吴溪淳

序 二

铸锭工作在炼钢生产中占有十分重要的地位。评价一个炼钢厂的产品质量，主要是以其最后产品——钢锭为判断根据的。钢炼得好，铸得不好，也会功亏一篑，出不了优质产品。道理虽然如此浅显，但在实际生产中，长期以来却重炼钢而轻铸锭，这与企业领导者重产量、轻质量的思想有关，与生产人员的认识和操作水平也有关。人们一般误以为铸锭只是简单地把钢水浇注到钢锭模里凝固成钢锭而已。其实，钢水从盛钢桶流入钢锭模内的过程，乃是一个相当复杂的物理化学过程，钢水在凝固以前要发生种种化学反应和物理反应。首先是钢水一流出钢口便与空气接触发生氧化反应；在盛钢桶里要完成脱氧反应；在钢锭模里还要进一步进行钢水中溶解气体的排出和非金属夹杂物的上浮，以及碳、锰、硅诸元素的氧化和磷的还原，此外伴有钢与渣对耐火材料的侵蚀。在钢锭模内，沸腾钢则视氧化度不同，在浇注过程中添加助熔剂或抑沸剂以调节沸腾强度；镇静钢、合金钢则添加保护渣、发热剂以改善钢锭表面质量和内部结构。

至于钢水在钢锭模中凝固，也不仅仅是从液体变成固体，而是一个相当复杂的结晶过程。采用不同的铸锭温度，不同的铸锭速度，不同大小和不同形状的钢锭模，不同的铸锭方法铸出的钢锭，其表面质量就大不一样，其内部结构也大不相同。

铸锭工作的正常进行，能改善钢锭质量，并为上工序优化钢的冶炼提供有利条件，也为下工序简化轧制前钢的加热创造方便条件。反之，若铸锭失常，则在钢锭表面产生的裂纹、结疤、钢

锭内部的缩孔、疏松、偏析、皮下气泡、非金属夹杂等等缺陷，都会恶化钢质，甚至发生跑钢、漏钢事故，致使炼钢全过程各个工序的劳动成果前功尽弃。所以铸锭在炼钢生产中的地位十分重要，是炼钢生产的成败关键。

要改变目前忽视铸锭的情况，必须做到提高企业领导者对铸锭重要性的认识以及提高生产人员的技术素质。但是系统地阐述铸锭技术的书籍，却多年来求之未得。孟凡钦同志从事铸锭工作多年，经验丰富，在工作中潜心钻研，积极地、系统地搜集国内外铸锭新技术和先进经验资料编写了此书，书中有实例、有分析、有操作实践、有理论阐述，可供技术、操作和管理人员、领导干部以及教师学员参考。但它由于深浅并陈，水平不齐，就不免众口难调，或嫌其理论部分艰深，或嫌其操作部分简浅，这可因岗位不同而各取所需，共同来推动铸锭工作的技术进步。

张春铭

前 言

连铸在我国虽然发展很快，但目前模铸在我国仍占 65% 以上。根据我国国情，模铸尚不可能很快“消亡”，因此，我们在大力发展连铸的同时，还必须高度重视仍占重大比例的模铸锭的生产技术，努力改进钢锭质量，才能适应对钢材质量要求日益严格的需要。

近三十年来，有关铸锭的新技术、新工艺、新材料不断出现，国外发表了不少论著。如前苏联出版有《钢锭浇注的理论基础》、《钢锭》，前西德出版有《钢锭凝固的研究》，日本出版有《钢铁基础理论研究》，美国也出版有钢锭凝固理论和三传理论的书籍。我国各高等院校虽编有多种铸锭方面的讲义，但至今尚无一本系统总结介绍国内外钢锭浇注设备、生产工艺及钢锭质量的书籍。为此，1982 年中国金属学会铸锭委员会委托包钢吕湘堤、冶金部王庆奎和我共同编写此书，炼钢界老前辈邵象华先生亲自审定了本书的提纲。后由于吕湘堤、王庆奎工作过忙，全书改由我一人承担，吕湘堤、王庆奎审阅了书稿。

该书先由《炼钢》编辑部于 1987 年出版，内部发行，1992 年末应 20 余个厂的要求，我又重新改写并增补了铸锭耐火材料，特别加重并修订增补了最新发展的炉外精炼技术。

本书欲集近代铸锭工艺技术之大成，但由于所能收集到的资料不全，并受篇幅之限，所以未能如愿。由于本人学识浅薄，谬误和不足自度难免，诚望同行专家批评指正。

本书在编写与出版过程中，得到许多领导和专家的帮助，冶金工业部吴溪淳副部长和中国科协委员、著名炼钢专家、原武钢

总工程师张春铭为本书写了序言,原武钢副总工程师陈茂力和原中国金属学会铸锭委员会主任夏侯刚都对本书提出许多宝贵意见,许多同行专家也为本书提供了有关资料,在此一并感谢。本书的出版还得到湖北省结晶硅厂的大力支持,特在此表示衷心感谢。

孟 凡 钦

1993. 8

目 录

1	钢锭的浇注设备	(1)
1. 1	盛钢桶	(1)
1. 2	塞棒系统	(16)
1. 3	滑动水口	(22)
1. 4	钢锭模与保温帽	(42)
1. 5	中铸管、底板	(68)
2	铸锭用耐火材料	(71)
2.1	盛钢桶内衬材料	(71)
2.2	塞棒系统耐火材料	(84)
2.3	滑动水口用耐火材料	(87)
2.4	下注系统用砖	(94)
2.5	各种耐火泥料	(99)
2.6	耐火混凝土和可塑料	(100)
2.7	炉外精炼用耐火材料	(101)
2.8	透气砖耐火材料	(103)
3	钢锭浇注的辅助材料	(108)
3.1	模铸用保护渣	(108)
3.2	绝热板	(146)
3.3	防缩孔剂	(170)
4	钢锭的结构	(183)
4.1	镇静钢钢锭的结构	(183)
4.2	沸腾钢钢锭的结构	(187)
4.3	半镇静钢钢锭的结构	(191)
4.4	外沸内镇钢锭的结构	(194)
5	各类钢的浇注	(196)
5.1	镇静钢的浇注	(196)

5.2	沸腾钢的浇注	(205)
5.3	半镇静钢的浇注	(253)
5.4	外沸内镇钢和外沸内半镇钢的浇注	(272)
6	快速上注	(282)
6.1	沸腾钢、半镇静钢快速上注工艺参数	(282)
6.2	助沸剂与沸腾控制	(289)
6.3	模型、底板与防溅问题	(296)
6.4	成分控制问题	(306)
6.5	快速上注的钢锭质量	(306)
7	钢包精炼	(312)
7.1	钢包吹氩	(315)
7.2	合成渣罐内吹氩精炼法	(331)
7.3	简易钢包钢水精炼法	(335)
7.4	钢包升温精炼法 (LF 炉)	(343)
7.5	钢包真空处理	(347)
7.6	脉动搅拌法	(362)
7.7	钢包喷吹	(364)
7.8	TN 法喷吹系统	(368)
7.9	钢包喷吹的冶金效果	(370)
8	钢锭及其制品的缺陷	(373)
8.1	钢锭的表面缺陷	(373)
8.2	钢锭的内部缺陷	(397)
8.3	钢锭的微观缺陷	(406)
8.4	由脆性引起的钢锭缺陷	(410)
	参考文献	(413)
	附录 钢中加稀土改善钢材质量	(417)

1.1 盛 钢 桶

盛钢桶又称为钢包、大罐等，由桶体与桶衬两大部分组成。桶体由外壳、加强箍、耳轴、流渣嘴（或溢渣口）、铸钢口、支架、翻罐装置及塞棒机构或滑动水口机械等组成；桶衬由永久层和工作层组成。

1. 1. 1 盛钢桶的结构

盛钢桶由以下几部分组成：

1. 1. 1. 1 外壳

盛钢桶的外壳是用 20~30mm 钢板铆接或焊接而成的，焊接的外壳比铆接的外壳轻 15~20%，这样既可节约金属材料，又可在不增加吊车负荷的情况下增大桶容。盛钢桶底由于承受的压力大，多采用 40mm 钢板焊成，或采用铸钢桶底。焊接的盛钢桶外壳，在焊好后必须经过退火处理，消除焊缝的残余应力。对铸钢桶底与桶壁的焊缝必须严格检查，甚至进行超声波探伤。

外壳上钻有一定数量的排气孔，以便在砌筑桶衬后烘烤时，排除耐火材料中的水分。排气孔直径一般为 10~20mm。

1. 1. 1. 2 加强箍

盛钢桶外壳的腰部多采用钢环箍紧，称为加强箍。它起加固外壳、防止盛钢桶变形的作用。一个盛钢桶一般在中上部和中下部各焊一条加强箍。

1. 1. 1. 3 耳轴

盛钢桶的两侧各装一个耳轴，耳轴的位置一般应高于盛钢桶盛满钢水后的重心 350~400mm，使盛钢桶在工作条件下能保持

平稳。

1. 1. 1. 4 流渣嘴

盛钢桶上部安有流渣嘴，其位置要与耳轴错开，以免干扰吊车吊运盛钢桶。流渣嘴比盛钢桶上沿低 100~200mm，便于盛钢桶中多余的渣能流出。

1. 1. 1. 5 铸钢口

盛钢桶的底部靠铸锭台方向的右侧，有一铸钢口，用来安装水口砖。如果是普通水口，桶底壳另有压板和打紧销轴，以防水口砖松动；如果是滑动水口，于桶底相当水口的位置焊接一块与盛钢桶中心线垂直的基准板，滑动水口机械就安装在基准板上。

1. 1. 1. 6 翻罐装置与支架

通常在盛钢桶底部安装一块或两块厚钢板，其位置从桶底中心（或另一端边缘）到桶底的边缘，便于在浇注完毕，将余渣和残钢翻入渣罐。

中小型盛钢桶桶底大都装有 1 个支架（又称桶爪），以便摆在地坪上，而不受罐座的限制，同时支架还保护了翻罐装置和水口机械。

1. 1. 1. 7 塞棒机械或滑动水口机械

这是盛钢桶的重要部件，它们分别固定在桶壁或桶底与水口对应的位置。

盛钢桶结构示意图见图 1-1，其主要尺寸见表 1-1。

1. 1. 2 盛钢桶的内衬

盛钢桶的内衬一般由三层组成。外层是隔热层，中间是永久层（也叫非工作层或保护层），最内一层是工作层。

无论是永久层还是工作层，都可分砌砖和打结两种，还有全打结全浇灌内衬。

1. 1. 2. 1 隔热层

隔热层的作用是保温，减少内衬向外壳的热传递，从而防止外壳在高温下变形。一般采用石棉板和轻质粘土砖之类的耐火材料，但目前许多钢厂的炉子扩容后，为了增加盛钢桶容量，大多

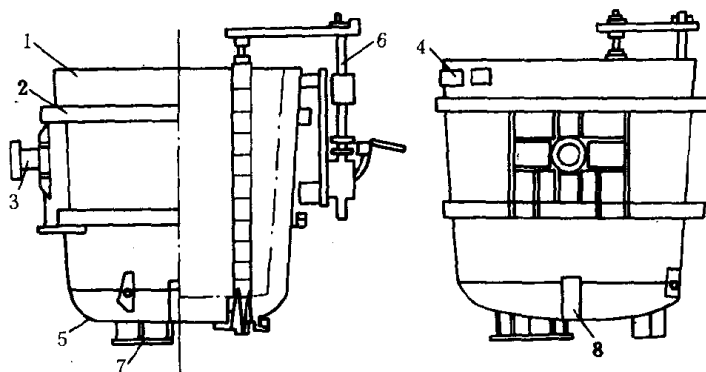


图 1-1 盛钢桶结构示意图

1—外壳； 2—加强箍； 3—耳轴； 4—流渣嘴；
5—桶底加强筋； 6—塞棒机械； 7—支架

已取消了轻质粘土砖层，只留下石棉板，有的连石棉板也取消了，这对减少钢水在盛钢桶中的热散失是不利的。80年代初，各钢厂陆续进行了轻质浇注料的试验。鞍钢试用绝热板进行钢包隔热，取得显著效果（详见第2章）。

1. 1. 2. 2 永久层

永久层的作用是当工作层侵蚀到较薄时，防止钢水一旦从工作层穿漏时烧坏外壳。永久层一般选择粘土砖砌筑，其使用寿命因拆罐方法不同而受影响，一般一年需更换2~4次。70年代到80年代初，不少钢厂为了延长永久层寿命而改用耐火混凝土打结，其特点是整体无砖缝，施工简便，寿命可达2~4年；其缺点是拆修工作层时如打水冷却易发生粉化，不耐高温侵蚀，防止漏钢的可靠性不大。80年代中期，许多厂永久衬改为用浇注料，如武钢改为一级高铝浇注料永久衬。

1. 1. 2. 3 工作层

工作层直接接触钢水与炉渣，承受钢水与炉渣的高温及化学侵蚀，因此，工作层耐火材质、砌筑质量、钢水与钢渣对此层的侵蚀程度、出钢温度的高低、出钢时间的长短以及钢种等等都对

工作层的寿命有重要影响，所以对工作层材质的选择、砌筑质量和工艺条件必须充分重视，盛钢桶寿命才能提高。

表 1-1 盛钢桶主要尺寸

容量 t	容积 m ³	金属部 t	分重 桶衬 t	重量 t	总重 t	上部 直径 mm	直高 与 比	锥度	耳轴 中心 mm	距 离 mm	桶壁 厚度 mm	桶底 厚度 mm	桶高 mm
5	1.05	1.98	2.21	4.19	4.19	1400	1.03	0.100	1700		12	16	1350
10	1.97	3.32	3.34	6.66	6.66	1680	1.02	0.100	2000		16	16	1640
25	4.65	6.64	4.89	11.53	11.53	2140	0.98	0.100	2600		18	22	2316
50	9.16	15.47	6.75	22.22	22.22	2695	1.01	0.100	3150		22	26	2652
90	15.32	18.69	16.40	35.09	35.09	3110	0.96	0.100	3620		24	32	3228
130	20.50	29.00	16.50	45.50	45.50	3484	0.956	0.075	4150		26	34	3860
200	30.80	40.60	29.00	69.60	69.60	3934	0.845	0.082	4050		28	38	4659
260	40.20	47.5	32.00	79.5	79.5	4450	0.935	0.065	5100		28	38	4750

1. 1. 3 盛钢桶内衬寿命

近 20 年来，冶炼工艺发生了重大变革，吹氧炼钢的发展，低碳钢与合金钢比例的提高，使出钢温度提高，特别是为了提高钢质量，国内外在盛钢桶内进行吹氩脱气、脱硫（诸如前西德蒂森公司的 TN 法和斯堪的纳维亚的 SL 法罐内喷吹脱硫工艺）真空处理以及罐内精炼（诸如 ASEA-SKF 法、VOD、AOD、LF、CAS-OB、RH 法等），这些都使钢水和炉渣在罐内停留时间大大延长，使盛钢桶的工作条件更加苛刻。因此，盛钢桶内衬如果不过关，必将影响真空处理、吹氩和炉外精炼的进行。

盛钢桶所消耗的耐火材料占炼钢工艺的 20~25%（不包括修炉用耐火材料），这也是促使人们研究提高盛钢桶寿命的重要因素之一。

1. 1. 3. 1 盛钢桶内衬损坏因素

盛钢桶使用过程中受到下列各种因素的作用：

- 1) 钢水的高温作用；
- 2) 钢水及炉渣的化学侵蚀和冲刷作用；
- 3) 温度变化造成的应力作用；
- 4) 清理残钢（渣）时的机械冲击作用。

根据盛钢桶内衬的工作性质和使用条件分析,在正常情况下,影响盛钢桶内衬寿命的因素是钢水,特别是炉渣对耐火材料的化学侵蚀作用。

A 钢水和炉渣成分的影响

钢水和炉渣中的 MnO 和 FeO 都会与衬砖中的 SiO_2 和 Al_2O_3 相互作用生成新矿物,其熔点陡然下降。如 MnO 与 SiO_2 生成的锰橄榄石 $2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$, 熔点为 1345°C ; 生成的蔷薇辉石 $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$, 熔点仅 1291°C 。 FeO 与 Al_2O_3 作用生成铁铝尖晶石 $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, 熔点为 1350°C ; 生成的铁橄榄石 $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$, 熔点为 1180°C 。而且渣的侵蚀能力大大超过钢水,因此,渣线部位被侵蚀得更为严重,见图 1-2。

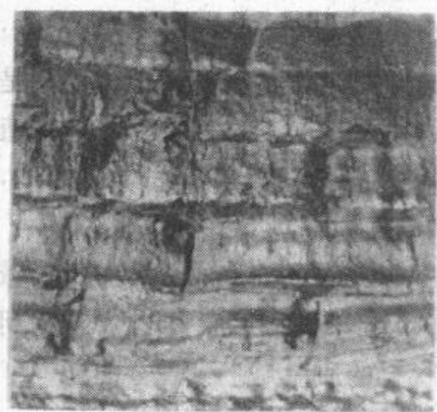


图 1-2 270t 盛钢桶渣线部位侵蚀情况

B 钢水与炉渣温度的影响

从熔融动力学的观点看,盛钢桶内衬的损坏过程,就是钢水和炉渣对耐火材料的熔解过程。显然,钢水和炉渣温度愈高,熔解进行得愈激烈。有资料认为,温度每提高 10°C , 反应速度提高 1~2 倍,若以单位时间内熔于钢水或炉渣的耐火材料为 mg , 则其熔融速度为:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\lambda(T_{\text{渣}} - T_{\text{砖}})}{\delta q}$$

式中 t ——钢水、炉渣与耐火材料作用的时间;

λ ——钢水、炉渣的热导率;

$T_{\text{渣}}$ 、 $T_{\text{砖}}$ ——分别为钢水和炉渣、耐火砖表面的温度;

q ——每克耐火砖的熔融潜热;

δ ——钢水、炉渣在砖体表面保持不变的一层厚度。

式中 q 对某限定材料为一定值, 可用常数表示, 则上式为:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = K \frac{T_{\text{渣}} - T_{\text{砖}}}{\delta}$$

这就明显看出: 耐火材料的熔融速度与钢水或炉渣温度呈直线关系。

C 炉渣的流动性和碱度的影响

当耐火砖与钢水或炉渣接触时, 耐火材料不断熔解, 使钢水或炉渣中耐火材料浓度逐渐增加, 在砖与钢或渣的界面上形成一个“饱和层”, 当钢水或炉渣流动性增大产生机械冲刷时, 会使“饱和层”厚度减薄, 从而加速熔侵反应的进行。

碱度增高, 即渣中 CaO 含量增加, CaO 与耐火材料中 SiO_2 作用生成硅酸钙和铝酸钙, 使耐火材料熔点降低, 也是桶衬熔损的原因之一。

D 砌筑质量的影响

用耐火砖砌筑盛钢桶时, 砖缝是被侵蚀的薄弱环节, 尤其是火泥质量一般都低于砖的质量, 火泥首先被熔蚀, 使钢水或炉渣沿砖缝渗入, 熔损加剧, 在砖缝附近出现明显的“深沟”, 因此, 砌筑盛钢桶砖缝不仅要小而且要错开。

在盛钢桶内衬熔损的诸因素中, 钢水或炉渣成分、温度、碱度等, 由于冶炼工艺的要求, 一般是不可改变的, 因此, 作为问题的另一方面, 提高并稳定耐火材料的质量是十分重要的。

E 耐火材料质量的影响

a 气孔率的影响

当耐火砖的显气孔增加时, 会增加钢水或炉渣同耐火材料的接触面积, 从而加速熔损作用。某厂用 300t 及 800t 压砖机分别试制一批衬砖, 在 40t 盛钢桶上分别作使用试验, 其结果见表 1-2。

表 1-2 盛钢桶衬砖气孔率对使用寿命的影响

项目	Al_2O_3 %	耐压强度 MPa	重烧收缩 %	荷重软化点 ℃	气孔率 %	使用次数
生产砖	48.64	69.6	0.12	1490~1030	19	7~8
试验砖	48.62	76.1	0.05	1440~1520	11.7	8~10

从表 1-2 看出：两种砖化学成分基本一致，但因试验砖是用 800t 压砖机制成，气孔率低于生产砖（300t 压砖机生产），其使用寿命提高 1~3 次。

b Al_2O_3 含量的影响

当采用以硅酸铝为主要基体的耐火砖做衬砖时，盛钢桶的寿命随 Al_2O_3 含量的增加而提高，见图 1-3。

国外主要产钢国家的盛钢桶寿命见表 1-3。国内的盛钢桶使用寿命和理化指标见表 1-4。

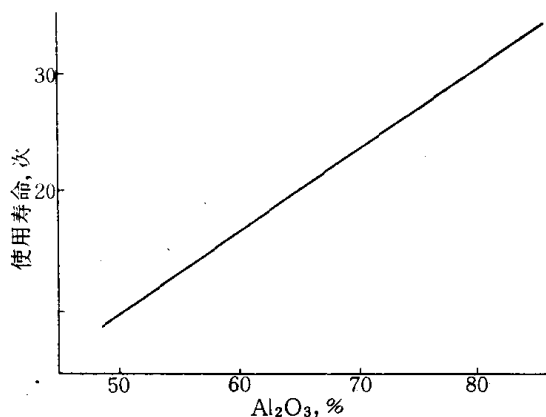


图 1-3 衬砖 Al_2O_3 含量与盛钢桶寿命的关系

1. 1. 3. 2 提高盛钢桶寿命的措施

要提高盛钢桶使用寿命，应从工艺、衬砖材质、砌筑质量三方面进行工作。

A 工艺

出钢温度应尽可能低，渣中 FeO 含量要适当，渣碱度和流动性合适，严格执行烘烤制度，使用过程不宜急冷，尤其忌用打水冷却，尽可能缩短镇静时间和浇注时间。

B 衬砖材质

采用碱性材质衬砖比采用粘土砖寿命可提高 30~50%，国外统计到 1990 年已有 50% 以上盛钢桶用碱性材料，约 30% 用粘土砖，20% 用高铝砖。

C 砌筑质量

为了使盛钢桶均匀破损，采用综合罐衬，即在盛钢桶最容易侵蚀、冲刷破损的部位砌上优质衬砖。例如日本广畑制铁所的