

- 916609

高等学校教学用书

钢铁冶金学

(炼钢部分)

冶金工业出版社

高等学校教学用书

钢铁冶金学

(炼钢部分)

北京科技大学 陈家祥 主编

冶金工业出版社

高等学校教学用书

钢铁冶金学

(炼钢部分)

北京科技大学 陈家祥 主编

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷99号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 21 字数 501 千字

1990年5月第一版 1990年5月第一次印刷

印数00,001~5,150册

ISBN 7-5024-0707-3

TF·155(课) 定价4.10元

前 言

《钢铁冶金学》(炼钢部分)一书是根据1987年全国11所高等院校钢铁冶金专业第一次教学讨论会拟定的钢铁冶金学教学大纲编写的。本书作为高等院校钢铁冶金专业的教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

本书共分两册,一册为炼铁部分,本册为炼钢部分。

本书主要内容为炼钢原理与工艺,包括确定工艺参数的方法。以阐述对生产有指导意义的原则、观点为重点,加强理论计算与数量分析;注意工艺中各环节、步骤的连续性,以有利于学生对生产过程的掌握和分析。综述了钢中元素对钢质量的影响、对原材料的要求和常用耐火材料的性能。将脱除杂质的理论部分尽量和生产实践结合起来。根据国内外炼钢发展趋势,工艺部分以氧气顶吹转炉及电炉炼钢为主。尽力反映炼钢生产新工艺,如复合吹炼、超高功率电炉、电炉炉底出钢、炉外精炼等对提高生产率和钢质量都是行之有效的工艺及方法。在钢的浇注部分主要介绍铸锭和连铸工艺及其主要参数。

本书由北京科技大学陈家祥主编。第四、五章和第十章中的保护渣部分由韩郁文编写,第二章中的耐火材料部分由曲英编写,其余各章由陈家祥编写。

1988年初召开了审稿会。参加审稿会的有东北工学院徐文派、鞍山钢铁学院薛志明、河北矿冶学院顾然、武汉钢院徐增启和北京科技大学曲英等,他们对本书提出了许多宝贵的意见,编者对参加讨论、审查的同志表示衷心的感谢。

由于时间紧迫加之经验不足,本书难免有错误与不足之处,请读者批评指正。

编者

1989年9月于北京

1A03/05

目 录

1 概 论	1
1.1 炼钢的发展过程	1
1.2 我国钢铁冶金的发展	2
1.3 钢铁工业生产的主要技术经济指标	3
1.4 国外钢铁工业发展的状况和趋势	4
2 炼钢的任务、原材料和耐火材料	9
2.1 炼钢的任务	9
2.2 炼钢用原材料	23
2.3 炼钢用耐火材料	30
3 钢生产的理论基础	45
3.1 熔融金属中的炼钢反应	45
3.2 炉渣和钢渣间的氧化还原反应	63
3.3 钢液的脱碳	75
3.4 钢液中的气体和去除	89
3.5 钢液的脱磷	102
3.6 钢液的脱硫	111
3.7 炼钢时金属的氧化和脱氧	120
3.8 炼钢过程中钢液的搅拌	134
4 氧气顶吹转炉、底吹转炉和顶底复合吹炼	140
4.1 顶吹氧气转炉炼钢	140
4.2 底吹氧气转炉炼钢	177
4.3 顶底复合吹炼	181
4.4 顶吹氧气转炉的自动控制和新技术	193
5 平炉冶炼	200
5.1 平炉炼钢法的特点	200
5.2 平炉构造	201
5.3 废钢矿石法的熔炼工艺及特点	204
5.4 平炉改造和改建	207
6 碱性电弧炉氧化法冶炼和电炉发展趋势	212
6.1 碱性电弧炉氧化法冶炼	212
6.2 电弧炉的发展趋势	239
7 其它炼钢方法	246
7.1 感应炉冶炼	246
7.2 电渣重熔法	254
7.3 真空感应炉熔炼法	261

7.4	真空自耗炉熔炼	264
7.5	电子轰击炉熔炼	266
7.6	等离子电弧炉重熔	267
8	炉外精炼	270
8.1	炉外精炼方法分类	270
8.2	炉外精炼方法	271
9	典型钢种的冶炼	287
9.1	结构钢的冶炼	287
9.2	高速钢的冶炼	288
9.3	不锈钢的冶炼	290
9.4	轴承钢的冶炼和浇注	292
10	钢的浇注	296
10.1	钢的浇注工艺	296
10.2	钢的凝固理论	305
10.3	钢锭的主要缺陷和防止措施	312
10.4	钢的连续浇注	320
	参考书目	328

1 概 论

1.1 炼钢的发展过程

人类最初使用的是陨铁，如埃及金字塔中发现的铁和我国出土的商代铜钺铁刃都是陨铁，它们已在公元前1400~1500年被人们所利用。

最早人们用木炭在约1000℃的温度下还原铁矿石，制品几乎不含碳、硅、锰、硫、磷等元素，结构疏松，其中夹有渣和矿石，此铁块比较柔软可锻；我国出土的春秋末期（公元前400~500年）铁器就是这样制成的。以后人们为提高生产力建立了炉身不高的还原炉，温度约在1100~1300℃，产品里的铁和渣混在一起，算为熟铁。

随着炉身加高和鼓风的应用，铁在高温下还原出来，并吸收了过剩的碳成为生铁，但很脆不能锻造。为了得到可锻铸铁，人们把炼得的生铁用木炭进行熔化，再用矿石做氧化剂，去除铁中的碳、硅、锰、磷、硫等杂质，得到可锻的熟铁。1740年出现了一种可以熔炼液体钢的方法——坩埚法，它是将生铁和废铁装入石墨和粘土制成的坩埚内用火焰加热熔炼炉料，之后将熔化的炉料铸成钢锭，但这种方法不能去除钢中的有害杂质。

亨利·贝塞麦在1855年发明了酸性空气底吹转炉炼钢法，第一次解决了用铁水直接炼得液态钢的问题，使炼钢生产的质量、产量提高了一大步。

1856年，暮金（Robert Mushet）向钢液内加镜铁（Mn-Si-Fe的合金）进行脱氧，防止浇注后凝固的钢水产生蜂窝气泡，使钢锭能顺利地进行加工热处理，保证了钢质，并可得到各种成分和不同硬度的钢。

由于西欧各国（法国、德国、比利时、卢森堡等）的矿石是高磷矿石，用贝塞麦法炼出的铁水含磷高达1~2.5%。1878年英国人托马斯（S.G.Thomas）发明了碱性炉衬的底吹转炉炼钢法，在工业炉中以白云石加少量粘土作粘结剂制成炉衬，在吹炼过程中加入石灰造碱性渣，解决了高磷铁水的脱磷问题。由于托马斯炼钢法是空气底吹，所以钢液内溶解的氮较高，易产生时效硬化现象，人们采用了很多减少鼓风中氮含量的措施，用富氧（O₂30~32%）鼓风、混合气体（O₂50%，CO₂50%）鼓风或氧气中加H₂O鼓风，不仅可快速冶炼并能有效地降低钢中的氮量。

酸性、碱性转炉投入生产以后，废钢（切头切尾等）相应增加，同时工农业生产对钢的需要量也增大了。1865年继酸性转炉问世，德国人马丁（Mar Tin）利用蓄热室原理发明了以铁水、废钢为原料的酸性平炉（马丁炉）炼钢法；继托马斯炼钢法以后于1880年又出现了第一座碱性平炉。由于成本低、炉容大，质量优于转炉，又能解决废钢问题，并适应于各种原材料条件（铁水和废钢可用任何比例），平炉炼钢法长时间成为世界上主要的炼钢方法，平炉钢占全世界总产钢量的82%。

四十年代初大型空气分离机问世以来，开始提供大量廉价的氧气，随即产生了氧气顶吹转炉，它首先由瑞典人罗伯特·杜勒（Robert, Duner）试验成功。1952年在奥地利林茨（Linz）城和1953年在多纳维茨城（Donawitz）先后建成了30吨的转炉车间并投入生产，所以这一方法也称LD法，美国称BOF（Basic oxygen furnace）炉或BOP法。由于氧气顶吹转炉反应速度快，热效率高，含氮量也低，还可使用近30%的废钢，所以它

的生产率高，成本低，质量较高，加之投资比平炉少，便于自动化，已成为冶金史上发展最迅速的新技术，并逐步地取代了平炉。

与顶吹氧气转炉炼钢发展的同时，各种炼钢方法普遍采用氧气强化炼钢过程。氧气底吹转炉炼钢法采用开口冷却、裂解吸热喷嘴，喷入碳化氢，减缓氧气从喷嘴吹入钢液时炉底的损坏。这种方法对熔池的搅拌很强烈，脱硫能力强，能够冶炼超低碳钢种，铁损较顶吹小，能使用高磷生铁，而且吹炼过程中的曲线（成份，温度）变化的重复性好，利用动态控制，受到普遍的重视。目前顶底复合吹炼发展特别迅速。

自本世纪开始发展电弧炉炼钢以来，它长时期作为熔炼特殊钢和高合金钢的方法。由于市场需求量大和质量要求很高，加之电力工业的发展，采用超高功率电弧炉和炉外精炼技术已成为国内外广泛使用的冶金生产系列。在电力充裕的国家电弧炉常作为熔化和生产普通钢的设备。

冶金生产的发展过程是决定于社会需要和当时的生产条件的。要求产量和质量越来越高，成本越来越低，每一个冶金工作者都应学习掌握冶金生产规律，用已取得的生产经验和冶金理论去指导冶金生产。生铁水中杂质的氧化、钢液中的脱氧和去除，依然是冶金生产中的主要问题。不仅要从热力学的观点去分析应用，而且也要从动力学角度研究并促进反应进行。

1.2 我国钢铁冶金的发展

旧中国钢铁工业非常落后，产量很低。虽然我国有相当丰富的煤、铁、有色金属和水力资源，由于长期受到封建主义的束缚与帝国主义的侵略，冶金工业远远落后于资本主义国家。从1890年建设的汉阳铁厂算起至1948年的半个世纪中，钢的总产量累计还不到200万吨，年产量最多的1943年才92.3万吨，1949年只有15.8万吨。

新中国成立以后，钢铁冶金工业发展很快。1949~1980年累计为国家生产铁4.7亿吨，钢4.34亿吨，钢材3.05亿吨，1980年产钢量达3712万吨，同1952年相比平均每年递增速度为12.6%。1988年全年产钢已超过5900万吨。

工业布局有了相当大的改变，沿海的鞍钢年产钢已达800万吨（1988年），上海505万吨（1985年），首钢258万吨（1985年），唐钢、天钢、马钢、本钢都超过了100万吨（1985年）。而内地的武钢398万吨（1985年），包钢、太钢、攀钢等都在150万吨左右。在新建和扩建大型钢铁联合企业的同时，建设了十多个特殊钢厂，几十个中小钢铁厂，还有为数众多的小型钢铁厂，分布在全国各地。在发展沿海钢铁工业的同时，也发展了许多内地工业，既发展了大型重点企业也发展了很多中小企业，为全国各地均衡发展工农业生产，利用当地资源，创造了良好的条件。

产品品种和质量有了明显的增加和提高。旧中国只能生产100多个普通钢号，现在已能生产1000多钢号。根据我国资源建立了含硅、锰、镍、钨、钼、钒、钛、铌、稀土元素等合金钢体系，很多航空用的高温合金钢，精密合金以及高能加速器用的纯铁等产品都能符合规定要求。1953年我国只能轧制400多种规格的钢材，现在可轧制2万多种规格的钢材。不仅能生产铁路、火车、汽车、飞机、船舶、农机、重机、电站建筑所需要的钢材，而且能生产原子弹、氢弹、导弹、人造卫星、核潜艇所需的金属材料。

技术设备水平有了较大的提高。通过技术改造和技术引进，我国已有容量为250吨的

氧气顶吹转炉,500吨的平炉,80吨的电炉,3.5万m³的制氧机,256×1900mm、210×1700mm大型板坯连铸机。1984年我国的冶金设备情况见表1-1。

表 1-1

分 类	平 炉	电 炉	转 炉	氧气顶吹转炉
数量 (座)	89	1571	175	119
总容积, t (其它表示方法)	15635 (4363m ²)	4456 (293×10 ⁴ kVA)	3199	2989

1.3 钢铁工业生产的主要技术经济指标

我国1980年、1981年和1985年的生铁、钢和钢材产量见表1-2。

表 1-2

国 家		中 国	苏 联	美 国	日 本
生产铁量 (万吨)	1980年	3802	10728	6234	8704
	1981年	3413	10777	6674	8005
	1985年	4384	10997.7	4576.5	8056.9
钢 产 量 (万吨)	1980年	3712	14793	10146	11140
	1981年	3560	14900	10962	10168
	1985年	4679	15450	7925.5	10527.9
钢材产量 (万吨)	1980年	2716	10488	7607	10179
	1981年	2670	10488	7894	9323.0
	1985年	3692	10827.4	6532.5	9989.2

衡量钢铁生产水平常用多种比值,其意义及有关内容如下:

焦比:高炉每炼一吨生铁的焦炭消耗量,kg(焦)/t(生铁)

1986年全国重点企业综合焦比为556kg/t。

矿铁比:高炉每炼一吨生铁的铁矿石消耗量,其比值标志着原料准备的好坏,并在一定程度上反映炼铁技术水平的高低,炼铁经济效益的大小,发达国家为1.45左右。

铁钢比:每炼一吨钢的生铁消耗量,其比值越小,吨钢能耗也越低,八十年代初较好的指标是0.7左右。

铸铁比:铸造铁产量与生铁总产量之比,此比值越大表明焦炭消耗量大。铸造铁在使用时每吨铁还要再消耗约200kg的焦炭来熔化生铁。

废钢比:废钢消耗量和钢铁料总消耗量之比。其比值越高,能耗越低,它取决于废钢资源、炉子容量、操作水平等因素。发达国家废钢比达30%~50%左右。

合金比:合金钢产量与钢总产量之比。此比值大小表明利用钢的机械性能和特殊物化性能的程度,它和汽车、化工、常规武器、尖端技术、日用消费品等等生产紧密相连。七十年代后期有所增加,一般为15%~16%。

连铸比:连铸坯产量与钢总产量之比。其比值表明钢的成材率和能耗的高低。1982年

世界连铸比近40%，1987年近50%。

钢材比：钢材产量与钢总产量之比。它是反映金属价值利用程度的一项指标，钢材比小意味着钢材少（主要原因是轧钢能力不足），铸钢占钢总产量的比例高（铸钢质量差，废品率高）。

板管比：钢板、带钢、钢管的合计产量与钢材总产量之比。一般在50%以上，其比值说明钢材品种构成的合理性和经济效益的大小。

不同炼钢方法钢产量构成比：氧气转炉和电炉钢产量占总产钢量的比例大，表明炼钢技术先进，目前除苏联仍以平炉为主，意大利以电炉为主以外，其余国家都以氧气转炉为主，以电炉为辅，前者占60~80%，后者占15~40%。氧气转炉钢生产效率高，能耗小，成本低，冶炼品种也不少。随着炉外精炼工艺的发展，电炉将主要起熔化作用，生产率可大大提高，品种质量都有所突破。

我国和一些主要产钢国家1980年、1981年指标见表1-3。

表 1-3

国 家	中 国		美 国		日 本		联 邦 德 国	
	1980	1981	1980	1981	1980	1981	1980	1981
焦 比	530	540	569	550	450	476	515	540
矿 铁 比	2.96	3.06	1.44	1.48	1.53	1.55	1.53	1.54
铁 钢 比	1.02	0.96	0.614	0.609	0.781	0.787	0.773	0.761
铸 铁 比	0.247	0.213	0.018	0.018	0.015	0.012	0.037	0.039
废 钢 比			0.467	0.487	0.3	0.294	0.332	0.327
合 金 比	0.49	0.42	0.153	0.160	0.152	0.707	0.46	0.536
连 铸 比	0.062	0.076	0.203	0.203	0.595	0.917	0.852	0.887
钢 材 比	0.771	0.783	0.750	0.720	0.914	0.634	0.667	0.633
板 管 比 ^①	0.301	0.345	0.673	0.684	0.623	0.634	0.607	0.633
氧 气 转 炉 钢	0.406	0.43	0.605	0.606	0.755	0.752	0.784	0.802
电 炉 钢	0.1910	0.184	0.279	0.283	0.245	0.248	0.149	0.158
平 炉 钢	0.32	0.314	0.117	0.117	0	0	0.067	0.039

① 中国为成品板带、管材与成品材之比，国外为热轧板带管材与热轧钢材之比。

1.4 国外钢铁工业发展的状况和趋势

经济发达国家的钢铁工业发展史表明，在建设新工厂的同时，十分重视对老企业的改造、扩建，并使之现代化，这是世界钢铁工业发展史的一条共同规律。它是以较少的投资和较快的速度增加钢铁生产的捷径。据报导，改建、扩建比新建厂节省投资30~40%，建设速度也快，投资比新建厂回收快，新建厂需要10~13年，改造旧厂只需6~8年。另外一条是依靠技术进步，在我国，采用七十或八十年代国外钢铁工业的先进技术是发展我国钢铁工业并使之现代化的重要途径。

国外炼钢技术朝高效率、多品种、高质量、低成本的方向发展，近期发展起来的较成熟而影响较大的新技术是氧气炼钢，炉外精炼和连续铸钢。

1.4.1 氧气炼钢

转炉平炉用氧提高了炼钢的生产效率和经济效益。

氧气顶吹转炉：发展速度快，1981年美国产量为60.6%，日本为75.2%，西德为

80.2%，苏联为29.5%，1980年世界平均为55.6%。转炉趋向大型化，普遍为200~300吨，最大为400吨。氧气转炉生产的品种不断增加，质量不断提高，除能冶炼平炉的钢种外还能冶炼部分电炉钢种，越来越多地承担某些合金板钢及特殊钢的冶炼。炉子寿命长，日本转炉平均为1500~2000炉，自动化程度高，有些炉子已实现动态控制。能普遍回收炉气。

氧气底吹转炉，始于1977年，1979年底全世界这种转炉生产能力约为4300万吨，最大炉子240吨（法）。氧气底吹转炉在冶炼高磷生铁、生产低碳钢以及替代平炉方面都有很明显的优点，成本也比较低。

顶底复合吹炼：在日本等国已投入生产，此法又称“顶吹鼓风平衡法”。实质上仍以顶吹为主，在底部吹入氧、氩、氮等气体以搅拌炉内金属，使顶吹兼有底吹的优点，促进金属与渣、气体间的平衡，吹炼过程平稳，渣中氧化铁少，减少了金属消耗和铁合金的消耗，可以吹炼含碳很低的钢。

平炉用氧：苏联及一些东欧国家，已不新建平炉，对尚存平炉都作了较大的改造。主要是用氧，如顶吹用氧平炉，吹氧双床平炉，侧吹氧平炉（从炉墙侧面吹入熔池）等，提高了生产率，降低了成本。

1.4.2 连续铸钢

始于五十年代，是铸锭技术的重大革新，用连铸代替模铸，节省钢铁厂投资，提高成材率，降低钢材成本，改善劳动条件，此外，还节省能耗。各国都把发展连铸作为节能的重要措施，近十几年来发展很快，1981年世界连铸比约为30%，87年约为50%，我国1987年为12.93%。

从断面分，连铸还有矩形、方形、圆形和异形坯。从浇注的钢种看，除沸腾钢、高速钢、高碳工具钢和某些滚珠钢外，几乎包括所有钢种。从设备高度来分，有立式、立弯式、弧形和水平式连铸等。按采用的技术可分保护浇注、电磁搅拌、自动控制液面高度等。大型钢铁厂普遍采用大型连铸机，有单流的和多流的。最大的连铸机年产量可达160万吨，50万吨的钢厂普遍采用电炉—连铸—小轧机的生产流程，连铸比很高。

1.4.3 炉外精炼

炉外精炼是指从初炼炉出来的钢水，在另一冶金设备中进行精炼的技术。它可提高钢质，缩短初炼炉的冶炼时间，降低成本，可生产出一般冶炼炉达不到的高质量钢。近20年来炉外精炼有迅速的发展，具体方法有30多种，各自的侧重点不同。如：脱硫、脱碳，脱氮，脱氧，减少非金属夹杂，改变夹杂物形态，均匀浇注温度和微调成分等。世界上炉外精炼设备已超过500台，其中有循环法（RH法）和提升法（DH法）150台，盛钢桶精炼炉（ASEA-SKF法）约30台，真空电弧脱气法（VAD）约20台，真空氧气脱碳法（VOD法）约30台，盛钢桶炉法（LF法）约10台，氩氧脱碳法（AOD法）90多台，喷粉法约100台，还有很多包底吹氩设备。采用何种精炼设备以生产需要而定。美国、日本轴承钢全部进行真空处理，国外已较普遍地采用钢包吹氩，与炉外精炼发展的同时防止钢液二次氧化的技术也越来越受到重视。

1.4.4 电炉炼钢

在电费便宜而废钢多的国家，电炉钢产量迅速上升，最大炉容约400吨。除冶炼特殊钢外主要生产普碳钢。如美国、日本电炉钢中普碳钢占70%以上，这是各国电炉发展的普

遍趋势。六十年代中期发展起来的高功率、超高功率电弧炉（大于400~800千伏安/吨炉容量）的熔化速度快，产量高，电耗及电极消耗低，经济上合理，通常都采用水冷炉壁、助熔技术、自动化操作、炉外精炼等技术。进而与连铸配合，生产率大幅度提高，品种增多，质量改善，电耗降低。在一些以多品种生产的厂家中电弧炉常采用改进的冶炼操作工艺。

1.4.5 模铸

模铸技术近年来也有不少改进。如发展绝热板，采用密度很小的绝热板代替传统的粘土砖保温帽，使镇静钢切头减少4~6%。带绝热板的上小下大钢锭模与凹形底板结合可减少尾部切头2%。美国等国发展上注，省去下注的耐火材料，简化了脱模、整模工序。一些国家发展半镇静钢，因为它比镇静钢的切头少6~10%。英国的半镇静钢是钢锭产量的30%。与此同时保护渣浇注和滑动水口也有很大的发展。

1.4.6 和炼钢关联的其它重大新技术

铁水预脱硫：目前很多钢种要求低含硫量。硫除会造成热脆外，主要影响钢质（纯净度）和降低钢材的深冲性能、冲击韧性、横向性能、厚度方向上的性能、焊接性能等。越来越多的铁水采用炉外预脱硫法，它在炼钢炉内脱硫容易，也很经济。有喷吹法、搅拌法、喷吹加搅拌法、摇包法、浸泡法等，在鱼雷型铁水车中喷吹石灰粉法可把铁水中的硫由0.04%降到0.015%。此法不需电石，成本低，可能有较大的发展。

采用活性石灰：国外已普遍采用活性石灰。为适应转炉内快速成渣加速化学反应的需要，有的工厂采用易于成渣的含MgO的镁质石灰。

钢包：国外一般使用铝硅系材质，特殊情况下采用碱性镁质砖。日本根据本国资源，采用蜡石质砖（半硅质耐火砖），它烧失量小，烧成收缩小，耐火度在1630~1700℃。设计使用寿命达100次。

1.4.7 合金钢

发达国家的合金比约占10~17%。合金钢有以下特点：

(1) 品种规格多。不仅板、管、带所占比例大，而且能生产特厚、特大、特小尺寸的产品。如石油化工用的2米宽的冷轧薄板，2.6米宽的热轧板，用于动力工业的直径大于660毫米的无缝管，直径大于2米的焊管，此外还生产彩色不锈钢，印花不锈钢等。

(2) 采用先进的工艺。以检验要求最多、最严的轴承钢为例，采用炉外精炼（降低钢中气体、夹杂含量，提高钢的纯洁度）→钢锭高温扩散退火（提高碳化物的均匀性）→控制轧制（提高碳化物均匀性）→连续式退火（提高球化组织的均匀性）→在线检测（控制产品质量）工艺，可使网状碳化物小于2级，碳化物尺寸为0.5微米左右，而且大小都很均匀。

(3) 专业分工细。随着科技的发展，要求生产越来越多的高质量合金钢材料，迫使一些特殊钢厂向专业化分工方向发展。根据各厂条件集中资金和技术力量改造生产线，采用先进工艺和设备，从事一、二种产品为主的专业化生产。目前国外专业化的特殊钢厂有以下八种类型：生产航天合金材料的特殊钢厂，不锈钢板、钢带工厂，轴承钢、弹簧钢和部分合金结构钢厂，合金工具钢、高速钢厂，高强度钢厂，精密合金厂，合金钢线材及钢丝厂，钢铁公司内兼大型合金钢材的分公司。

(4) 重视后步工序。除冶炼加工外还有完整的精整检验设备。如坯料和产品的修

磨, 校直, 热处理, 缺陷检验设备等。精整场地一般都较大, 有的甚至有单独车间。辊底式加热退火炉已成为主要的热处理设备, 并广泛采用可控气氛进行无氧化、无脱碳光亮退火。

1.4.8 耐火材料

近年来国外发展方向是提高质量扩大品种。耐火材料消耗大幅度下降, 某国家由五十年代的125kg/t钢到七十年代后期降为20~30kg/t钢。其重要原因是迅速发展了氧气转炉、连续铸锭、滑动水口等新技术, 并采用了高效率大型设备; 另一方面, 是由于大力提高耐火材料质量, 发展优质新产品、新品种, 适应新技术的发展。主要有以下特点:

(1) 发展高纯原料、高压成型和高温烧成的生产工艺。“三高”工艺是提高质量的关键。采用优质原料, 取消烧煤, 使用重油和液化石油气, 掺加精料。如欧美和日本氧气转炉砖衬原料杂质降到3%以下优质镁砂中MgO含量由原来的90~92%提高到96~98%以上。另一方面是提高体积密度, 高压成型是提高耐火砖密度和强度的有效措施, 如日本生产一般耐火材料采用300~400t摩擦压力机, 高温隧道窑的烧成温度可达1700~1900℃, 采用高温风机, 预热空气, 通氧助燃。此外, 采用合成原料(烧成刚玉, 合成莫来石等)、电熔材料(电熔刚玉、电熔石英等)煅烧后的熟料体积密度达3000kg/m³以上。用上述“三高”工艺, 耐火砖由普通制品向高级制品发展。

(2) 散状材料迅速发展。它应用广泛, 便于施工, 减轻劳动强度。近年来随着高炉喷灌和转炉喷补技术的发展, 散状耐火材料的质量品种也发展迅速。20年前日本的耐火砖和散状料比例为99.5%:0.5%。七十年代后期散状料达33%以上。散状料包括的品种有喷补材料、浇注料、捣打料、投射料和可塑料等。施工方法有喷补、浇注、捣打、投射和振动等。

(3) 新型轻质材料得到发展。这类材料包括耐火纤维制品、氧化物空心球制品以及绝热衬板等。它的特点是导热率低, 热容量小, 重量很轻, 抗热震性好。用它砌造的工业窑炉可节能20~30%, 美国在十年内耐火纤维的销售额增长了十几倍, 除普通硅酸铝纤维(使用温度在1000℃以下)之外, 还发展了含铬硅酸铝纤维、高铝纤维及莫来石纤维等更耐高温的新品种。

(4) 研究发展优质高效碱性和高铝制品。这是指烧成油煮白云石砖、碳镁砖等MgO—CaO—C系统的高纯高效制品和高纯高铝砖、锆石英—高铝砖(MgO—Cr₂O₃—ZrO₂)系统的高纯度高效制品, 它们具有良好的结构性能, 能在苛刻的或特殊的条件下使用, 并取得较好的效果。

目前国外钢铁工业正在开发的科学技术是:

(1) 开发海洋矿产资源。从海水中提取MgO作为耐火材料, 开采海底锰结核资源。

(2) 铁矿石直接还原。用天然气还原矿石, 用劣质煤直接还原, 还有等离子冶金, 原子能冶金, 使用复合材料, 非晶态金属, 开展连续炼钢, 半液态成型, 发展连铸连轧及连续热处理, 低温余热的回收利用, 煤的气化等等。

今后钢铁工业发展应着重解决资源、能源和环境保护方面的问题。

近几年来我国钢铁工业在提高质量、增加品种、降低能耗, 增长利润等方面都有比较明显的变化, 钢铁工业部门在调整方面做了大量的工作, 积极调整服务方向和产品结构,

短缺产品有较大幅度的增长，普遍加强了能源管理，总结推广了一批节能新工艺、新技术，改造能耗高的设备，重点企业吨钢综合能耗降到1.3吨（标准煤）以下。

我国钢铁工业还存在着薄弱环节，主要是矿山生产能力小，连铸比低，初轧能力小，生产线上缺少铁水预处理、精炼设备、坯材的精整检测设备。我国的重点企业材料消耗很大（如耐火材料为39kg/t钢，1986年顶吹氧气转炉钢铁料消耗为1126kg/t，电炉为1029kg/t），1986年重点企业电炉钢电耗为607kWh/t。此外，我国冶金设备、工艺、布局尚有很多需要改进的方面，要在加强经济管理的同时积极进行新技术和新工艺的研究及推广工作。

2 炼钢的任务、原材料和耐火材料

2.1 炼钢的任务

2.1.1 去除杂质

一般是指去除钢中硫、磷、氧、氢、氮和夹杂物。

1. 钢中硫 钢中含 $[S] \geq 0.08\%$ 时, 在不加 $[Mn]$ 的情况下凝固时, 在晶界产生低熔点的共晶化合物 $FeO-FeS$ (熔点为 $940^\circ C$), 高浓度的 $[O]$ 加速了它的形成, 其熔点远低于轧、锻温度 ($1150^\circ C$ 左右), 因此热加工时在钢坯内液体处开裂, 称之为热脆。在冶炼一般钢种时要求 $[Mn] > 0.4 \sim 0.8\%$ 。 $[Mn]$ 可在钢凝固温度的范围内生成 MnS 和少量的 FeS , 纯 MnS 的熔点是 $1610^\circ C$, $FeS-MnS$ 共晶 (FeS 占 93.5%) 的熔点是 $1164^\circ C$, 它们能有效地防止钢在轧制时开裂。但过高的硫会产生较多的 MnS 夹杂物, 轧锻后的硫化物夹杂被拉长, 降低钢的强度, 使钢的磨损增大, 明显地降低钢的横向机械性能, 降低钢的深冲压性能。为此应将钢中硫降到很低的水平, 并加入 $[Mn] 0.4 \sim 0.8\%$, 提高钢的质量。

在部颁标准 (YB) 和国家标准中规定的硫含量依钢质不同而异, 见表 2-1。

表 2-1

钢 种	普 通 钢	优 质 钢	高 级 优 质 钢
$[S] \%$	≤ 0.05	$0.03 \sim 0.04$	≤ 0.02

硫对钢的性能影响不仅和 $[S]$ 、 $[Mn]$ 含量有关而且也和轧制锻造的程度有关。例如: 在 $0.5\% [C]$ 、 $0.7\% [Mn]$ 钢中, 硫含量对纵、横断面的 $\psi\%$ 和 $\delta\%$ 的影响见表 2-2, $[S]$ 对纵向、横向断面收缩率的影响见图 2-1。不难看出, 锻压比增大时, 扩大了硫的影响, $[S]$ 越高纵横方向的断面收缩率相差就越大。

钢中 $[S]$ 增加时, 硫化物夹杂的数量就增加, 可近似地估量硫化物质量 $\% = [S] \times \frac{55+32}{32} = 2.72[S]\%$ 。55、32 为锰、硫的摩尔质量。如 $[S] = 0.04\%$, 最大的硫化物夹杂量为 $0.04 \times 2.72\% = 0.109\%$, 硫化物夹杂对横向疲劳极限的影响见图 2-2。钢中硫含量增高时会影响硫化物夹杂的评级, 电炉结构钢中 $[S]$ 和硫化物夹杂物评级的关系见图 2-3。硫化物评级和硫含量的关系可写成下式:

$$\text{硫化物评级数} = 100[S] \pm 0.3 [\text{级}]$$

如 $[S] = 0.02\%$, 评级数为 2 ± 0.3 级。

钢中的 $[S]$ 对钢的强度性能影响不大, 铸钢中 $[S]$ 在 $0.01 \sim 0.05\%$ 范围内, 硫化物夹杂直径约为 $(2 \sim 4) \times 10^{-6} m$ ($2 \sim 4 \mu$)。

钢中的 $[Mn]/[S]$ 比对钢的热塑性影响很大, 从低碳钢高温下的拉伸实验结果可以看出: 提高 $[Mn]/[S]$ 比可提高钢的热延展性 (图 2-4)。

表 2-2 碳钢中硫量对断面收缩率和延伸率的影响^①

硫 量 %	试 样 方 向	抗 拉 强 度 MPa	断 面 收 缩 率 %	延 伸 率 %
常化, 150mm方材				
<0.001	纵 向	670	52	24
	横 向	670	47	23
0.016	纵 向	680	52	23
	横 向	680	36	20
0.032	纵 向	680	44	22
	横 向	640	11	10
常化, 106mm方材				
<0.001	纵 向	660	55	25
	横 向	650	49	23
0.016	纵 向	680	53	25
	横 向	680	24	18
0.032	纵 向	680	49	23
	横 向	650	15	11
淬火、回火100mm圆材				
<0.001	纵 向	720	63	25
	横 向	700	55	20
0.016	纵 向	730	59	24
	横 向	730	25	16
0.032	纵 向	760	56	21
	横 向	720	16	10

① 表中结果是钢锭头、中、尾部的平均值。

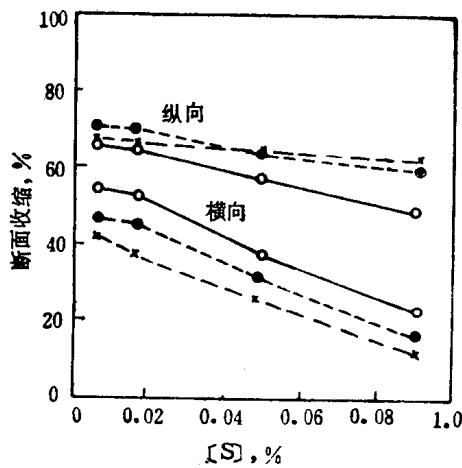


图 2-1 硫含量和断面收缩率的关系

○—○ 锻压比=1.4 ●—● 锻压比=5.6
×—× 锻压比=11.2

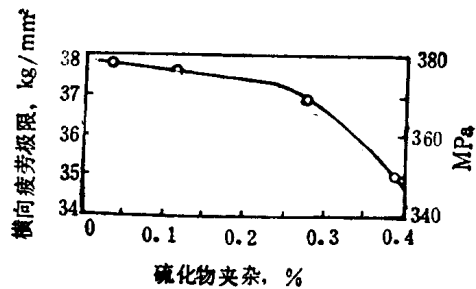


图 2-2 硫化物夹杂含量对横向疲劳极限的影响

在炼合金钢时钢中硫化物组成随钢中组成而变化，钢中元素和 [S] 化合成硫化物的能力依下列次序减弱，Ce-La-Ca-Zr-Ti-Mn-No-V-Cr-Mo-W。在 Fe-M-S系950℃时，

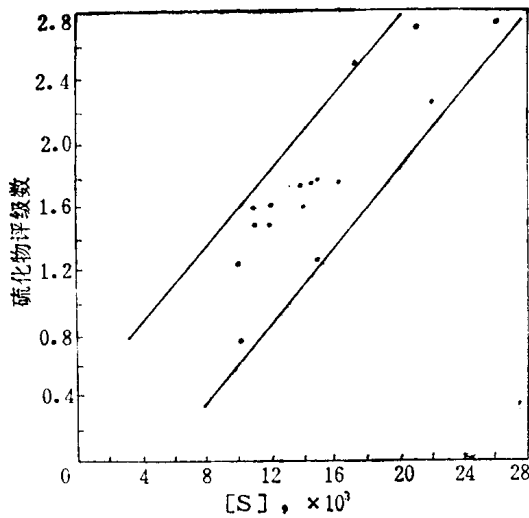


图 2-3 电炉结构钢中 [S] 和硫化物评级的关系

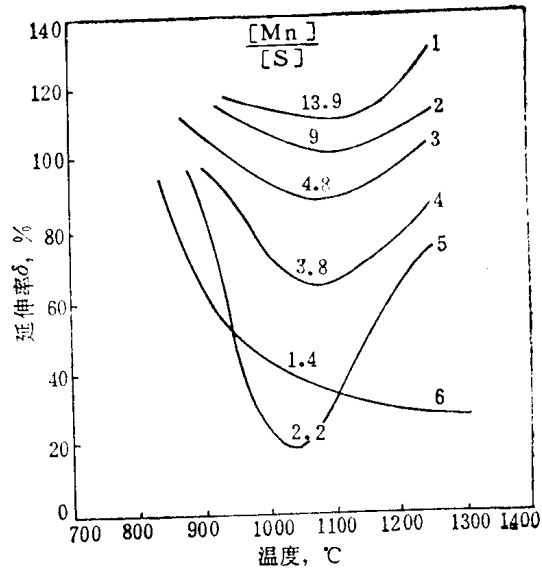


图 2-4 [Mn]/[S] 比对低碳钢热延伸率的影响 (在拉力实验拉伸速度为 $100s^{-1}$ 时)

1—0.06% C, 0.39% Mn, 0.028% S; 2—0.04% C, 0.18% Mn, 0.02% S; 3—0.03% C, 0.10% Mn, 0.021% S; 4—0.03% C, 0.08% Mn, 0.021% S; 5—0.03% C, 0.04% Mn, 0.018% S; 6—0.05% C, 0.11% Mn, 0.08% S

试样中硫化物含金属元素浓度高于溶解浓度时表明化合物稳定，合金元素含量越高生成的硫化物就越稳定，见图 2-5。

因为钢中含有 0.005~0.04% 的 [S]，固体钢中含有一定量的硫化物，它随 [S] 的

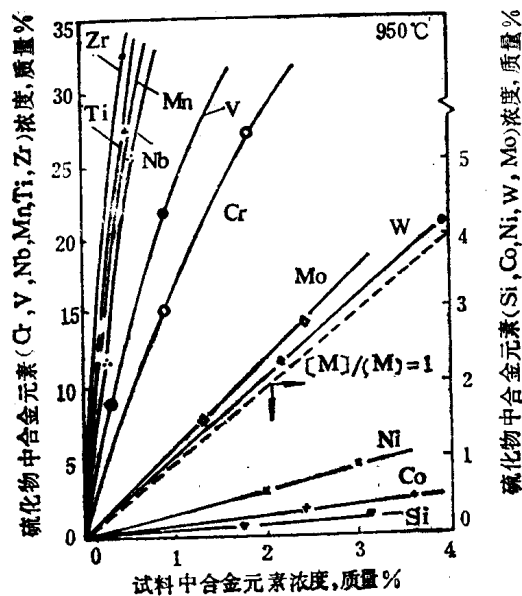


图 2-5 合金元素在硫化物相和铁中的分配