

第四篇

某些钢种的生产
及特殊铁水吹炼

第一章 钢的分类与牌号

第一节 钢的分类方法

一、按化学成分分类

按是否有目的地加入合金元素可把钢分为碳素钢和合金钢两大类。

按碳含量不同又把钢分为低碳钢、中碳钢、高碳钢三类。一般将碳含量小于 0.25% 的称为低碳钢,大于 0.60% 的称为高碳钢,而碳含量位于 0.25% ~ 0.60% 之间的称为中碳钢。

按钢中合金元素总含量的多少分为低合金钢、中合金钢和高合金钢。一般合金元素总含量小于 3% 的为普通低合金钢,合金元素总含量为 3% ~ 5% 的为低合金钢,大于 10% 的叫做高合金钢,而合金元素总含量位于 3% ~ 10% 之间的叫做中合金钢。顺便指出,此种划分方法目前没有统一的规定,不仅各国不一样,就是同一国家不同钢厂的划分也不一样。

按钢中所含的主要合金元素不同可分为锰钢、硅钢、硼钢、铬镍钢、铬镍钨钢、铬锰硅钢等。

二、按冶炼方法和质量水平分类

按炼钢炉设备不同可分为平炉钢、转炉钢、电炉钢。其中电炉钢包括电弧炉钢、感应

炉钢、电渣钢、电子束熔炼及有关的真空熔炼钢等。

按选用炉衬的材质不同,平炉钢、转炉钢、电炉钢均可分为酸性和碱性两类。

按脱氧程度不同可分为沸腾钢(不经脱氧或只经微弱脱氧)、镇静钢(脱氧充分)、半镇静钢(脱氧不完全,介于镇静钢和沸腾钢之间)。此外,还有氧含量极低的特殊镇静钢。目前,利用电炉冶炼的钢都是镇静钢,而经真空等处理的镇静钢多为特殊镇静钢。

按质量水平不同可分为普通钢、优质钢和高级优质钢。普通钢的S、P以及其他杂质的含量较高,如一般 $S \leq 0.050\%$ 、 $P \leq 0.045\%$ 。优质钢对S、P及其他杂质含量均有较严格的限制,一般 $S \leq 0.040\%$ 、 $P \leq 0.035\%$ 。对于优质合金钢则要求更严些。此外,合金钢对力学性能和低倍组织也有一定的要求。高级优质钢除对S、P等杂质含量有非常严格的限制外,还对力学性能、低倍和高倍组织更有相应的严格要求。

三、按金相组织分类

按钢的奥氏体分解转变方式不同可分为亚共析钢、共析钢、过共析钢。理论上铁碳合金的共析碳含量为 0.77% ,亚共析的碳含量小于 0.77% ,而过共析的碳含量大于 0.77% 。合金元素溶入奥氏体时都使共析碳含量降低,而某些高合金过共析钢凝固时有奥氏体和碳化物的共晶体形成,这种共晶体被称为莱氏体,这种钢叫做莱氏体钢。

按正火后的组织不同可分为珠光体钢、贝氏体钢、马氏体钢及奥氏体钢。

按加热及冷却时有无相变和在室温时的主要组织可分为铁素体钢、半铁素体钢、奥氏体钢和半奥氏体钢。

四、按加工和热处理工艺分类

按加工成型的方式不同可分为压力加工用钢和切削加工用钢等。

按热处理工艺的不同可分为调质钢、低温回火钢、渗碳钢、氰化钢等。

五、按用途分类

根据钢的用途不同,可大致分为以下三类:

(1)结构钢。目前生产最多、使用最广的是结构钢。它包括碳素结构钢和合金结构钢,主要用于制造机器和结构的零件及建筑工程用的金属结构等。

(2)工具钢。它包括碳素工具钢和合金工具钢及高速钢,再细分又有刃具钢、量具钢和模具钢等。

(3)特殊性能钢。就是具有特殊物理化学性能或力学性能的钢,称为特殊性能钢。这种钢的种类比较繁多,如轴承钢、不锈钢、弹簧钢及其他磁性钢或高温合金钢等。

冶金工业部规定的八大类特殊钢,就是按上述用途划分的,即碳素结构钢(碳结)、合金结构钢(合结)、碳素工具钢(碳工)、合金工具钢(合工)、高速钢、轴承钢、弹簧钢与不锈钢。

第二节 钢分类国家标准

中华人民共和国国家标准

GB/T 13304—91

钢 分 类

Steels—Classification

国家技术监督局 1991—12—13 批准 1992—10—01 实施

本标准参照采用国际标准 ISO 4948/1《钢分类 第一部分:钢按化学成分分为非合金钢和合金钢》和 ISO 4948/2《钢分类 第二部分:非合金钢和合金钢按主要质量等级和主要性能或使用特性的分类》。

第一部分 钢按化学成分分类

1 主题内容与适用范围

本标准第一部分规定了按照化学成分对钢进行分类的基本准则,并规定了非合金钢、低合金钢与合金钢中合金元素含量的基本界限值。

本标准第一部分适用于按照化学成分对钢进行分类。

2 术 语

2.1 钢 steel

以铁为主要元素、含碳量一般在 2% 以下,并含有其他元素的材料。

注:在铬钢中含碳量可能大于 2%,但 2% 通常是钢和铸铁的分界线。

3 分 类

3.1 按化学成分分类：

- 非合金钢；
- 低合金钢；
- 合金钢。

3.1.1 非合金钢、低合金钢和合金钢按照化学成分分类 ,合金元素含量的确定应符合下列规定：

3.1.1.1 当标准、技术条件或订货单对钢的熔炼分析化学成分规定最低值或范围时 ,应以最低值作为规定含量进行分类。

3.1.1.2 当标准、技术条件或订货单对钢的熔炼分析化学成分规定量高值时 ,应以最高值的 0.7 倍作为规定含量进行分类。

3.1.1.3 在没有标准、技术条件或订货单规定钢的化学成分时 ,应按生产厂报出的熔炼分析值作为规定含量进行分类 ,在特殊情况下 ,只有钢的成品分析值时 ,可按成品分析值作为规定含量进行分类 ,但当处在两类临界情况下 ,要考虑化学成分允许偏差的影响 ,对钢的原来预定的类别应准确地予以证明。

3.1.1.4 标准、技术条件或订货单中规定的或在钢中实际存在的不作为合金化元素有意加入钢中的残余元素含量 ,不应作为规定含量对钢进行分类。

3.1.2 表 1 中所列的任一元素 ,按 3.1.1 条确定的每个元素规定含量的百分数 ,处于表 1 中所列非合金钢、低合金钢或合金钢相应元素的界限值范围内时 ,这些钢分别为非合金钢、低合金钢或合金钢。

表 1 非合金钢、低合金钢和合金钢合金元素规定含量界限值

合金元素	合金元素规定含量界限值 ,%		
	非合金钢	低合金钢	合金钢
Al	< 0.10	—	≥ 0.10
B	< 0.0005	—	≥ 0.0005
Bi	< 0.10	—	≥ 0.10
Cr	< 0.30	0.30 ~ < 0.50	≥ 0.50
Co	< 0.10	—	≥ 0.10
Cu	< 0.10	0.10 ~ < 0.50	≥ 0.50
Mn	< 1.00	1.00 ~ < 1.40	≥ 1.40

合金元素	合金元素规定含量界限值 ,%		
	非合金钢	低合金钢	合金钢
Mo	< 0.05	0.05 ~ < 0.10	≥ 0.10
Ni	< 0.30	0.30 ~ < 0.50	≥ 0.50
Nb	< 0.02	0.02 ~ < 0.06	≥ 0.06
Pb	< 0.40	—	≥ 0.40
Se	< 0.10	—	≥ 0.10
Si	< 0.50	0.50 ~ < 0.90	≥ 0.90
Te	< 0.10	—	≥ 0.10
Ti	< 0.05	0.05 ~ < 0.13	≥ 0.13
W	< 0.10	—	≥ 0.10
V	< 0.04	0.04 ~ < 0.12	≥ 0.12
Zr	< 0.05	0.02 ~ < 0.05	≥ 0.05
La 系(每一种元素)	< 0.02	0.02 ~ < 0.05	≥ 0.05
其他规定元素 (S、P、C、N 除外)	< 0.05	—	≥ 0.05

注 :La 系元素含量 ,也可为混合稀土含量总量。

3.1.2.1 当 Cr、Cu、Mo、Ni 四种元素 ,有其中两种、三种或四种元素同时规定在钢中时 ,对于低合金钢 ,应同时考虑 这些元素中每种元素的规定含量 ;所有这些元素的规定含量总和 ,应不大于规定的两种、三种或四种元素中每种元素最高界限值总和的 70%。如果这些元素的规定含量总和大于规定的元素中每种元素最高界限值总和的 70% ,即使这些元素每种元素的规定含量低于规定的最高界限值 ,也应划入合金钢。

3.1.2.2 本标准 3.1.2.1 条的原则也适用于 Nb、Ti、V、Zr 四种元素。

第二部分 钢按主要质量等级和主要性能及使用特性分类

1 主要内容与适用范围

本标准第二部分规定了非合金钢、低合金钢和合金钢按主要质量等级和主要性能及使用特性分类的基本原则和要求。

本标准第二部分适用于按主要质量等级和主要性能及使用特性对非合金钢、低合金钢和合金钢进行分类。

2 引用标准

- GB 699 优质碳素结构钢 技术条件
- GB 700 碳素结构钢

- GB 712 船体用结构钢
- GB 713 锅炉用碳素钢及低合金钢钢板
- GB 715 标准件用碳素钢热轧圆钢
- GB 1220 不锈钢棒
- GB 1221 耐热钢棒
- GB 1222 弹簧钢
- GB 1234 高电阻电热合金
- GB 1298 碳素工具钢技术条件
- GB 1299 合金工具钢技术条件
- GB 1301 凿岩钎杆用中空钢
- GB 1499 钢筋混凝土用热轧带肋钢筋
- GB 1591 低合金结构钢
- GB 2100 不锈钢耐酸钢铸件技术条件
- GB 2521 冷轧电工钢带(片)
- GB 2585 铁路用每米 38 ~ 50 公斤钢轨 技术条件
- GB 2826 每米 38 ~ 50 公斤钢轨用垫板 技术条件
- GB 3077 合金结构钢 技术条件
- GB 3086 高碳铬不锈钢轴承钢 技术条件
- GB 3203 渗碳轴承钢 技术条件
- GB 3426 起重机钢轨
- GB 4171 高耐候性结构钢
- GB 4172 焊接结构用耐候钢
- GB 4357 碳素弹簧钢丝
- GB 4359 阀门用油淬火—回火碳素弹簧钢丝
- GB 4360 油淬火—回火碳素弹簧钢丝
- GB 5212 电工用热轧硅钢薄钢板
- GB 5216 保证淬透性结构钢 技术条件
- GB 5223 预应力混凝土用钢丝
- GB 5313 厚度方向性能钢板
- GB 5680 高锰钢铸件技术条件
- GB 5953 冷顶锻用碳素结构钢丝

- GB 6478 冷锻钢技术条件
- GB 6654 压力容器用碳素钢和低合金钢厚钢板
- GB 6967 工程结构用中、高强度不锈钢铸件
- GB 6983 电磁纯铁棒材技术条件
- GB 6984 电磁纯铁冷轧厚板技术条件
- GB 6985 电磁纯铁冷轧薄板
- GB 7659 焊接结构用碳素钢铸件
- GB 8492 耐热钢铸件
- GB 8731 易切削结构钢 技术条件
- GB 9943 高速工具钢棒 技术条件
- GB 9971 原料纯铁
- GB 11264 轻轨
- GB 11265 轻轨用接头夹板
- GB 11266 轻轨用垫板
- GB 11352 一般工程用铸造碳钢件

3 非合金钢的主要分类

非合金钢按其主要质量等级和主要性能或使用特性分类列于表 2。

表 2 非合金钢的主要分类及举例

<div>按主要质量 等级分类 按主要 特性分类</div>	普通质量非合金钢	优质非合金钢	特殊质量非合金钢
以规定最高强度为主要特性的非合金钢	普通质量低碳结构钢板和钢带 GB 912 中的低碳钢牌号 GB 2517 中的 RJ216、RJ235、RJ255	a. 冲压薄板低碳钢 GB 5213 中的 08Al GB 3276 中的 08、10 b. 供镀锡、镀锌、镀铅板带和原板用碳素钢 GB 2518 GB 2520 GB 4174 全部碳素钢牌号 GB 5065 GB 5066 c. 不经热处理的冷顶锻和冷挤压用钢	

第四篇 某些钢种的生产及特殊铁水吹炼

<div>按主要质量等级分类</div> <div>按主要特性分类</div>	普通质量非合金钢	优质非合金钢	特殊质量非合金钢
以规定最低强度为主要特性的非合金钢	<div>a. 碳素结构钢</div> <div>GB 700 中的 Q195、Q215 的 A、B 级 ,Q235 的 A、B 级 , Q255A、B 级 , Q275</div> <div>b. 碳素钢筋钢</div> <div>GB 13013 中的 Q235</div> <div>c. 铁道用钢</div> <div>GB 11264 中的 50Q、55Q</div> <div>GB 11265 中的 Q235 – A</div> <div>Q255 – A</div> <div>GB 11266 轻轨垫板用的碳素钢</div> <div>GB 2826 钢轨垫板用的碳素钢</div> <div>d. 钢板桩钢</div> <div>e. 一般工程用不进行热处理的普通质量碳素钢</div> <div>YB 170 中的所有普通质量碳素钢</div>	<div>a. 碳素结构钢</div> <div>GB 700 中除普通质量 A、B 级钢以外的所有牌号及 A、B 级规定冷成型性及模锻性特殊要求者</div> <div>b. 优质碳素结构钢</div> <div>GB 699 中除 65 Mn、70 Mn、70、75、75、80、85 以外的所有牌号</div> <div>YB 2009 中的 55Ti、60Ti、70Ti</div> <div>c. 锅炉和压力容器用钢</div> <div>GB 713 中的 20g、22g</div> <div>GB 3087 中的 10.20</div> <div>GB 5310 和 GB 5311 中的 20G</div> <div>GB 6479 中的 10、20G</div> <div>GB 6653 中的 20HP、15 MnHP</div> <div>GB 6654 中的 20R</div>	<div>a. 优质碳素结构钢</div> <div>GB 699 中的 65 Mn、70 Mn、70、75、80、85 钢</div> <div>b. 保证淬透性钢</div> <div>GB 5216 中的 45H</div> <div>c. 保证厚度方向性能钢</div> <div>GB 5313 中的所有非合金钢</div> <div>d. 铁道用钢</div> <div>GB 5068 中的 LZ、JZ</div> <div>GB 8601 中的 CL60A 级</div> <div>GB 8602 中的 LG60 与 LG65 的 A 级</div> <div>e. 航空用钢</div> <div>包括所有航空专用非合金结构钢牌号</div> <div>f. 兵器用钢</div> <div>包括各种兵器用非合金结构钢牌号</div> <div>g. 核压力容器用非合金钢</div>
	<div>d. 造船用钢</div> <div>GB 712 中的 A、B、D、E、AH32、DH32、EH32</div> <div>GB 5312 中的 C10、C20</div> <div>GB 9945 中的 A、B</div> <div>e. 铁道用钢</div> <div>GB 2585 中的 U71、U74</div> <div>GB 8601 中的 CL60B 级</div> <div>GB 8602 中的 LC60B 级与 LG65B 级</div> <div>YB 354 钢轨鱼尾板用碳素钢</div> <div>f. 桥梁用钢</div> <div>YB 168 中的 16q</div> <div>g. 汽车用钢</div> <div>GB 11262 中的 12LW、15LW</div>		

按主要质量等级分类 按主要特性分类	普通质量非合金钢	优质非合金钢	特殊质量非合金钢
以规定最低强度为主要特性的非合金钢		GB 3088 中的 45 GB 9947 中的 08Z、20Z、25Z h. 锚链用钢 YB 897 中的 M15、M20、M30 i. 自行车用钢 GB 3644 中的 Z06Al、ZQ195、ZQ215、ZQ235 GB 3644 中的 Z06Al、ZQ195、ZQ215、ZQ235 GB 3645 中的 ZQ195、ZQ195 - F、ZQ215、ZQ215 - Al、ZQ215 - F、ZQ235、ZQ235 - Al、ZQ235 - F、Z06Al、Z09Mn、Z13Mn、Z17Mn、Z09Al GB 3646 中的 19Mn GB 3647 中的 19Mn j. 输油及输气管用钢 k. 工程结构用铸造碳素钢 GB 11352 中的 ZG200 - 400、ZG230 - 450、ZG270 - 500、ZG310 - 570、ZG340 - 640 GB 7659 中的 ZG200 - 400H、ZG230 - 450H、ZG275 - 485H l. 预应力及混凝土钢筋用优质非合金钢	

第四篇 某些钢种的生产及特殊铁水吹炼

<div>按主要质量等级分类</div> <div>按主要特性分类</div>	普通质量非合金钢	优质非合金钢	特殊质量非合金钢
以碳含量为主要特性的非合金钢	<div>a. 普通碳素钢盘条 GB 701 中的所有碳素钢牌号</div> <div>b. 一般用途低碳钢丝 GB 343 中的所有碳钢牌号</div> <div>c. 花纹钢板 GB 3277 中的普通质量碳素结构钢</div>	<div>a. 焊条用钢 GB 1300 中的 H08、H08A、H08Mn、H08MnA、H15A、H15Mn</div> <div>GB 3429 中的 H08A</div> <div>ZBH4405 中的 H08A</div> <div>b. 冷镦用钢 GB 715 中的 BL2、BL3</div> <div>GB 5953 中的 ML10 ~ ML45</div> <div>GB 5955 中的 ML15、ML20</div> <div>GB 6478 中的 ML08 ~ ML45、ML25Mn ~ ML45Mn</div> <div>c. 花纹钢板 GB 3277 优质非合金钢</div> <div>d. 盘条钢 GB 4354 中的 25 ~ 65、40Mn ~ 60Mn</div> <div>ZBH44002 中的 25 ~ 65、40Mn ~ 60Mn</div> <div>e. 非合金调质钢(特殊质量钢除外)</div> <div>f. 非合金表面硬化钢(特殊质量钢除外)</div> <div>g. 非合金弹簧钢(特殊质量钢除外)</div>	<div>a. 焊条用钢 GB 1300 中的 H08E、ZBH4405 中的 H08E、H08C</div> <div>b. 碳素弹簧钢 GB 1222 中的 65 ~ 85、65Mn</div> <div>GB 4357 中的所有非合金钢</div> <div>c. 特殊盘条钢 GB 4355 中的 60、60Mn、65、65Mn、70、70Mn、75、80、T8MnA、TqA</div> <div>ZBH44004 中的 60 ~ 85、60Mn、65Mn、70Mn、75Mn、80Mn、85Mn</div> <div>d. 非合金调质钢(符合本标准第二部分中的 3.1.3.1 规定)</div> <div>e. 非合金表面硬化钢(符合本标准第二部分中的 3.1.3.1 规定)</div> <div>f. 火焰及感应淬火硬化钢(符合本标准第二部分中的 3.1.3.1 规定)</div> <div>g. 冷顶锻和冷挤压钢(符合本标准第二部分中的 3.1.3.1 规定)</div>
非合金易切削钢		<div>a. 易切削结构钢 GB 8731 中的 Y12、Y12Pb、Y15、Y15Pb、Y20、Y30、Y35、Y45Ca</div>	<div>a. 特殊易切削钢 要求测定热处理后冲击切性等</div> <div>YB 685 中的 Y75</div>
非合金工具钢			<div>a. 碳素工具钢 GB 1298 中的全部牌号</div> <div>YB 483 中的 T12A</div> <div>b. 碳素中空钢 GB 1301 中的 ZKT8</div>

<div>按主要质量等级分类</div> <div>按主要特性分类</div>	普通质量非合金钢	优质非合金钢	特殊质量非合金钢
规定磁性能和电性能的非合金钢		a. 非合金电工钢板,带 GB 2521 无硅电工钢板、带 b. 具有规定导电性能 (< 9s/m)的非合金电工钢	a. 具有规定导电性能($\geq 9s/m$)的非合金电工钢 b. 具有规定磁性能的非合金软磁材料 GB 6983、GB 6984、GB 6985 中的 DT3、DT3A、DT4、DT4A、DT4E、DT4C ZBH72001 中的 F7402 – U、F7402 – V、F7402 – W
其他非合金钢	a. 栅栏用钢丝		a. 原料纯铁 GB 9971 中的 YT1F、YT2F、YT3、YT4

3.1 按主要质量等级分类

非合金钢按主要质量等级分为：

普通质量非合金钢；

优质非合金钢；

特殊质量非合金钢。

3.1.1 普通质量非合金钢

3.1.1.1 普通质量非合金钢是指不规定生产过程中需要特别控制质量要求的并应同时满足下列四种条件的所有钢种。

a. 钢为非合金化的(符合本标准第一部分对非合金钢的合金元素规定含量界限值的规定)；

b. 不规定热处理；

注 退火、正火、消除应力及软化处理不作为热处理对待。

c. 如产品标准或技术条件中有规定,其特性值应符合下列条件：

碳含量最高值 $\geq 0.10\%$ ；

硫或磷含量最高值 $\geq 0.045\%$ ；

氮含量最高值 $\geq 0.007\%$ ；

抗拉强度最低值	$\leq 690 \text{ MPa}$;
屈服点或屈服强度最低值	$\leq 360 \text{ MPa}$;
伸长率最低值($L_0 = 5.65 \sqrt{F_0}$)	$\leq 33\%$;
弯心直径最低值	$\geq 0.5 \times \text{试件厚度}$;
冲击功最低值(20°C ,V 型 纵向标准试样)	$\leq 27 \text{ J}$;
洛氏硬度最高值(HRB)	≥ 60 。

注 :力学性能的规定值指用厚度为 3 ~ 16mm 钢料做的纵向或横向试样测定的性能。

d. 未规定其他质量要求。

3.1.1.2 普通质量非合金钢主要包括 :

- a. 一般用途碳素结构钢 ,如 GB 700 规定的 A、B 级钢 ;
- b. 碳素钢筋钢 ,如 GB 13013 规定的 Q235 钢 ;
- c. 铁道用一般碳素钢 ,如 GB 11264、GB 11265、GB 2826 规定的轻轨和垫板用碳素钢 ;
- d. 一般钢板桩型钢。

3.1.2 优质非合金钢

3.1.2.1 优质非合金钢是指除普通质量非合金钢和特殊质量非合金钢以外的非合金钢 ,在生产过程中需要特别控制质量(例如控制晶粒度 ,降低硫、磷含量 ,改善表面质量或增加工艺控制等) ,以达到比普通质量非合金钢特殊的质量要求(例如良好的抗脆断性能 ,良好的冷成型性等) ,但这种钢的生产控制不如特殊质量非合金钢严格(如不控制淬透性)。

3.1.2.2 优质非合金钢主要包括 :

- a. 机械结构用优质碳素钢 ,如 GB 699 规定的条钢(但 70 ~ 85 钢、65 Mn、70 Mn 钢除外) ;
- b. 工程结构用碳素钢 ,如 GB 700 规定的质量等级为 C、D 级钢 ;
- c. 冲压薄板的低碳结构钢 ,如 GB 5213、GB 3276 规定的优质碳素钢薄板 ;
- d. 镀层板、带用的碳素钢 ,如 GB 2518、GB 2520、GB 4174、GB 5065、GB 5066 等规定的镀锡、镀锌、镀铝板带和原板 ;
- e. 锅炉和压力容器用碳素钢 ,如 GB 713、GB 3087、GB 6653、GB 6654 规定的碳素钢板、钢带和钢管 ;
- f. 造船用碳素钢 ,如 GB 712、GB 5312、GB 9945 规定的碳素钢板、钢管和型钢 ;
- g. 铁道用优质碳素钢 ,如 GB 2585 规定的重轨用碳素钢 ;

h. 焊条用碳素钢,如 GB 1300 规定的碳素钢,但成品分析 S、P 不大于 0.025% 的钢除外;

i. 用于冷锻、冷挤压、冷冲击、冷拔的对表面质量有特殊要求的非合金钢棒料和线材,如 GB 715、GB 5955、GB 6478、GB 5953 规定的非合金钢;

j. 非合金易切削结构钢,如 GB 8731 规定的易切削钢;

k. 电工用非合金钢板、带,如 GB 2521 规定的无硅钢板、带;

l. 优质铸造碳素钢,如 GB 11352、GB 7659 规定的铸造碳素钢。

3.1.3 特殊质量非合金钢

3.1.3.1 特殊质量非合金钢是指在生产过程中需要特别严格控制质量和性能(例如,控制淬透性和纯洁度)的非合金钢,应符合下列条件。

3.1.3.1.1 钢材要经热处理并至少具有下列一种特殊要求的非合金钢(包括易切削钢和工具钢):

- a. 要求淬火和回火或模拟表面硬化状态下的冲击性能;
- b. 要求淬火或淬火和回火后的淬硬层深度或表面硬度;
- c. 要求限制表面缺陷,比对冷锻和冷挤压用钢的规定更严格;
- d. 要求限制非金属夹杂物含量和(或)要求内部材质均匀性。

3.1.3.1.2 钢材不进行热处理并至少应具有下述一种特殊要求的非合金钢:

- a. 要求限制非金属夹杂物含量和(或)内部材质均匀性,例如钢板抗层状撕裂性能。
- b. 要求限制磷含量和(或)硫含量最高值,并符合如下规定:

熔炼分析值 $\leq 0.020\%$;

成品分析值 $\leq 0.025\%$ 。

- c. 要求残余元素的含量同时作如下限制:

Cu 熔炼分析最高含量 $\leq 0.10\%$;

Co 熔炼分析最高含量 $\leq 0.05\%$;

V 熔炼分析最高含量 $\leq 0.05\%$ 。

- d. 表面质量的要求比冷锻和冷挤压用钢的规定更严格。

3.1.3.1.3 具有规定的电导性能(不小于 9s/m)或具有规定的磁性能(对于只规定最大磁损和最小磁感应而不规定磁导率的磁性薄板和带除外)的钢。

3.1.3.2 特殊质量非合金钢主要包括:

- a. 保证淬透性非合金钢,如 GB 5216 规定的碳素钢;
- b. 保证厚度方向性能非合金钢,如 GB 5313 规定的非合金钢;

- c. 铁道用特殊非合金钢 ,如 GB 5068、GB 8601、GB 8602 规定的车轴坯、车轮、轮箍钢 ;
- d. 航空、兵器等专用非合金结构钢 ;
- e. 核能用非合金钢 ;
- f. 特殊焊条用非合金钢 ,如 GB 1300 规定的 S、P 含量(成品分析)不大于 0.025% 的非合金钢 ;
- g. 碳素弹簧钢 ,如 GB 1222 规定的非合金钢及 GB 699 中规定的 70 ~ 85 钢 ,65Mn、70Mn 钢 ;
- h. 特殊盘条钢及钢丝 ,如 GB 4355、GB 4358 规定的琴钢丝用盘条及琴钢丝 ;
- i. 特殊易切削钢 ;
- j. 碳素工具钢和中空钢 ,如 GB 1298、GB 1301 规定的碳素工具钢和中空钢 ;
- k. 电磁纯铁 ,如 GB 6983、GB 6984、GB 6985 规定的具有规定电磁性能的纯铁 ;
- l. 原料纯铁 ,如 GB 9971 中规定的 S、P 含量极低的纯铁。

3.2 按主要性能及使用特性分类

非合金钢按其基本性能及使用特性等主要特性分类如下 :

- a. 以规定最高强度(或硬度)为主要特性的非合金钢 ,例如冷成型用薄钢板。
- b. 以规定最低强度为主要特性的非合金钢 ,例如造船、压力容器、管道等用的结构钢。
- c. 以限制碳含量为主要特性的非合金钢(但下述 d、e 项包括的钢除外) ,例如线材、调质用钢等。
- d. 非合金易切削钢 ,钢中硫含量最低值、熔炼分析值不小于 0.070% ,并(或)加入 Pb、Bi、Te、Se 或 P 等元素。
- f. 具有专门规定磁性或电性能的非合金钢 ,例如无硅磁性薄板和带 ,电磁纯铁。
- g. 其他非合金钢 ,例如原料纯铁等。

4 低合金钢的主要分类

低合金钢按其质量等级和主要性能或使用特性分类列于表 3。

4.1 按主要质量等级分类

低合金钢按主要质量等级分为 :

普通质量低合金钢 ;

优质低合金钢 ;

特殊质量低合金钢。

4.1.1 普通质量低合金钢

4.1.1.1 普通质量低合金钢是指不规定生产过程中需要特别控制质量要求的供作一般用途的低合金钢。应同时满足下列条件：

a. 合金含量较低(符合本标准第一部分对低合金钢的合金元素规定含量界限值规定)；

b. 不规定热处理；

注 退火、正火、消除应力及软化处理不作为热处理对待。

c. 如产品标准或技术条件中有规定,其特性值应符合下列条件：

硫或磷含量最高值 $\geq 0.045\%$ ；

抗拉强度最低值 $\leq 690\text{MPa}$ ；

屈服点或屈服强度最低值 $\leq 360\text{MPa}$ ；

伸长率最低值 $\leq 26\%$ ；

弯心直径最低值 $\geq 2 \times \text{试件厚度}$ ；

冲击功最低值(20℃,V型纵向标准试样) $\leq 27\text{J}$ 。

注 ①力学性能的规定值指厚度为3~16mm钢材的纵向或横向试样测定的性能。

②规定的抗拉强度、屈服点或屈服强度特性值只适用于可焊接的低合金高强度结构钢。

d. 未规定其他质量要求。

4.1.1.2 普通质量低合金钢主要包括：

a. 一般用途低合金结构钢,规定的屈服强度不大于360MPa,如GB 1591规定的低合金钢(但不包括屈服强度大于360MPa的牌号)；

b. 低合金钢筋钢,如GB 1499规定的低合金钢；

c. 铁道用一般低合金钢,如GB 11264规定的低合金轻轨钢；

d. 矿用一般低合金钢,如GB 3414规定的低合金钢(但进行调质处理的牌号除外)。

4.1.2 优质低合金钢

4.1.2.1 优质低合金钢是指除普通质量低合金钢和特殊质量低合金钢以外的低合金钢,在生产过程中需要特别控制质量(例如降低硫、磷含量,控制晶粒度,改善表面质量,增加工艺控制等),以达到比普通质量低合金钢特殊的质量要求(例如良好的抗脆断性能、良好的冷成型性等),但这种钢的生产控制和质量要求不如特殊质量低合金钢严格。

表 3 低合金钢的主要分类及举例

<div>按主要质量等级分类</div> <div>按主要特性分类</div>	普通质量低合金钢	优质低合金钢	特殊质量低合金钢
可焊接低合金高强度结构钢	<div>a. 一般用途低合金结构钢</div> <div>GB 1591 中的 09MnV、09MnNb、12Mn、18Nb、16Mn、16MnRE、09MnC-uPTi、12MnV、10-MnSiCu、14MnNb</div>	<div>a. 一般用途低合金结构钢</div> <div>GB 1591 中的 10Mn-PNbRE、15MnV、15-MnTi、16MnNb、14-MnVTiRE、15MnVN</div> <div>b. 锅炉和压力容器用低合金钢</div> <div>GB 713 中的 16Mng、12Mng、15MnVg</div> <div>GB 5681 中的 16MnR</div> <div>GB 6653 中的 12-MnHP、16MnHP、12-MnCrVHP、10MnNbHP</div> <div>GB 6654 中的 16MnR、15MnVR、15MnVNR</div> <div>GB 6655 中的 16-MnRC、15MnVRC</div> <div>GB 6479 中的 16Mn、15MnV</div> <div>c. 造船用低合金钢</div> <div>GB 712 中的 AH36、DH36、EH36</div> <div>d. 汽车用低合金钢</div> <div>GB 3273 中的 09-MnREL、06TiL、08TiL、10TiL、09SiVL、16MnL、16MnREL</div> <div>GB 9947 中的 15TiZ</div> <div>e. 桥梁用低合金钢</div> <div>YB168 中的 12Mnq、12MnVq、16Mnq、15-MnVq、15MnVNq</div> <div>YB (T) 10 中的 16Mnq、16MnCuq、15-MnVq、15MnVNq</div> <div>f. 自行车用低合金钢</div> <div>GB 3646 中的 12Mn、16Mn</div> <div>GB 3647 中的 12Mn、16Mn</div>	<div>a. 核能用低合金钢</div> <div>b. 压力容器用低合金钢</div> <div>GB 3531 中的 16MnDR、06MnNbDR</div> <div>c. 保证厚度方向性能低合金钢</div> <div>GB 5313 中的所有低合金钢牌号</div> <div>d. 舰船兵器用低合金钢</div>

<div>按主要质量等级分类</div> <div>按主要特性分类</div>	普通质量低合金钢	优质低合金钢	特殊质量低合金钢
低合金耐候钢		<div>a. 低合金高耐候性钢 GB 4171 中的 09CuPCrNi - A、09CuPCrNi - B、09CuP</div> <div>b. 可焊接低合金耐候钢 GB 1472 中的 16CuCr、12MnCuCr、15MnCuCr、15MnCuCr - QT</div>	
低合金钢筋钢	<div>a. 一般低合金钢筋钢 GB 1499 中的 20MnSi、20MnTi、20MnSiV、25-MnSi、20MnNb</div>		
铁道用低合金钢	<div>a. 低合金轻轨钢 GB 11264 中的 45SiMnP、50SiMnP</div>	<div>a. 低合金重轨钢 GB 2585 中的 U71Cu、U71Mn、U70MnSi、U7 - 1MnSiCu</div> <div>b. 起重机用低合金钢轨钢 GB 3426 中的 U71Mn</div> <div>c. 铁路用异型钢 GB 8603 中的 09CuPRE GB 8604 中的 90V</div>	<div>a. 铁路用低合金车轮钢 GB 8601 中的 CL45MnSiV</div>
矿用低合金钢	<div>a. 矿用低合金结构钢 GB 3414 中的 20MnK、25MnK、24Mn2K(热轧)、30M2K</div>	<div>a. 矿用低合金结构钢 GB 3414 中的 20Mn2K(调质)、20MnVK、34SiMnK</div>	
其他低合金钢		<div>a. 易切削结构钢 GB 8731 中的 Y40Mn</div>	<div>a. 刮脸刀片用低合金钢 GB 3527 中的 Cr03</div>

4.1.2.2 优质低合金钢主要包括：

- a. 可焊接的高强度结构钢 ,规定的屈服强度大于 360MPa 而小于 420MPa ；
- b. 锅炉和压力容器用低合金钢 ,如 GB 713、GB 6653、GB 6654、GB 6655 等规定的低合金钢 ；
- c. 造船用低合金钢 ,如 GB 712 规定的低合金钢 ；
- d. 汽车用低合金钢 ,如 GB 3273 规定的低合金钢 ；
- e. 桥梁用低合金钢 ,如 YB 169 等规定的低合金钢 ；
- f. 自行车用低合金钢 ,如 GB 3646、GB 3647 规定的低合金钢 ；
- g. 低合金耐候钢 ,如 GB 4171、GB 4172 规定的低合金钢 ；
- h. 铁道用低合金钢 ,如 GB 2585、GB 8603、GB 8604 等规定的低合金钢轨钢、异型钢 ；
- i. 矿用低合金钢(普通质量钢除外)；
- j. 输油、输气管线用低合金钢。

4.1.3 特殊质量低合金钢

4.1.3.1 特殊质量低合金钢是指在生产过程中需要特别严格控制质量和性能(特别是严格控制硫、磷等杂质含量和纯洁度)的低合金钢。应至少符合下列一种条件。

- a. 规定限制非金属夹杂物含量和(或)内部材质均匀性 ,例如 ,钢板抗层状撕裂性能。
- b. 规定严格限制磷含量和(或)硫含量最高值 ,并符合下列规定：

熔炼分析值 $\leq 0.020\%$ ；

成品分析值 $\leq 0.025\%$ ；

- c. 规定限制残余元素含量 ,并应同时符合下列规定：

Cu 熔炼分析最高含量 $\leq 0.10\%$ ；

Co 熔炼分析最高含量 $\leq 0.05\%$ ；

V 熔炼分析最高含量 $\leq 0.05\%$ 。

- d. 规定低温(低于 -40°C)冲击性能。

- e. 可焊接的高强度钢 ,规定的屈服强度最低值 $\geq 420\text{MPa}$ 。

注 指对厚度 3 ~ 16mm 钢材取纵向或横向试样测定的性能。

4.1.3.2 特殊质量低合金钢主要包括：

- a. 核能用低合金钢 ；
- b. 保证厚度方向性能低合金钢 ,如 GB 5313 规定的低合金钢 ；
- c. 铁道用特殊低合金钢 ,如 GB 8601 规定的车轮用低合金钢 ；

- d. 低温用低合金钢 ;
- e. 舰船、兵器等专用特殊低合金钢。

4.2 按主要性能及使用特性分类

低合金钢按其基本性能及使用特性等主要特性分类如下 :

- a. 可焊接的低合金高强度结构钢 ;
- b. 低合金耐候钢 ;
- c. 低合金钢筋钢 ;
- d. 铁道用低合金钢 ;
- e. 矿用低合金钢 ;
- f. 其他低合金钢。

5 合金钢的主要分类

合金钢按其主要质量等级和主要特性性能或使用特性分类列于表 4。

5.1 按主要质量等级分类

合金钢按主要质量等级分为

优质合金钢 ;

特殊质量合金钢。

5.1.1 优质合金钢

5.1.1.1 优质合金钢是指在生产过程中需要特别控制质量和性能 ,但其生产控制和质量要求不如特殊质量合金钢严格的合金钢。

5.1.1.2 优质合金钢主要包括 :

- a. 一般工程结构用合金钢 ;
- b. 合金钢筋钢 ,如 GB 1499 规定的 40Si2MnV、45SiMnV、45Si2MnTi 等 ;
- c. 电工用硅(铝)钢(无磁导率要求) ,如 GB 2521、GB 5212 等规定的硅(铝)钢带(片) ;
- d. 铁道用合金钢 ;
- e. 地质、石油钻探用合金钢 ,如 YB 235、YB 528 规定的地质、石油钻探用合金钢管(但经调质处理的钢除外) ;
- f. 硫、磷含量大于 0.035% 的耐磨钢和硅锰弹簧钢 ,如 GB 5680 规定的高锰铸钢。

5.1.2 特殊质量合金钢

表 4 合金钢的分类

主要质量等级	1		2	3	4	5		6	7	8
优质合金钢			特殊质量合金钢							
主要使用特性	工程结构用钢	其他	工程结构用钢	机械结构用钢 (第4.6除外)	不锈、耐蚀和耐热钢	工具钢	轴承钢	特殊物理性能钢	其他	
11 一般工程结构用合金钢	16 电工用硅(铝)钢(无磁导率要求)	17 铁道用合金钢	21 压力容器用合金钢(4类除外)	31 Mn(x)系钢	411/421 Cr(x)系钢	511 Cr(x)系钢	61 高碳铬轴承钢	71 软磁钢(除16外)		
			22 热处理合金钢		412/422 CrNi(x)系钢					
12 合金钢筋	13 地质石油钻探用合金钢(23除外)		23 经热处理的地质、石油钻探用合金钢	32 SiMn(x)系钢	413/423 CrMn(x)	513 Mn(x), CrMn(x)系钢	62 渗碳轴承钢	72 永磁钢		
			24 高锰钢		414/424 CrAl(x)					
				33 Cr(x)系钢	415/425 其他	514 V(x), CrV(x)系钢	63 不锈钢轴承钢	73 无磁钢		
					431/441/451 CrNi(x)系钢					
				34 CrMn(x)系钢	432/442/452 CrNiMn(x)系钢	515 W(x), CrW(x)系钢	64 高温轴承钢	74 高电阻钢和合金		
					433/443/453 CrNi + Ti 或 Nb 钢					
				35 CrNiMn(x)系钢	434/444/454 CrNiMn + Ti 或 Nb 钢	516 其他	65 无磁轴承钢			
					435/445/455 CrNi + V, W, Co 钢					
				36 Ni(x)系钢	436/446 CrNiSi(x)系钢	521 WMn系钢				
					437 CrMnNi(x)系钢					
				37 B(x)系钢	438 其他	522 W系钢				
					439 其他					
				38 其他	440 其他	523 Co系钢				
					441 其他					

按其他特性对钢进一步分类

分 类

按其特性对钢进一步分类

分 类

注:(x)表示该合金系列中还包括有其他合金元素,如Cr(x)系,除Cr, 还包括(Cr,Mn)钢等。

5.1.2.1 特殊质量合金钢是指在生产过程中需要特别严格控制质量和性能的合金钢。除优质合金钢以外的所有其他合金钢都为特殊质量合金钢。

5.1.2.2 特殊质量合金钢主要包括：

- a. 压力容器用合金钢 ,如 GB 6654 规定的 18MnMoNbR、GB 713 规定的 14-MnMoVg、18MnMoNbg、GB 3531 规定的 09MnTiCuREDR、09Mn2VDR 等；
- b. 经热处理的合金钢筋钢 ,如 GB 4463 规定的 40Si2Mn、48Si2Cr 等；
- c. 经热处理的地质石油钻探用合金钢 ,如 YB 235、YB 528 规定的合金钢；
- d. 合金结构钢 ,如 GB 3077 规定的全部牌号；
- e. 合金弹簧钢 ,如 GB 1222 规定的合金钢牌号；
- f. 不锈钢 ,如 GB 1220、GB 2100 规定的全部牌号；
- g. 耐热钢 ,如 GB 1221、GB 8492 等规定的全部牌号；
- h. 合金工具钢 ,如 GB 1299 规定的全部牌号；
- i. 高速工具钢 ,如 GB 9943 规定的全部牌号；
- j. 轴承钢 ,如 GB 3086、GB 3203、YB 9 等规定的高碳铬轴承钢、高碳铬不锈钢、渗碳轴承钢、高温轴承钢、无磁轴承钢等；
- k. 高电阻电热钢和合金 ,如 GB 1234 规定的合金钢和合金。
- l. 无磁钢 ,如铬镍奥氏体型钢(0Cr16Ni4)、高锰铝奥氏体型钢(45Mn17Al3)等；
- m. 永磁钢 ,如变形永磁钢和铸造永磁钢及粉末烧结永磁钢。

5.2 按主要性能及使用特性分类

合金钢按其基本性能及使用特性等主要特性分类如下：

- a. 工程结构用合金钢 ,包括一般工程结构用合金钢 ,合金钢筋钢 ,压力容器用合金钢 ,地质石油钻探用钢 ,高锰耐磨钢等。
- b. 机械结构用合金钢 ,包括调质处理合金结构钢、表面硬化合金结构钢、冷塑性成型(冷顶锻、冷挤压)合金结构钢、合金弹簧钢等 ,但不锈、耐蚀和耐热钢 轴承钢除外。
- c. 不锈、耐蚀和耐热钢 ,包括不锈钢、耐酸钢、抗氧化钢和热强钢等 ,按其金相组织可分为马氏体型钢、铁素体型钢、奥氏体型钢、奥氏体 - 铁素体型钢、沉淀硬化型钢等。
- d. 工具钢 ,包括合金工具钢、高速工具钢。合金工具钢分为量具刃具用钢、耐冲击工具用钢、冷作模具钢、热作模具钢、无磁模具钢、塑料模具钢等。高速工具钢分为钨钼系高速工具钢、钨系高速工具钢和钴系高速工具钢等。
- e. 轴承钢 ,包括高碳铬轴承钢、渗碳轴承钢、不锈钢、高温轴承钢、无磁轴承钢等。

- f. 特殊物理性能钢 ,包括软磁钢、永磁钢、无磁钢及高电阻钢和合金等。
- g. 其他 ,如铁道用合金钢等。

附加说明：

本标准由中华人民共和国冶金工业部提出。
本标准由冶金工业部情报标准研究总所归口。
本标准由冶金工业部情报标准研究总所负责起草。
本标准主要起草人滕长岭。

本标准水平等级标记 GB/T 13304—91 I

第三节 我国的钢种牌号

根据国家标准 GB/T 221—2000 规定 ,我国钢种牌号按下列两个基本原则表示。

第一 ,采用汉语拼音字母、化学元素符号、阿拉伯数字相结合的方法表示钢种牌号。

第二 ,采用产品名称、用途、特性和工艺方法表示 ,一般采用汉字或汉语拼音字母缩写来表示。采用汉语拼音缩写 ,原则上取第一个字母 ,如这样做与另一钢种所取字母重复时 ,改取第二个字母或第三个字母或同时选取两个汉字拼音的第一个字母。汉语拼音字母原则上只取一个 ,一般不超过两个。

产品名称、用途、特性和工艺方法的表示符号见表 4－1－1。

表 4－1－1 产品名称、用途、特性和工艺方法的表示符号

名 称	采用的汉字	汉语拼音字母符号
碳素结构钢	屈	Q
低合金高强度钢	屈	Q
耐候钢	耐候	NH
保证淬透性钢		H
易切削非调质钢	易非	YF

名 称	采用的汉字	汉语拼音字母符号
热锻用非调质钢	非	F
易切削钢	易	Y
电工用热轧硅钢	电热	DR
电工用冷轧无取向硅钢	无	W
电工用冷轧取向硅钢	取	Q
电工用冷轧取向高磁感硅钢	取高	QG
(电讯用)取向高磁感硅钢	电高	DG
电磁纯铁	电铁	DT
碳素工具钢	碳	T
塑料模具钢	塑模	SM
(滚珠)轴承钢	滚	G
焊接用钢	焊	H
钢轨钢	轨	U
铆螺钢	铆螺	ML
锚链钢	锚	M
地质钻探钢管用钢	地质	DZ
船用钢		采用国际符号
汽车大梁用钢	梁	L
矿用钢	矿	K
压力容器用钢	容	R
桥梁用钢	桥	q
锅炉用钢	锅	g

名 称	采用的汉字	汉语拼音字母符号
焊接气瓶用钢	焊瓶	HP
车辆车轴用钢	辆轴	LZ
机车车轴用钢	机轴	JZ
管线用钢		S
沸腾钢	沸	F
半镇静钢	半	b
镇静钢	镇	Z
特殊镇静钢	特镇	TZ
质量等级		A、B、C、D、E

各钢种牌号的表示方法如下：

1. 碳素结构钢和低合金结构钢

结构钢分为通用钢和专用钢两类。

(1)通用结构钢。通用结构钢钢种牌号由代表屈服强度字母 + 屈服强度值(单位为 MPa)+ 规定的质量等级 + 脱氧方法符号等 4 部分组成。取消了旧标准 GB 700—79 中按甲类钢、乙类钢、特类钢的分类方法。例如：

碳素结构钢的牌号表示为 :Q235AF ,Q235BZ ；

低合金高强度结构钢牌号表示为 :Q345C ,Q345D。

碳素结构钢的牌号组成中 ,表示镇静钢的符号 Z 和表示特殊镇静钢的符号 TZ 可以省略。

(2)专用结构钢采用代表屈服强度字母 + 屈服点数值 + 产品用途符号表示 ,例如 :锅炉用钢 Q390g。

耐候钢是抗大气腐蚀用的低合金高强度结构钢 ,耐候钢牌号表示方向与低合金高强度结构钢相同 ,例如 :Q340NH。

(3)根据需要 ,通用低合金高强度钢的牌号也可用两位阿拉伯数字(表示平均碳含量 ,以万分之几计)+ 元素符号表示。专用低合金高强度钢的牌号也可用两位阿拉伯数字 + 元素符号 + 规定的用途符号表示。

2. 优质碳素结构钢和优质碳素弹簧钢

这两类钢采用阿拉伯数字(平均碳含量,以万分之几计)或阿拉伯数字+元素符号+规定的用途符号表示。

(1)沸腾钢和半镇静钢在牌号尾部加符号 F 和 b,例如 08F;10b;镇静钢一般不标符号,例如 45。

(2)锰含量较高的优质碳素结构钢,用平均碳含量+锰元素符号表示,如 50Mn。

(3)高级优质碳素结构钢,在牌号尾部加符号 A,例如 20A;特级优质碳素结构钢在牌号后加 E,例如 45E。

(4)专用优质碳素结构钢采用两位阿拉伯数字(表示平均碳含量)+规定的用途符号表示,例如:锅炉用钢 20g。

3. 易切削钢

易切削钢采用规定的符号+阿拉伯数字(碳含量以万分之几计)表示。

(1)加硫易切削钢和加硫、磷易切削钢,用符号 Y+平均碳含量表示,例如 Y15。

较高锰含量的加硫或加硫、磷易切削钢,用符号 Y+平均碳含量+锰元素符号表示,例如 Y40Mn。

(2)加钙、铅等易切削元素的易切削钢,用符号 Y+平均碳含量+切削元素符号表示,例如 Y15Pb;Y45Ca。

4. 合金结构钢和合金弹簧钢

合金结构钢牌号采用阿拉伯数字(表示平均碳含量,以万分之几计)+合金元素符号表示;合金元素含量表示方法为:平均含量小于 1.50% 时,牌号中仅标明元素,不标明含量;合金元素平均含量为 1.50%~2.49%、2.50%~3.49%、3.50%~4.49%……时,在合金元素符号后相应地写成 2、3、4、……。例如 30CrMnSi 20CrNi3。

(1)高级优质合金结构钢在牌号尾部加符号 A,例如 30CrMnSiA。特级优质合金结构钢在牌号尾部加符号 E,例如 30CrMnSiE。

(2)专用合金结构钢在牌号的首位加表示用途的符号,例如:铆螺钢 ML30CrMnSi。

(3)合金弹簧钢的表示方法与合金结构钢相同,例如:弹簧钢 60Si2Mn;高级优质弹簧钢 60Si2MnA。

5. 非调质结构钢

非调质结构钢和热锻用非调质机械结构钢,牌号表示法与合金结构钢相同。易切削非调质机械结构钢,在牌号首位分别加符号 YF、F 表示。例如:易切削非调质机械结构钢 YF35V;热锻用非调质机械结构钢 F45V。

6. 工具钢

工具钢分为碳素工具钢、合金工具钢、高速工具钢三类。

(1) 碳素工具钢牌号采用规定的符号 + 阿拉伯数字表示, 阿拉伯数字表示平均碳含量(以千分之几计)。

1) 普通锰含量碳素工具钢用符号 T + 阿拉伯数字表示, 例如: 碳素工具钢 T9。

2) 较高锰含量碳素工具钢用符号 T + 平均碳含量 + 锰元素表示, 例如: 碳素工具钢 T8Mn。

3) 高级优质碳素工具钢, 在牌号尾部加符号 A, 例如: 高级优质碳素工具钢 T10A。

(2) 合金工具钢和高速工具钢。这两类钢表示方法与合金结构钢相同, 但一般不标明表示碳含量的数字, 例如: 合金工具钢 Cr12MoV; 高速工具钢 W6Mo5Cr4V2; 合金工具钢 8MnSi。

若碳含量小于 1% 时可用一位数字表示碳含量, 以千分之几计。

平均铬含量小于 1% 的低铬合金工具钢, 在铬含量(以千分之几计)前 + 数字 0, 例如: 合金工具钢 Cv06。

(3) 塑料模具钢。塑料模具钢牌号表示方法与优质碳素结构钢、合金工具钢相同, 但在牌号首位加符号 SM, 例如: 碳素塑料模具钢 SM45; 合金塑料模具钢 SM3Cr2Mo。

7. 轴承钢

轴承钢分为高碳铬轴承钢、渗碳轴承钢、高铬不锈钢轴承钢和高温轴承钢等四大类。

(1) 高碳铬轴承钢的牌号不标明碳含量, 以千分之几计标明铬含量, 并在首位 + 符号 G, 其他元素按合金结构钢的合金元素含量表示方法标明, 例如: 含铬轴承钢 GCr15。

(2) 渗碳轴承钢的牌号与合金结构钢的表示方法相同, 在牌号头部加 G, 高级优质渗碳轴承钢, 在牌号尾部加 A。例如: 渗碳轴承钢 G20CrNiMo, 高级优质渗碳轴承钢 G20CrNiMoA。

(3) 高碳铬不锈钢轴承钢和高温轴承钢的牌号与不锈钢和耐热钢的牌号表示方法相同, 牌号头部不加 G, 例如: 高碳铬不锈钢轴承钢 9Cr18; 高温轴承钢 10Cr14Mo4。

8. 不锈钢和耐热钢

不锈钢和耐热钢牌号采用元素符号 + 阿拉伯数字(以千分之几表示平均碳含量)表示, 易切削不锈钢和耐热钢在牌号首位加 Y。一般用一位阿拉伯数字表示平均碳含量(以千分之几计), 当平均碳含量不小于 1.00% 时采用两位阿拉伯数字表示; 当碳含量上限小于 0.1% 时, 以 0 表示碳含量; 当碳含量上限大于 0.01%, 而不大于 0.03% 时(超低碳), 以 03 表示碳含量; 当碳含量上限不大于 0.01% 时(极低碳), 以 01 表示碳含量; 当碳

含量没有规定下限时,采用阿拉伯数字表示碳含量的上限数字。合金元素含量表示方法同合金结构钢。例如:不锈钢 2Cr13;铬镍不锈钢 0Cr18Ni9;加硫易切削不锈钢 Y1Cr17;高碳铬不锈钢 11Cr17;超低碳不锈钢 03Cr19Ni10;极低碳不锈钢 01Cr19Ni11。

9. 焊接用钢

焊接用钢包括焊接用碳素钢,焊接用合金钢和焊接用不锈钢等,其牌号表示方法是在其首位加符号 H,例如: H08; H08Mn2Si; H1Cr19Ni9。

高级优质焊接用钢,在牌号尾部加符号 A,例如: H08A。

10. 电工用硅钢

电工用硅钢分为热轧硅钢和冷轧硅钢,冷轧硅钢又分为取向硅钢和无取向硅钢。

硅钢牌号采用规定的符号 + 阿拉伯数字表示。阿拉伯数字表示典型产品(某一厚度的产品)的厚度值和最大允许铁损值(W/kg)。

(1) 电工用热轧硅钢。该钢种牌号表示方法是:首位 DR + 表示最大铁损值 100 倍的阿拉伯数字 + 横线“—” + 产品公称厚度(单位为 mm, 100 倍的数字)。如果是在高频率(500Hz)下检验的,在表示铁损值的阿拉伯数字后加符号 G;不加 G 的,表示在频率 50Hz 下的检验。例如:电工用热轧硅钢 DR440—50; DR1750G—35。

(2) 电工用冷轧无取向硅钢和取向硅钢。这两种钢的牌号为:产品公称厚度(单位为 mm)100 倍的数字 + 表示无取向硅钢符号 W 或取向硅钢符号 Q + 铁损 100 倍的数字。例如: 30Q130; 35W300。取向高磁感应钢 27QG100。

(3) 电讯用取向高磁感硅钢牌号采用规定的符号 + 阿拉伯数字表示。阿拉伯数字从 1 至 6 表示电磁性能级别从低到高,例如: DG5。

11. 电磁纯铁

电磁纯铁牌号采用规定的符号 + 阿拉伯数字表示。例如: DT3; DT4。阿拉伯数字表示不同牌号的顺序号。根据电磁性能不同,在牌号尾部加质量等级符号 A, C, E。例如: DT4A; DT4C; DT4E。

12. 高电阻电热合金

高电阻电热合金牌号采用化学元素符号 + 阿拉伯数字表示。牌号表示方法同不锈钢和耐热钢(镍铬基合金不标出碳含量),例如:耐热合金 0Cr25Al5。

第二章 氧气转炉钢种的冶炼

氧气顶吹转炉炼钢已成为当今世界主要的现代冶金生产工艺。与铁水预处理及钢水炉外精炼相结合,氧气顶吹转炉不仅可以冶炼全部平炉钢种,还可以冶炼部分电炉钢种。目前转炉钢已占全部产量的 80% 以上,冶炼的钢种有 400 多种。

氧气顶吹转炉自 20 世纪 60 年代在我国投产以来,逐步地取代了侧吹转炉和平炉。目前顶吹转炉还只是吹炼非合金钢、低合金钢的部分钢种,钢的质量也在逐步提高。

第一节 型钢生产

型钢广泛应用于国民经济各部门,如矿山、交通、建筑、机械制造、能源、农业、日常生活等都是不可缺少的,其需用量约占钢材总量的 50% 以上。大到桥梁,小到钢筋、钢丝等均属型钢,它们通过热轧、冷轧、冷拔、挤压工艺而成型。

一、重轨钢

重轨钢就是钢轨钢,是断面为非对称“工”字形大型钢材。通常是以每米长度的重量来表示其规格,例如每米长的重量为 38kg、45kg,则分别为 38kg/m 级、45kg/m 级;大于或等于 38kg/m 的为重轨钢,而低于 24kg/m 的为轻轨钢。

目前我国已建立了 38、43、50、60、75kg/m 系列生产线,其中 75kg/m 还未正式列入国家标准。现在有 4 个生产厂家生产重轨钢。包钢公司轨梁厂和攀钢公司轨梁厂生产

50 60 75kg/m 级的重轨钢 ,鞍钢公司大型厂生产 43 50kg/m 级重轨 ,而武钢公司大型厂只生产 43kg/m 以下的重轨钢。

(一)标准

(1)化学成分与力学性能。我国的重轨钢的标准有 6 个牌号 ,其中 U71、U74 等 2 个为碳素重轨钢 ;U71Cu、U71Mn、U70MnSi、U71MnSiCu 等 4 个为低合金重轨钢。重轨钢应其有高强度、高韧性、良好的耐磨性、足够的冲击性和变形抵抗性等。其化学成分和力学性能列表 4-2-1。

表 4-2-1 重轨钢化学成分及力学性能

标准	种类	化学成分 $w/\%$					其他	力学性能 (不小于)		硬度
		C	Si	Mn	P	S		抗拉强度 /MPa	伸长率 /%	
					不小于					
GB 2585—81	U71	0.64 ~ 0.77	0.13 ~ 0.28	0.60 ~ 0.90	0.040	0.050		785	10	
	U74	0.67 ~ 0.80	0.13 ~ 0.28	0.70 ~ 1.00	0.040	0.050		785	9	
	U71Cu	0.65 ~ 0.77	0.15 ~ 0.30	0.70 ~ 1.00	0.040	0.050		Cu=0.10 ~ 0.40	785	9
	U71Mn	0.65 ~ 0.77	0.15 ~ 0.35	1.10 ~ 1.50	0.040	0.040		883	8	
	U70SiMn	0.65 ~ 0.77	0.85 ~ 1.15	0.85 ~ 1.15	0.040	0.040		883	8	
	U71SiMnCu	0.65 ~ 0.77	0.70 ~ 1.10	0.80 ~ 1.20	0.040	0.040	Cu=0.10 ~ 0.40	883	8	

(2)重轨钢的重量、长度系列。各国重轨标准长度不同 ,见表 4-2-2 从重轨发展趋势来看 ,发展长重轨利多弊少 ,近年来各国都在大力发展无缝线路 ,这在国际标准、欧洲、英国、德国等国家的标准中都有规定。

表 4-2-2 重轨钢重量系列

标准类别	标准所列重量系列 /kg·m ⁻¹	货车平均 载重量/t	允许最高速度		铁路网密度 (在 100km 交叉上)	标准长度 /m
			/km·h ⁻¹	/km·h ⁻¹		
中国	33、38、43、50、60 (推荐标准)	46(60)	120	80	0.56	12.5、25
日本	30、37、40kgN、 50kgN、60	18.1	250	120	5.7	10、25、50
美国	29.8~57		127		3.32	11.9
国际	>35					18、24、36
英国	>24.8	22			7.3	

(3)重轨的外观尺寸及质量。重轨的外观质量主要包括三个方面 ,重轨各部位尺寸

的偏差、重轨的弯曲度和重轨的表面质量。随着铁路运输的发展 ,行车速度的提高 ,对重轨的尺寸及平直度的要求越来越严格精确 ,尤其要求接头良好。

(二)对重轨质量的要求

铁路部门是根据铁路的运输强度来确定铺设重轨的级别 ,运输强度包括火车的行驶速度、车轴重和运输密度等方面。我国火车行驶速度已达 120km/h ;国外高速铁路线一般为 200km/h ,最高可达 515.3km/h。轴重最高为 25t ,年运输量达 1 亿 $t \cdot km/a \cdot km$,重载列车的载重量为 5000 ~ 10000t ,这些情况对重轨钢均提出了苛刻的要求。

我国是发展中国家 ,为了适应铁路运输的大动力、高速度的需要 ,全长淬火重轨正在推广使用。从表 4 - 2 - 1 中可以看出 ,我国是世界上铁路网密度最小的国家 ,但运输密度却已超过 1500 万 $t \cdot km/a \cdot km$,是美国、德国、法国和印度的三倍。国际铁路联盟规定 ,年通过量为 1000 万 $t \cdot km/a \cdot km$ 的铁路上 ,应铺设 50kg/m 级重轨 ,年通过量在 1000 ~ 5000 万 $t \cdot km/a \cdot km$ 的铁路线 ,应使用 60kg/m 级重轨 ,而大于 5000 万 $t \cdot km/a \cdot km$ 时 ,应使用 70kg/m 以上的重轨。按照这一规定 ,我国铁路上应大量使用 60kg/m 级重轨 ,但是 ,目前我国年通过量超过 5000 万 $t \cdot km/a \cdot km$ 的铁路线 ,刚刚换上 60kg/m 级的重轨 , 75kg/m 级重轨尚未大量应用 ,其余线路上服役的仍然是 50kg/m 级重轨 ,在有些地段的铁路线上 38kg/m 和 43kg/m 级重轨仍在服役。如果我国每年增加铁路线 3200km ,需 60kg/m 级重轨 40 万 t ;若到 2000 年运营里程从 1995 年的 6 万 km 增加到 7.5 ~ 8 万 km ,将需 120 ~ 150 万 t/a 重轨钢材。

随着国民经济的发展 ,行车密度、行车速度、年通过总量等将会大大提高。所以 ,无论是数量 ,还是质量对重轨钢都提出了更高的要求如下。

(1)重型化。重轨钢的重型化 ,这是必然的趋势。重轨每上一个级别 ,运输量起码增加 50%左右。轨重增加不仅可以提高运输密度 ,还可以延长使用寿命 ,节约钢材 ,如表 4 - 2 - 3 所列。

表 4 - 2 - 3 各种轨型使用情况

轨型/kg·m ⁻¹	用钢 /t·km ⁻¹	大修期 /a	年用量 /t·(km·a) ⁻¹	节约钢材 /t·(km·a) ⁻¹
50	100	3	33.3	
60	120	5	24.0	9.30
75	150	7	21.4	11.90

(2)强韧性并重 ,提高综合性能。要适应铁路重载、高速的需要 ,除增加重轨的单重

外,还要提高综合性能。要求更高的强韧性、耐磨性、抗压溃性和抗脆断性;尤其我国铁路网密度小,通过量又高,这样大大增加轮轨间的作用力和制动热负荷。由此也加剧了对钢轨表面的磨损,主要表现为接触疲劳失效,铁路线上大量出现的鱼鳞状裂纹和剥离掉块就是这个原因造成的。此外,还出现了波浪形磨耗。当波浪形的磨耗达到 1.5 ~ 2.0mm 时,就必须更换重轨。重轨钢的屈服强度不足和硬度不均匀是造成波浪形磨耗的原因之一。所以在大力提高重轨钢抗拉强度的同时,也要注重屈服强度、伸长率的提高。通过合金化、热处理以及优化轧制工艺来提高重轨钢的综合性能。

(3) 钢质的纯净度。钢中夹杂物是造成重轨内部损伤、使用中产生疲劳破坏的主要原因。如果钢中非金属夹杂物颗粒较粗大,则塑性降低。因此对冶炼工艺提出了严格要求,入炉铁水应进行预处理。采用复合合金脱氧,用硅-镁-钛复合合金代替铝脱氧,钢中条状氧化物夹杂污染几乎可以减少 2/3;由于镁和钛变性和微合金化作用,使重轨钢的塑性不降低而强度得到提高,从而改善了钢材质量。炉后钢水进行真空精炼处理,降低钢中气体含量,尤其是降低了氢含量,使重轨钢材成品中的白点有可能消除。重轨钢最好采用连续铸钢工艺生产。

(4) 耐腐蚀性。重轨是在风吹日晒雨淋及各种恶劣气候下工作,我国南方气候潮湿,应铺设耐锈品种的重轨,而北方寒冷,铺设的重轨应具有较高的耐低温冲击韧性。

(5) 可焊接性。重轨的长度长,可以减少端部冲击掉块,延长使用寿命;若实现无缝路线就更需要重轨钢材具有良好的可焊性。

此外,对重轨钢材成品尺寸的精度和几何形状、平直度和弯曲度国家标准都有规定。

(三) 冶炼工艺要点

重轨钢主要是在转炉中冶炼,可以采用氧气顶吹、或顶底复合吹炼工艺。

(1) 根据具体情况确定铁水是否需要进行预处理。

(2) 全程化好渣。

(3) 终点碳的控制,可采取高拉补吹,也可以采用增碳法。

(4) 挡渣出钢。

(5) 采用复合合金脱氧,如以硅-镁-钛代替铝终脱氧。

(6) 钢水进行真空精炼处理,脱除钢中气体,降低钢中夹杂。

(7) 采用连铸工艺,钢水浇铸成连铸坯;目前我国重轨钢生产厂家仍然使用模铸,全过程保护浇注,采用上注或下注均可。由于是模铸,很难使钢质量纯净,化学成分的均匀性和表面质量也得不到根本的改善。不同轨型使用的锭重和坯料尺寸列表 4-2-4。

表 4-2-4 不同轨型使用的锭重及坯料尺寸

生产厂	43kg/m 重轨		50kg/m 重轨		60kg/m 重轨		75kg/m 重轨	
	锭重/t	坯尺寸/mm	锭重/t	坯尺寸/mm	锭重/t	坯尺寸/mm	锭重/t	坯尺寸/mm
鞍钢	6.5	196×196	8.3					
包钢			9.8	300×300	11.4	300×354	9.8	300×330
攀钢	9.55	280×280	9.55	280×325	9.55	280×370	9.55	280×325
武钢	8.3	210×210						

二、钢筋钢

钢筋钢也称混凝土结构用钢筋 ,是工程结构的主要材料之一 ,广泛应用于工业和民用建筑、铁道、桥梁、公路、水电、港口等行业 ,其质量的优劣直接关系到工程结构正常使用的安全。

(一)钢筋钢的分类

一般直径为 $\phi 6.5 \sim 9\text{mm}$ 的钢筋 ,大多数卷盘成盘条 ;直径为 $\phi 10\text{mm}$ 以上的钢筋为直条 ,其断面可以是圆形 ,也可以带肋异形钢筋。

钢筋混凝土结构用钢筋和预应力混凝土结构用钢筋统称钢筋混凝土结构用钢筋。一般强度较低的钢筋 ,用于钢筋混凝土结构配筋 ;而预应力混凝土结构用钢筋 ,要求具有较高的强度 ;有些钢筋强度虽然不太高 ,但经过冷轧和冷加工提高强度后 ,也可以用于预应力钢筋。

钢筋钢分为碳素钢钢筋和低合金钢钢筋。碳素钢钢筋牌号为 Q235 ,其强度较低 ,但塑性、韧性和焊接性能较好 ;低合金钢钢筋是在低、中碳钢基础上 ,添加了适量的 Si、Mn 元素 ,或再加入微量的 Ti、V、Nb 等元素 ,使钢具有较高的强度、良好韧性和焊接性。

钢筋按加工工艺不同 ,可分为热轧钢筋、冷加工钢筋、热处理钢筋。由于加工工艺不同 ,就是同一牌号的钢筋钢性能也不完全一样。

钢筋钢按其强度可分 I、II、III、IV4 个级别。

钢筋钢牌号及化学成分列表 4-2-5。

(二)基本性能要求

(1)强度。强度是指钢筋在受拉状态下的屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。其屈服强度通常以钢筋钢材塑性变形在 0.2% 时的应力值 $\sigma_{0.2}$ 表示。钢筋钢材受力达到屈服强度后就会产生较大的残余变形 ,使结构不能正常工作 ,这种情况即认为丧失承载能力而被破坏。由此可见 ,提高钢筋钢材强度可以提高结构的承载能力 ;或者在相同的承载能力下

减少钢筋钢材的用量。但也不是强度越高越好 ,强度过高就会降低钢材塑性及其他性能 ,因此根据有关规定 ,钢筋钢材的屈服强度达到 400MPa 时 ,可以满足各类钢筋的使用要求 ,对抗震结构用钢筋钢还提出了抗拉强度与屈服强度之比值 ,即 σ_b/σ_s 的要求。

表 4－2－5 钢筋钢牌号及化学成分

标准号	钢筋级别	牌号	化学成分 w/%							
			C	Si	Mn	V	Ti	Nb	P	S
								不大于		
GB 13013—91	I	Q235	0.14 ~ 0.22	0.12 ~ 0.30	0.30 ~ 0.65				0.045	0.050
GB1499—91	II	20MnSi	0.17 ~ 0.25	0.40 ~ 0.80	1.20 ~ 1.60				0.045	0.045
		20MnNi(b)	0.17 ~ 0.25	≤0.17	1.00 ~ 1.50			0.05	0.045	0.045
	III	20MnSiV	0.17 ~ 0.25	0.20 ~ 0.80	1.20 ~ 1.60	0.04 ~ 0.12			0.045	0.045
		20MnTi	0.17 ~ 0.25	0.17 ~ 0.37	1.20 ~ 1.60		0.02 ~ 0.05		0.045	0.045
		25MnSi	0.20 ~ 0.30	0.60 ~ 1.00	1.20 ~ 1.60				0.045	0.045
	IV	45Si2MnV	0.36 ~ 0.46	1.40 ~ 1.80	0.70 ~ 1.00	0.08 ~ 0.15			0.045	0.045
		45SiMnV	0.40 ~ 0.50	1.10 ~ 1.50	1.00 ~ 1.40	0.05 ~ 0.12			0.045	0.045
		45Si2MnTi	0.40 ~ 0.48	1.40 ~ 1.80	0.80 ~ 1.20		0.02 ~ 0.08		0.045	0.045
GB13014—91	III	K20MnSi	0.17 ~ 0.25	0.40 ~ 0.80	1.20 ~ 1.60				0.045	0.045
GB4463—84		40Si2Mn	0.36 ~ 0.45	1.40 ~ 1.90	0.80 ~ 1.20				0.045	0.045
		48Si2Mn	0.44 ~ 0.53	1.40 ~ 1.90	0.80 ~ 1.20				0.045	0.045
		45Si2Cr	0.41 ~ 0.51	1.55 ~ 1.95	0.40 ~ 0.70	Cr0.30 ~ 0.60			0.045	0.045

(2)塑性。塑性以钢筋试件受力断裂时的伸长率(δ_5 或 δ_{10})表示。

(3)焊接性。钢筋应具有良好的焊接性能。焊接性与钢筋钢化学成分有关 ,对于热轧钢筋钢可用碳当量 w_{eq} 来估算焊接性能 ,

$$w_{\text{eq}} = w_{\text{[C]}} + \frac{w_{\text{[Mn]}}}{6} + \frac{w_{\text{[Cr]}} + w_{\text{[Mo]}} + w_{\text{[V]}}}{5} + \frac{w_{\text{[Ni]}} + w_{\text{[Cu]}}}{15}$$

钢筋钢除了 Mn 元素外 ,其他元素含量很少 ,碳当量公式可以简化为

$$w_{\text{eq}} = w_{\text{[C]}} + \frac{w_{\text{[Mn]}}}{6}$$

经验证明 ,当 $w_{\text{eq}} < 0.4\%$ 时 ,钢筋钢的淬硬倾向不大 ,焊接性能良好 ;当 $w_{\text{eq}} = 0.4\% \sim 0.6\%$ 时 ,钢材的淬硬倾向增大 ,需采取必要的措施后 ,还是能够焊接 ,倘若 $w_{\text{eq}} > 0.6\%$,钢材的淬硬倾向大 ,属于较难焊接的钢材 ,必须采用较高的预热温度和焊后热处理严格工艺等措施。

钢筋钢的力学性能要求列表 4-2-6。

表 4-2-6 钢筋力学性能和工艺性能

标准号	钢筋级别	公称直径 /mm	屈服点 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_s /MPa	伸长率 δ_5 /%	冷弯 弯心直径 d 钢筋直径 a
			不小于			
GB 13013—91	I	8 ~ 20	235	370	25	180° , $d = a$
GB 1499—91	II	8 ~ 25 28 ~ 40	335	510 490	16	180° , $d = 3a$ 180° , $d = 4a$
	III	8 ~ 25 28 ~ 40	400	570	14	90° , $d = 3a$ 90° , $d = 4a$
	IV	10 ~ 25 28 ~ 32	540	835	10	90° , $d = 5a$ 90° , $d = 6a$
GB 13014—91	III	8 ~ 25 28 ~ 40	440	600	14	90° , $d = 3a$ 90° , $d = 4a$
GB 4463—84		6 ~ 10	1325	1470	(δ_{10})	

注 :表中 GB 13014—91 所列 III 级钢筋为余热处理钢筋 ,考虑到钢筋焊接后 σ_s 、 σ_b 可能降低 ,其降低值分别为 40MPa、30MPa ,实际使用中仍按 σ_s 为 400MPa 采用。

(4)钢筋与混凝土粘结性能。钢筋与混凝土之间的粘结是关系着二者相互传递应力 ,协调变形的关键。试验表明 ,表面带肋的钢筋比光面钢筋的粘结力高 2 ~ 3 倍以上。我国钢筋标准中仅 I 级钢筋为表面光圆钢筋 ,II 级以上钢筋均为表面带肋钢筋。I 级钢筋强度较低 ,而 Q235 又是非专用钢筋钢材 ;在结构中配置 I 级光圆钢筋时 ,其钢筋两端必须做成 180°弯钩 ,以增强钢筋在混凝土中的锚固作用。

钢筋表面带肋会增加与混凝土间的粘结力 ,但钢筋表面带肋又影响钢筋性能。所以

必须合理选取钢筋外形与外形参数。使之既满足使用中粘结力的要求,同时对钢材性能的影响又减小到最低程度。

(三)对钢筋的使用性能的要求

(1)疲劳性能。通常用疲劳极限来量度疲劳性能。将钢材进行 10^7 次反复加载而不断裂的最大应力称为该钢材的疲劳极限,也称疲劳强度。

疲劳强度明显地低于静力强度,并常常低于屈服强度。由于疲劳破坏没有明显塑性变形,即使塑性良好的低碳钢,或低合金钢的疲劳破坏时断口平稳,没有明显颈缩,所以疲劳破坏表现为脆性破坏。

钢材的表面缺陷和内部含有夹杂物,都会形成钢材的不均匀性,引起应力集中,疲劳裂纹往往从这里首先形成,并逐步扩大,最后使受力截面积减小而突然断裂。钢筋焊接后,焊缝存在着某些缺陷和应力集中,所以焊缝的疲劳强度往往低于母材。

钢的纯净度高,非金属夹杂物含量低,晶粒度细,组织均匀,钢筋钢的疲劳强度也高。为此冶炼和轧制工艺必须采取相应措施,纯净钢质,并实施控制轧制,以提高钢材的疲劳强度。此外钢筋的尺寸对疲劳性能也有影响,试验表明,直径为 $\phi 16\text{mm}$ 的钢筋比直径为 $\phi 25\text{mm}$ 、 $\phi 28\text{mm}$ 钢筋的疲劳强度试验值约高 $5\% \sim 15\%$ 。

(2)应力松弛性能。钢筋受力后长度不变,钢筋中应力随时间的增长而降低的现象称之为松弛。松弛是预应力钢筋的一项重要指标。如果钢筋中应力产生松弛现象,就会降低结构的抗裂性,增大结构变形,甚至影响结构的耐久性。

(3)负温性能。负温性能是指钢筋在负温条件下的拉伸性能、冲击韧性和焊接性能。

对于中、低碳钢和低合金钢筋钢,在常温和负温(最低为 -40°C)条件下进行拉伸试验,结果表明,随拉伸试验温度的降低,钢材的强度提高,强屈比值降低,塑性也相应降低。一般热轧钢筋,即使在 -40°C 条件下,其伸长率仍符合钢筋钢标准要求。但是,负温条件下钢筋钢的冲击韧性 A_k 随着温度的降低而降低,逐渐向脆性化转变。为了保证钢筋钢在一定负温条件下的塑性,必须找出钢筋由塑性转变成脆性的“临界温度”。通常以 A_k 值突然下降时温度,或规定 A_k 下降到某一值时的温度作为该钢材的脆化临界温度,也作为负温使用钢筋的依据。目前我国尚无统一规定,曾有人建议,钢筋的 A_k 值降低到 $25.5\text{J}/\text{cm}^2$ 或 $33.3\text{J}/\text{cm}^2$ 时的温度为该钢筋钢的脆化临界温度。我国常用的 I、II、III 级钢筋,即使在 -40°C 温度下,其 A_k 值仍然能满足 $25.5\text{J}/\text{cm}^2$ 和 $33.3\text{J}/\text{cm}^2$ 数值要求。

负温焊接性能是指环境温度低于 -5°C 条件下进行闪光焊接或电弧焊。试验表明,在 -5°C 及其以上温度进行钢筋焊接,均与常温下焊接一样。而对闪光焊在 -28°C 温度下施焊,电弧焊在 -50°C 下施焊,如果焊接工艺和参数选择适当,其接头的综合性能良

好。我国标准规定,当环境温度低于 -20°C 时,不得进行钢筋的焊接,以确保焊接质量。

(四)生产工艺

目前我国生产的钢筋钢有三类。

第一类是热轧低碳钢 Q235 光圆钢筋钢,牌号最多的是 Mn-Si 系,或添加微量 V、Ti 等元素的低合金热轧钢筋钢。

第二类是调质高强度钢筋钢,即在热轧钢筋的基础上进行淬火、回火热处理,以提高强度。强度可达 $1325 \sim 1470\text{MPa}$,此类为预应力高强度钢筋。成本较高,产量较少。

第三类是余热处理钢筋钢。钢材在热轧生产线上,利用轧后余热进行热处理工艺。是将轧制与热处理工序有机地结合起来,可以有效地提高钢材强度,同时保持钢筋钢的良好塑性和韧性;不仅改善了钢筋钢综合性能,又节约了能源,降低成本,提高效益,现已广泛应用生产中。20MnSi 连铸坯轧后,采用余热处理工艺,钢筋钢强度由 II 级升至 III 级,达到了英国屈服强度为 425MPa 级钢筋标准,可以代替原 25MnSi 锭坯热轧出口钢筋水平。Q235 采用余热处理工艺后,代替原 20MnSi 钢生产的 II 级非预应力钢筋。

当前钢筋钢几乎全部用转炉冶炼,可采用顶吹工艺,也可顶底复合吹炼工艺。现以 20MnSi 钢筋钢为例,其要点如下:

(1)根据钢种规格要求控制成分如下。

$$w_{[\text{C}]} < 0.25\% ; w_{[\text{Mn}]} / w_{[\text{Si}]} > 2.5$$

碳当量 $w_{\text{Ceq}} = w_{[\text{C}]} + \frac{w_{[\text{Mn}]}}{6} < 0.52\%$,从而保证钢筋的焊接性能和 II 级钢筋相当。

(2)保证全程化好渣。

(3)出钢温度不要过高。

(4)出钢加帽挡渣防止下渣。

(5)用 Ba-Al-Si 复合合金终脱氧,根据终点碳含量确定加入数量。

(6)出钢后钢水进行吹氩处理,并微调成分,保持两炉间成分相差 $w_{[\text{C}]} < 0.02\%$, $w_{[\text{Mn}]} < 0.10\%$ 。

(7)连铸要采用保护浇注。

第二节 线材生产

线材是指直径为 $\phi 6\text{mm} \sim \phi 22\text{mm}$ 的热轧圆钢,或断面相当的异型钢材,以盘卷形式交货的称为盘条,异型线材盘条产量较少。线材按用途可分为两大类,一类是直接使用,主要用于建筑的钢筋;另一类是经深加工后使用,可以加工成各类专用钢丝,如弹簧丝、通讯线、焊丝、镀锌丝、钢绳、钢绞绳、轮胎丝等;也可以制成其他金属制品,如螺钉、铆钉、铁钉等冷墩产品。据资料统计,一般线材产量约占钢材总量的 $5\% \sim 15\%$,我国正处于发展时期,线材的比例在 $16.50\% \sim 18.16\%$,今后的建设仍需大量线材。目前我国的线材生产数量、质量、品种等还有待提高。

一、线材品种及用途

(一) 软线

通常是指 $w_{[C]} < 0.25\%$ 普通低碳钢轧制的线材称之为软线。软线在线材总量中比例较大,约占 80% 左右。主要牌号有 Q195、Q215、Q235 及优质非合金钢 10、15、20 等钢,一般用于建筑和冷拔用线材。对于冷拔线材要求表面质量良好,强度不一定太高但塑性要好,金相组织基体最好为大块铁素体,珠光体越少越好,这样易于冷加工。

(二) 硬线

通常是指 $w_{[C]} > 0.45\%$ 的优质中、高碳钢轧制的线材称为硬线,与硬线相当的合金钢、低合金钢和某些专用线材也归入硬线钢品种中。目前我国硬线产量比较少,只占线材总量的 9.73% ,计划到 2000 年要提高到 13% 。

硬线主要用于加工低松弛预应力钢丝、钢丝绳、钢绞绳、轮胎钢丝、琴丝等。如 40Mn \sim 70Mn 钢、T8MnA 和 T9A 钢,以及企业协议规定的类似钢种如 70 绳、70 轮等品种钢牌号。

(三) 焊线钢

用于制造电弧焊、气焊、埋弧自动焊、电渣焊、气体保护焊等焊接用焊条钢。焊线钢分为碳素焊条钢、合金结构钢焊条和不锈钢焊条钢等三类。碳素焊条钢如 H08A、H08E、H08C、H15A、H15Mn 等,合金钢焊条钢牌号很多,已经纳入国家标准 GB4241-84 的不锈钢焊线牌号有 17 个,尚未纳入有关标准但已进行试轧并供货的低合金钢焊线牌号有

24 个 ,如 H08MnRE、H10MnMoH25Cr3MoV 等。

(四)冷墩线材

冷墩线材的钢种一般为低、中碳优质碳素结构钢和合金结构钢。这种钢材主要用于制造螺栓、螺钉、螺帽、铆钉、自攻螺钉紧固件和各种冷墩成型的零配件等。冷墩线材用途十分广泛 ,需求量也较大 ,据资料统计表明 ,年需要量约 100 万 t。

(五)合金钢线材

合金钢线材指各种合金钢、低合金钢热轧结构盘条 ,如滚珠轴承钢盘条 20Mn、30Mn2、20CrMnSi、30CrMnSi、50CrVA ;不锈钢盘条 1Cr18Ni9Ti、1Cr13、2Cr13 和 3Cr13 等 ,低合金钢盘条 12MnV、16Mn、09Mn 等以及合金工具钢盘条 ,主要典型钢种牌号规格用途列表 4-2-7。

表 4-2-7 线材典型钢种牌号及用途

序号	钢种牌号	规格/mm	一般用途
1	Q195、Q195F ,Q215、Q215F、Q235、Q235F	φ5.5、φ6.5	拉丝
	Q235	φ6.5	建筑
2	BL2、BL3	φ6.5 ~ φ10	一般标准件
	G10180、G1010、G10220、(均为美国牌号)	φ5.5、φ6.5	标准件用自攻螺钉
3	ML10 ~ ML45、ML25Mn ~ ML45Mn、 ML15MnB、L15MnVB、ML20MnTiB	φ8.0 ~ φ16.0	冷墩
4	H08A、H08E、H15Mn、H08Mn2SiA、H08MnA、H10Mn2、 H10MnSi、H08MnMoA、H10Mn2MoA	φ5.5、φ6.5	焊丝
5	H10Mn	φ5.5、φ6.5	钢棉
6	60	φ6.5	轮胎用胎圈钢丝
7	60、70、H57B ,H67A、F58、F58V	φ5.5、φ6.5	金属针布钢丝
8	H72A、H72B	φ5.5、φ6.5	石油钢丝绳用、 高强度镀锌钢丝
9	70、STQ(美)	φ5.5	子午轮胎线
10	70、80、77B、82B	φ8.0 ~ φ14.0	高强度(低松弛)预 应力钢丝及钢绞线

二、主要质量要求

线材的品种用途不同,对质量的要求也不完全一样,但总体还是一致的。

(1)尺寸精度及外形要求。线材尺寸精度是指通条直径偏差数值和不圆度偏差数值。这是线材外观质量主要考核指标之一。根据钢种具体情况而规定,如对中、高碳钢线材规格在 $\phi 10\text{mm}$ 以下,尺寸允许偏差不大于 $\pm 0.20\text{mm}$,椭圆度不大于 0.3mm 。低碳钢及焊条钢线材,尺寸允许偏差不大于 $\pm 0.35\text{mm}$,椭圆度不大于 0.4mm 。

(2)表面质量及脱碳要求。表面质量是指表面粗糙度和表面各种缺陷。线材表面不得有裂纹、耳子、折叠、结疤、分层和夹杂;对局部的压痕、凸块、凹坑、划痕、麻面的深度,对不同类型线材品种在标准中都有严格的规定。例如 $\phi 10\text{mm}$ 以下的碳素结构钢盘条,其缺陷的深度或高度不得大于 0.2mm ;对于 $\phi 10\text{mm}$ 以下的优质碳结钢,不得大于 0.15mm ;对于冷镦钢线材,要在酸洗后检查其表面缺陷,深度不得大于 0.15mm 。另外表面的氧化铁皮越少越好。盘条在生产过程中,要严格控制其表面脱碳层,以免降低疲劳强度,标准要求检验钢材的脱碳层深度,对各种用途钢种的脱碳层都有相应规定。

(3)化学成分。化学成分不仅对加工工艺有影响,还关系到盘条的各项力学性能。要求化学成分控制在较窄的范围内,并限制其偏析值。例如,制绳钢丝用盘条的中心偏析,可使盘条中心部位产生渗碳体块,拔丝时就会形成中心裂纹,既使不断也影响钢材性能。碳含量波动越小,性能越稳定。在冷拔状态下,钢丝的抗拉强度随碳含量增加而提高。对低碳钢线材来说,碳含量增加 0.1% ,抗拉强度提高 78.4MPa ,伸长率则下降 4% 。S、P、Si、Cu、As等成分也要严格控制,否则同样影响钢丝的塑性和韧性。再如焊线H08E的 w_{P} 、 w_{S} 含量应低于 0.010% 。以防焊缝产生裂纹和气泡影响质量。所以对同钢种、同炉次、同根铸坯(锭)的成分偏析都要控制。碳的波动在规定范围之内,因此钢水通过精炼微调成分达到稳定。

(4)夹杂物。要获得纯净钢水,主要减少氧化物夹杂。氧化物夹杂主要是由于脱氧不良和钢水的二次氧化形成的。硬脆的氧化铝夹杂,对很细的轮胎钢丝拔制极为不利。所以用Ca-Si或Al-Ba-Si等复合脱氧剂代替单一铝进行钢水的终脱氧,并配合相应的精炼措施,以改善钢的纯净度。同时对铸坯的夹杂物数量、粒度和形状提出针对性的要求。如帘线用盘条中的硬性夹杂物,最大尺寸要小于 $15\mu\text{m}$,可变形的夹杂物的最大尺寸应小于 $30\mu\text{m}$ 。

三、冶炼要点

冶炼要点如下:

- (1) 针对铁水情况和所炼钢种的需要进行铁水预脱硫处理。
- (2) 保证早化渣 , 全程化好渣。
- (3) 针对各钢种及浇注方式来确定合适的出钢温度 , 终点温度不要过高。
- (4) 控制好终点钢水的氧化性 , 采用复合脱氧剂终脱氧。
- (5) 有些钢种需要挡渣出钢。
- (6) 钢水进行精炼或合成渣处理。
- (7) 无论是连铸还是模铸 , 都应采用保护浇注 , 以保铸坯(锭)质量。

第三节 钢板生产

钢板生产分为薄板带材与中厚板材生产。

薄板带钢材分为热轧板带与冷轧板带 , 大部分是碳含量在 0.40% 以下的碳素结构钢 , 还有一部分是高碳钢、合金钢、不锈钢、硅钢等。主要用于汽车、建筑、造船、能源、电机、机械工业等 , 范围广泛。工业发达国家的板带钢材已是钢材品种的主体 , 占钢材总产量的 50% 左右 , 我国约占 20% , 每年在进口的钢材中板带材约占 50%。与国外工业发达国家相比 , 我国的板带钢材生产 , 品种和产量远不能满足需要 , 质量有待提高。

中厚板钢材也是国家工业化不可缺少的钢材品种 , 如用于船舶、锅炉、压力容器、桥梁、管线、机械、建筑、车辆、军工部门等。目前我国的中厚板钢材无论产量和质量都不能满足国民经济发展需要。如钢质造船用钢板 , 每万吨位船舶 , 需消耗中厚板钢材约 3500t , 倘若我国钢质船舶建造能力为 300 万 t 以上 , 那么年耗用的中厚板钢材就要 100 万 t 以上。

为适应城市煤气化和边远地区及海洋石油天然气的开发 , 需要大量的石油与天然气输送管线钢 , 以及建筑管桩等 , 因而以厚板为原料的大直径焊管钢生产将迅速增长。

还有 , 对于火力发电来说 , 一台 30kW 发电机组需要厚板钢材约 4500t ; 而对核电站用厚板钢材的质量要求也就更高了。

此外 , 军舰和兵器的现代化也需要大量特殊用途的中厚板钢材。

总之 , 随着我国各行各业现代化的进程 , 在国民经济中中厚板钢材的作用越来越大 , 需用量也越来越多。

由于用途不同 , 要求也不相同。除了表面质量、外形尺寸外 , 还有一些特殊要求。例

如 ,在寒冷地区使用的管道用钢 ,要求具有足够强度的同时 ,还应具有良好的低温韧性。对汽车车架用结构件热轧带钢卷 ,着重要求尺寸精度和强度。液化气瓶用钢 ,则要求深冲成形性和无时效性。供给汽车车体用的覆盖件冷轧原板热轧带钢卷 ,必须具有良好的表面质量等等。

一、供冷轧用钢带卷

(一)质量要求

冷轧带钢的原料是热轧带卷 ,其厚度一般在 1.5 ~ 6mm ,宽度在 2000mm 以下。冷轧宽带钢产品主要是低碳镇静钢、沸腾钢、准沸腾钢以及少量的低合金钢和不锈钢。

冷轧宽带钢主要用于汽车车身、家用电器、仪器仪表、日常生活用具、食品包装等深冲件。因此要求钢板具有良好的内部质量和外部质量。内部质量是指化学成分和钢的纯净度 ;外部质量是指钢板板形、表面质量和尺寸精度等。针对这个要求 ,钢质的强度不宜过高 ,主要具有良好的冲压性能和焊接性能。

为了确保薄板和极薄板的内部质量 ,要求钢中 C、N、S、Si 等元素含量尽量低 ;因为碳含量可提高薄板钢抗拉强度、屈服强度和硬度 ,而延伸率和成形性有降低。因此碳含量控制在较低水平 ,一般 $w_{[C]}$ 在 0.1% 以下 ;目前国外实物水平控制 $w_{[C]}$ 在 0.05% 以下。氮的存在 ,不仅提高冷轧钢板的屈服强度 ,还对时效性起着决定作用 , $w_{[N]}$ 控制在 0.005% 以下。硅会使冷轧钢板的硬度和屈服强度增大 ,尤其是用于镀层板的原板 ,更要严格控制硅含量在规格要求范围以内 ,应小于 0.03%。锰为固溶强化元素 ,含量不宜过高 ,一般控制在 0.20% ~ 0.45% 之间为宜。国内外实物水平列表 4-2-8。

表 4-2-8 供冷轧带卷化学成分的实物水平

国家		钢种牌号	化学成分 $w/\%$					
			C	Si	Mn	P	S	Al_s
日本		SPCE	0.04	0.014	0.188	0.013	0.008	0.043
韩国		SPCE	0.035		0.20	0.012	0.008	0.039
德国		St14	0.03					
中国	武钢	08A1A	0.047	0.02	0.246	0.0086	0.0132	0.045
	宝钢	St14	0.03	0.02	0.24	0.011	0.010	0.049

(二)工艺生产

工艺流程及质量控制列表 4－2－9。

表 4－2－9 供冷轧带卷的工艺流程及质量控制

工艺流程	装 备	质量控制点
冶 冻	铁水预处理设备	$S\leq 0.02\%$
	转炉顶－底复合吹炼	控制化学成分
	RH－OB 处理	成分调整、改善钢水纯洁度、脱碳、氮、氧、氢 ,调整钢温度
	保护浇注、中间包挡墙和坝	降低钢中氮含量和夹杂
	连铸	内部组织均匀性和表面质量
热 轧	步进式加热炉或直接轧制、热装、热送	加热温度减少温差
	3/4 或全连轧热带钢轧机	终轧温度
	在粗轧－精轧之间安装保温罩或热卷箱	减少温降
	电动或液压压下(AGC)	厚度控制
	强力弯辊 ,工作辊或中间辊轴向串动和各种新型的板形控制轧制	控制板形和平直度
	板形闭环控制	控制板形和平直度
	宽度控制(AWC)	控制板宽精度
	层流冷却或水幕冷却	控制冷却速度卷取温度
	全液压助卷辊卷取机	控制卷形

二、管线钢

管线钢主要用于石油、天然气的输送 ,每年平均需要 4～5 万 km 新管线投入生产。今后将采用高压大口径管线 ,这样可以节省大量建设资金和钢材 ,例如工作压强为 7.4MPa ,直径 $\phi 1.4\text{m}$ 的 1 条输气管线 ,可以代替 3 条压强为 5.4MPa 直径 $\phi 1.0\text{m}$ 的输气管线 ,同时可节省 30% 的资金和 10% 的钢材。海底油气输送管线采用高质量、高强度和厚壁管线对管线钢材的生产又提出了新的要求。

(一)对质量的要求

目前我国按国际通用 API 标准已生产 A、B、X42、X46、X52、X56、X60、X65 等 8 个管线钢种 ,从低到高形成系列。当前只有武钢和宝钢具备生产管线钢材的条件 ,并能满足管线钢质量要求 ,但数量还不足。如果按 API5L。系列所包括的管线钢种 ,尚缺少 A25、X70、X80 等 3 个等级。开发研究 APISLT 标准中的钢种 H40、J55、C75、N80 等高强度石油套管钢。随着石油开采量的增加钢的需求量也日益增多 ,尤其是 N80 的需用量增加更快。

高寒地区管线、海底管线和高硫管线 ,不仅要求钢有良好的力学性能 ,还应具有耐负温性能、耐腐蚀性等。这些线路长 ,又不易维护的管线 ,对其质量要求更为严格。特别指出钢中夹杂形态的控制非常重要 ,所以在生产中除了降低硫含量 ,还要喷钙处理 ,消除条形硫化物夹杂的影响 ,并添加微量钛 ,抑制焊接影响区韧性的下降。

(二)生产工艺流程

管线钢由于制管的焊接方式(直缝焊和螺旋焊)不同 ,对质量要求也有区别。长输油、气管线用钢生产、制管工艺流程及其要点如图 4-2-1 所示。

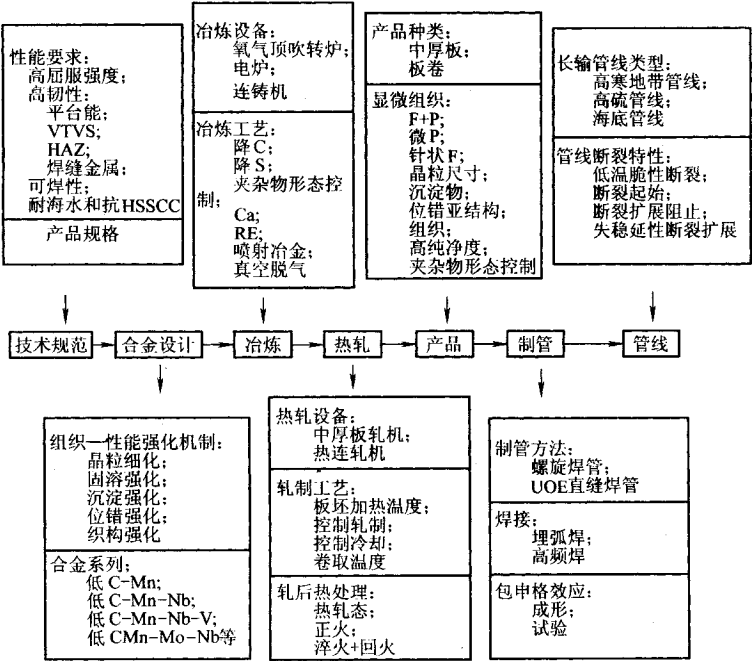


图 4-2-1 长输油、气管线用钢生产、制管流程及其要点

三、硅钢

硅钢是电工钢的一种 ,硅含量在 0.5% ~ 6.5% 范围内 ,主要用于制造电机和变压器的铁心、日光灯中镇流器、磁开关和继电器、磁屏蔽和高能加速器中磁铁等。因此是电力、电子工业、军事工业中不可缺少的软磁材料 ,电工用钢的分类列表 4 - 2 - 10。

表 4 - 2 - 10 电工用钢分类

类 别			公称厚度 /mm
热轧硅钢板 (无取向)	热轧低硅钢 ,也称热轧电机钢(硅含量 1.0% ~ 2.5%)		0.50
	热轧高硅钢 ,也称热轧变压器钢(硅含量 3.0% ~ 4.5%)		0.35 和 0.50
冷轧电 工钢板	无取向电工钢 (冷轧电机用)	低碳电工钢(硅含量 ≤ 0.5%)	0.50 和 0.65
		硅钢(硅含量 > 0.5% ~ 3.5%)	0.35 和 0.50
	取向硅钢 (冷轧变压器用)	普通取向硅钢(硅含量 2.9% ~ 3.3%)	0.35、0.30
		高磁感取向硅钢(硅含量 2.9% ~ 3.3%)	0.27 和 0.23

现在电工用钢世界产量(包括中国在内)约 600 万 t ,我国年产量在 50 万 t 左右 ,武钢是硅钢的主要生产厂家。电工钢的产量和使用量 ,随着发电量的增长率而成正比增加。目前全国需求量约 90 万 t 以上 ,而产量只有 50 万 t 左右 ,相差较大 ,每年都需进口电工用钢材。

(一)对性能要求

(1)铁损要低。铁损 p_T 是由磁滞损耗 p_h 、涡流损耗 p_e 和反常损耗 p_a 三部分组成。由于铁损高所增加的电量消耗 ,约占年发电量的 2.5% ~ 4.5% ,因此铁损是电工用钢电磁性能的重要指标 ,所以生产电工用钢要千方百计降低铁损。

(2)磁感应强度要高。磁感强度高可以降低铁芯激磁电流(空载电流) ,使导线电阻引起的铜损和铁芯铁损降低 ,可以节省电能。倘若电机变压器容量不变时 ,磁感强度高 ,就可以使铁芯体积减小 ,重量减轻。

(3)对磁的各向异性的要求。电机在运转状态下工作 ,要求硅钢磁各向同性 ,用无取向硅钢制造 ;变压器在静止状态下工作 ,用冷轧取向硅钢制造。

(4)磁时效性要小。铁芯磁性随使用时间而变化的现象为磁时效。磁时效主要是由于钢中过饱和碳与氮析出的细小碳化物和氮化物所致。所以硅钢中碳含量应小于 0.0035% ,氮含量应小于 0.005%。

(5)脆性要小。硅钢片在制作铁芯时需冲压加工成型,冲片性能要好,倘若钢质性脆会降低成品率,并影响冲模寿命。

(6)其他要求。此外,硅钢片的表面要光滑平整,厚度均匀偏差要小,好的绝缘薄膜等。

硅钢有冷轧与热轧之分,冷轧硅钢与热轧硅钢相比,有如下优点:

- 1)磁性好,可以节省电能;
- 2)表面光滑,厚度均匀;
- 3)冲片性好,剪片尺寸精度高;
- 4)成卷供货,适用高速冲床,硅钢钢板利用率高。

(二)硅的作用

钢中加硅的主要作用是提高电阻率,降低涡流损耗、矫顽力和磁滞损耗,从而降低铁损。但也同时降低了磁感强度和饱和磁感。当 $w_c < 0.025\%$ 时,从 Fe-Si 相图中可以看出在任何温度下,都是单一的铁素体相,这对于采用高温退火制造取向硅钢和无取向硅钢都是非常重要的,有利于 $(110)[001]$ 取向发展和晶粒长大。硅也可以减小磁时效性。随着硅含量的增加,钢的屈服强度和抗张强度明显提高,钢中 $w_{Si} > 3.5\%$ 时屈服强度降低,而 $w_{Si} > 4.0\%$ 时钢的抗张强度也迅速下降。随硅含量增加延伸率显著降低,硬度提高,所以热轧硅钢硅含量上限规定为 4.5% ;冷轧硅钢规定为 $w_{Si} < 3.5\%$ 。随着硅含量增加,钢的热传导率下降,铸态晶粒粗大。

(三)影响因素

(1)取向。硅钢与铁一样是体心立方晶体结构。晶轴不同其磁性也不相同,经科学家测量认为,三个主轴方向的磁性如图 4-2-2 所示 $[100]$ 方向为易磁化轴 $[110]$ 方向为次易磁化轴,而 $[111]$ 方向为难磁化轴,这种磁化特性称为磁的各向异性。取向硅钢就是利用这种磁的各向异性原理制造出来的。取向硅钢的晶粒位向如图 4-2-3 所示, $[100]$ 轴平行于轧制方向,即钢板的长度方向 (110) 面平行于轧制面,即钢板表面,这种位向称为高斯(GOSS)织构,用米勒指数表示为 $(110)[001]$ 。实际取向硅钢就是由这种织构的晶粒群体构成的。GOSS 织构是通过二次再结晶过程发展而成。

(2)晶粒大小。晶粒的大小是指退火后铁素体晶粒的尺寸,可用单位面积上晶粒数目来表示。晶粒大,晶界数目相应要少些,磁力线通过时阻力要小,即磁阻减少,磁滞损失和矫顽力也减小。但晶粒不是越大越好,晶粒过大钢质变脆,同时随着晶粒的增大涡流损失加大。一般认为,厚度为 0.35mm 的冷轧变压器硅钢钢板,合适的晶粒尺寸为 $5 \sim 10\text{mm}$ 。此外晶粒形状和晶界是否平直对塑性和磁性也有影响。

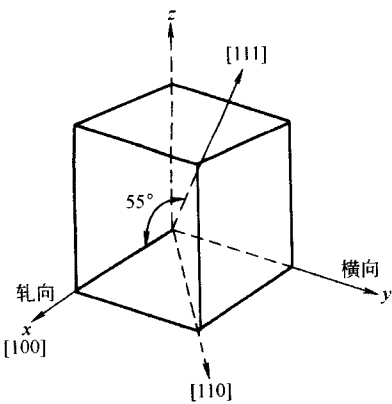


图 4-2-2 晶体磁的各向异性

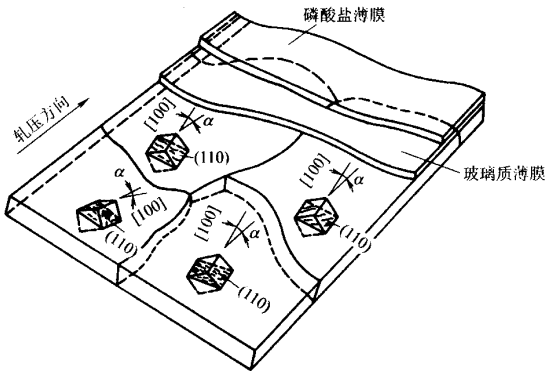


图 4-2-3 取向硅钢晶粒位向示意图

(3) 夹杂物。在初生晶粒基体上,弥散分布有细小而均匀的第二相质点,实际上就是一种夹杂物,也称抑制剂(MnS 、 AlN),它的作用是抑制、阻止初生再结晶晶粒长大,而促进二次再结晶晶粒的发展。使 $(110)[001]$ 位向的初次晶粒通过二次再结晶,吞食其他位向的初次晶粒而迅速长大,也称异常长大,这种夹杂物也称有利夹杂物。抑制初次再结晶晶粒长大的能力,与抑制剂质点尺寸成反比,与质点数量成正比。

(四) 生产工艺特点

普通取向硅钢(GO)是以 MnS 为抑制剂,采用两次冷轧,其间进行一次中间退火,产品易磁化轴 $[001]$ 偏离轧向平均角 α 在 7° 左右,其晶粒粒度平均为 $3 \sim 5\text{mm}$ 。

高磁感(Hi-B)取向硅钢工艺特点,是以 $MnS + AlN$ 为抑制剂,采用一次冷轧法,易磁化轴[001]偏离轧向的平均角 α 在 3° 以内,磁感应强度更高,铁损更低,晶粒粒度平均为 $10 \sim 20\mu m$ 。

两种钢的生产工艺路线及主要设备列表 4-2-11。

表 4-2-11 主要工艺路线及主要设备



(五)冶炼要点

硅钢化学成分及用途列于表 4-2-12。

表 4-2-12 取向硅钢化学成分及用途

化学成分 $w/\%$			主要作用	成分变化	
元素	GO	Hi-B		低-成分-高	
(C)	0.03~0.05	0.04~0.08	二次再结晶稳定化	二次再结晶不完全,出现线状细晶	脱碳困难
(Si)	2.80~3.50	2.80~3.50	减少涡流损失,降低铁损	铁损增高	冷脆,难以冷轧,二次再结晶不完全
(Mn)	0.05~0.10	0.06~0.12	形成有利夹杂促进二次再结晶	热脆,二次再结晶不稳定	二次再结晶不稳定
(S)	0.015~0.0030	0.02~0.03	同上	二次再结晶不稳定	高温脱硫困难
(Al) _总 ^①	<0.015	0.02~0.035	Hi-B 钢形成夹杂促进二次再结晶	Hi-B 钢,二次再结晶不稳定	Hi-B 钢,底层不良,二次再结晶不稳定
N	<0.006	0.005~0.01	同上	同上	钢板表面起泡

① $(Al)_{总}$ 是指酸可溶性铝简称酸溶铝, $w_{Al} = \text{总 Al 量}\% - Al_2O_3 \text{ 中 Al 量}\%$ 。

生产流程如表 4-2-13 所示。

冶炼要点如下：

(1)铁水脱锰处理 根据具体情况确定铁水是否进行预脱硫处理,铁水中锰含量尽量低些, $w_{[Mn]} < 0.35\%$,最好低于 0.15% ;如果铁水锰含量较高时,可采用预处理脱锰。但兑入转炉铁水温度应在 1300°C 以上。

(2)转炉吹炼 顶吹或顶-底复合吹炼工艺均可。主要任务是脱 C、脱 Mn、脱 P 和调温。关键是控制终点成分和温度,终点成分如表 4-2-14 所列。在吹炼过程中,当碳含量在 $1.5 \sim 3.0$ 时,炉温应保持 $1350 \sim 1450^{\circ}\text{C}$,可采取排渣操作,以降低 Mn、P 含量。

(3)在钢包中合金化并底吹氩。

(4)真空处理微调成分。

(5)钢水连铸,全保护浇注,电磁搅拌,铸坯热送。

表 4-2-13 生产流程及基本要求图

工 艺 流 程	基 本 要 求
<div>精 料</div> <div>↓</div> <div>铁水脱锰处理</div> <div>↓</div> <div>转炉吹炼</div> <div>↓</div> <div>钢包合金化和底部吹氩</div> <div>↓</div> <div>真空处理(RH)</div> <div>↓</div> <div>连铸(CC)</div> <div>↓</div> <div>铸坯</div>	<div><div>a. 低锰铁水($Mn \leq 0.35\%$), 1350℃以上;</div><div>b. 低锰废钢($Mn < 0.35\%$);</div><div>c. 高级硅铁合金(碳、锰、铝含量低);</div><div>d. 辅助材料成分稳定, 杂质少</div></div> <div>当铁水含锰高时, 将锰脱到0.35%以下</div> <div>吹炼过程中, 碳、锰含量和温度配合好</div> <div>合金料要均匀加入, 出钢量达70%前加完</div> <div>微调成分达到规定要求和控制好终点温度</div> <div>防止钢水与空气接触, 控制内裂在0~2.5级(硫印评级)以下</div> <div>装保温车加盖, 送到热轧厂</div>

表 4-2-14 吹炼终点成分

元素 钢种	$w[C]/\%$	$w[Mn]/\%$	$w[P]/\%$	$w[S]/\%$
GO	< 0.05	< 0.06	< 0.01	< 0.03
Hi-B	0.06	< 0.07	< 0.01	< 0.03

第三章 特殊铁水的吹炼

由于各地矿产资源不同,铁水中的元素含量各不相同,有一些含有 P、V、Nb 量较高的铁水。对于这些特殊铁水,现代炼钢技术的发展方向是进行铁水预处理,以去除杂质和提取有用金属。根据我国的情况,本章主要介绍含钒铁水的处理及半钢炼钢问题。

第一节 含钒铁水处理

我国华北、华东和西南地区有着丰富的钒钛磁铁矿资源,由这些铁矿冶炼的铁水中含有一定的钒和钛。而钒是重要的工业原料,有许多用途。因此,在使用含钒铁水炼钢时,一般都要进行铁水预处理,以提取钒渣。目前在我国的钢铁厂,广泛采用火法氧化提钒,以获取钒渣。我国钒渣标准见表 4-3-1。

表 4-3-1 钒渣化学成分(%)

品级	V_2O_5 %	SiO_2	CaO %	P_I	P_{II}
一级	15.0	27.0	0.8	0.08	0.8
二级	14.0	28.0	1.0	0.10	0.8
三级	12.0	29.0	1.0	0.10	0.8
四级	10.0	30.0	1.0	0.10	0.8

经提钒处理后的铁水 ,由于氧化反应使碳、硅、 锰等元素含量减少 ,故又叫炼钢半成品 ,简称半钢。 由于各地钒钛铁矿的成分差异 ,使冶炼出的铁水成分也各不相同 ,经提钒后的半钢成分也不相同 ,其成分见表 4-3-2。

表 4-3-2 铁水与半钢的化学成分与温度

成分(%)		C	Si	Mn	P	S	V	Ti	T ,℃
铁水	A 厂	4.40	0.10	0.20	0.045	0.078	0.30	0.08	1250
	B 厂	4.23	0.59	0.26	0.24	0.042	0.25		
	B 厂	3.83	0.70	0.93	1.40	0.032	1.44		1280
	C 厂	4.20	0.40	0.13	0.080	0.050	0.50	0.35	1300
	A 厂	3.70	< 0.05	0.05	0.045	0.078	0.03	< 0.01	1330
半钢	B 厂	3.88	< 0.05	0.06	0.507	0.039	0.07		1340
	C 厂	3.17	< 0.05	< 0.05	0.050	0.050	< 0.10	< 0.01	1.400

提钛后的半钢几乎不含硅、 锰等发热元素 ,碳含量也降低不少 ,但硫含量却没有降低。 因此。 半钢炼钢时炉渣形成困难 ,冶炼过程热量紧张。

一、提钒保碳

讨论在去除铁水中钒的同时而又能保留半钢中的发热元素的问题。 根据元素氧化反应的自由能与温度的关系 ,在 1400℃ 以下时 ,各元素的反应自由能值如下 :

$$\Delta G^{\circ}_{Ti} < \Delta G^{\circ}_{Si} < \Delta G^{\circ}_{Cr} < \Delta G^{\circ}_V < \Delta G^{\circ}_{Mn} < \Delta G^{\circ}_C$$

在提钒过程中 ,Ti、 Si、 Cr、 V、 Mn 均比碳优先氧化。 这些元素的氧化放出大量热 ,使铁水温度升高 ,当温度超过 1400℃ 时 ,碳的氧化开始进行 ,而碳的氧化抑制了钒的氧化 ,对提钒不利。 根据选择性氧化原理 ,为了去钒保碳 ,可应用以下反应式来确定铁水温度 :

$$4/3[V] + 2CO = 2/3(V_2O_3) + 2[C] \qquad \Delta G^{\circ} = - 511529 + 302.35 T \quad J$$

(4-3-1)

当反应平衡时 ,ΔG = 0 则

$$RT \ln \frac{a_C^2 (a_{V_2O_3})^{2/3}}{(av)^{4/3} P_{CO}^2} = 511529 - 302.35 T$$

(4-3-2)

根据已知铁水成分,计算出各物质的活度,再代入到(4-3-2)式中,就可求出转化温度。在提钒操作中,要控制铁水温度低于转化温度,就能达到提钒保碳的目的。

二、提钒的方法

当前在世界上火法提钒系主要手段,提钒工艺有三大体系,五种方法,即摇包吹氧提钒,雾化提钒,转炉提钒(包括空气侧吹转炉,顶吹转炉,复吹转炉)。我国目前应用雾化提钒和转炉提钒体系。

1. 雾化提钒

雾化提钒工艺是我国自行研制的一种独特提钒方法,其工艺流程见图4-3-1。铁水经中间罐以一恒定的流股经过雾化器流入雾化室,与此同时经水冷雾化器供给一定压力和流量的压缩空气或富氧空气,在雾化室中铁水流股与高速的空气流股相遇而被粉碎或雾化成小于2mm的液滴,它们与氧的接触面积增大,加快了铁水中钒、硅、碳等元素的氧化反应,从而获得钒渣和半钢。

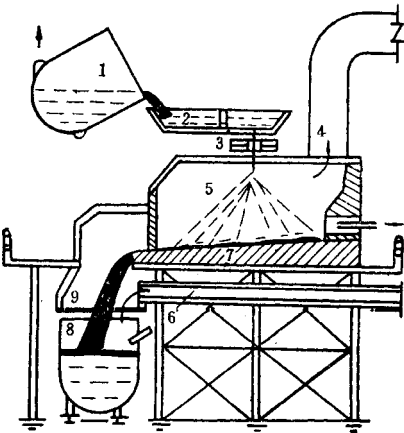


图 4-3-1 雾化提钒流程图

- 1—铁水罐 2—中间包 3—雾化器 4—烟道;
5—雾化室 6—副烟道 7—出钢槽 8—半钢罐 9—烟罩

雾化提钒工艺中,当雾化器结构和供气量一定时,铁水流量控制至关重要。铁水流量大,雾化不好,且空气中的供氧不足,钒的氧化少,铁水流量小,雾化充分,供氧过度,将增加碳和铁的氧化,使钒渣中FeO多,影响钒渣质量。因此,要控制好铁水流量,主要应使中间罐水口尺寸变化小,并要保证中间罐铁水液面稳定。

雾化提钒过程中不能加入冷却剂,只适用于含硅低的含钒铁水,并要控制好铁水温

度 ,不能过高。我国 A 厂系用雾化提钒工艺 ,其工艺简单 ,铁水提钒处理能力大 ,满足了生产要求。但提钒时铁的氧化多 ,铁损较大。

2. 空气侧吹转炉提钒

空气侧吹转炉是利用侧吹供入空气 ,使转炉内铁水钒氧化而获得钒渣。根据铁水中元素的氧化顺序 Ti—Si—V—CQ 提钒工艺受铁水中硅含量的影响。国内 B 厂 8t 空气侧吹转炉的基本操作见表 4-3-3 ,开吹角 20° ,循环角 20—40° ,风压 0.08 MPa。

表 4-3-3 空气侧吹转炉基本操作

吹炼过程	2 ~ 3min	3 ~ 6min	6 ~ 8min	冷却制度
Si > 0.7%	面吹	浅面吹	深吹	铁块强冷
Si 0.3 ~ 0.7%	浅面吹	浅深吹	深吹	铁块一般冷却
Si < 0.3%	面吹	浅面吹	深吹	少量废渣冷却

* 冷却剂—含钒生铁块和无 CaO 废钒渣或烟道渣。

提钒吹炼过程中加入冷却剂的目的是控制反应温度在 1350 ~ 1450℃内 ,铁块加入量为铁水量的 10 ~ 13% ,废渣按 1:3 折算为铁块。我国 B 厂在生产中把含钒 1.5% 的生铁块作为冷却剂加入炉内 ,有效地提高了钒渣中 V_2O_5 含量 ,收到了很好的效果。

3. 氧气顶吹转炉提钒

氧气顶吹转炉提钒是利用顶吹氧枪向铁水供氧 ,从而氧化铁水中的钒 ,提钒结束 ,倒出半钢和钒渣。

我国 C 厂目前采用氧气顶吹转炉提钒 ,在顶吹转炉提钒中 ,应控制供氧量。在 C 厂条件下 ,提钒供氧量控制在 $25m^3/t$ 以内。氧枪的控制根据钒的氧化环节来调节。据有关研究指出 ,当铁水含钒量大于 0.20% 时 ,钒的氧化以渣—铁界面上的间接氧化为主 ;当铁水含钒量小于 0.20% 时 ,钒的氧化以熔池内的直接氧化为主。因此 ,在提钒吹炼中氧枪控制应先高后低。

提钒过程的温度控制应予以注意 ,氧气顶吹转炉升温快 ,冷却剂应用也较多。C 厂采用的冷却剂为含 V_2O_5 的酸性球团矿和生铁块 ,球团矿成分见表 4-3-4。由于球团矿中含有大量的氧化铁 ,并且加入炉内又为熔池提供了氧量 ,加速了熔池中钒的氧化 ,其冷却效果和提钒效果都比生铁块好 ,其结果见表 4-3-5。冷却剂用量为生铁块 $200kg/t$,球团矿用量为铁块加入量的 20 ~ 25%。

表 4-3-4 球团矿成分(%)

SiO ₂	CaO	TFe	FeO	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	V ₂ O ₅	TiO ₂	P	S
3.88	0.28	58.9	2.84	1.21	3.20	0.149	0.72	7.50	0.034	0.005

表 4-3-5 生铁块和球团矿冷却效果比较

冷却剂	加入量 kg/t	吹氧时间 min	氧耗 m ³ /t	半钢余钒 %	钒氧化率 %	渣中 V ₂ O ₅ %
铁块	186	8.7	20.66	0.084	84.29	16.78
球团	45.6	6.2	14.17	0.057	89.35	16.39

三、半钢的进一步处理

为了进一步去除半钢中的磷、硫 ,还要对铁水采用脱磷、脱硫处理。对脱磷来说 ,提钒过程中铁水的硅已大大降低 ,因而只须扒除钒渣后 ,进一步加入脱磷剂 ,就可实现铁水预处理脱磷 ,然后进行少渣精炼。如 B 厂情况 ,其工艺流程如下 :

铁水提钒→扒钒渣→半钢预处理脱磷→扒渣→半钢入转炉→少渣冶炼。

对含硫量较高的半钢来说 ,应考虑炉外脱硫 ,其工艺流程如下 :

铁水提钒→扒钒渣→半钢预处理脱硫→扒渣→半钢入转炉→少渣冶炼。

由于铁水预处理脱硫是在还原条件下进行有利 ,因而也可以采用先脱硫 ,后提钒的工艺流程。但脱硫渣应扒除干净 ,否则渣中的高 CaO 含量对钒渣的质量带来影响 (要求钒渣 CaO < 1.0 % 为好)。其工艺流程如下 :

铁水预处理脱硫→扒渣或挡渣→铁水提钒→除钒渣→半钢入转炉。

我国某厂现在采用的工艺就是这样 ,先在铁水罐内喷吹电石脱硫 ,然后把铁水吊到雾化提钒炉去提钒 ,利用提钒的中间罐挡住脱硫渣 ,实现渣铁分离。经雾化提钒后 ,扒除钒渣 ,半钢入转炉冶炼。从生产的效果来看 ,脱硫渣被有效地挡在中间罐内 ,对钒渣的质量没有带来影响 ,其结果见表 4-3-6。

表 4-3-6 钒渣成分(%)

铁水类别	CaO	MFe	SiO ₂	V ₂ O ₅	P
脱硫	0.36	14.6	11.57	17.0	0.053
脱硫	0.26	11.1	10.81	23.60	0.036

铁水类别	CaO	MFe	SiO ₂	V ₂ O ₅	P
未脱硫	0.50	20.0	12.0	19.6	0.080

第二节 半钢冶炼

半钢在冶炼上的特点是 硅、锰等元素生成氧化物少 ,成渣困难 ;且元素氧化量少 ,使吹炼过程热量紧张。若半钢中磷、硫等杂质元素多 ,应采用双渣操作 ,但加入渣料增多和由于倒渣损失热量增大 ,更加感到化渣困难和热量不足。

炼钢炉渣是一种多组元体系 ,其熔点受组元的影响。去除半钢中的磷、硫 ,必须加入石灰。但光靠加入石灰是不够的(因石灰熔点高 ,对成渣不利)。如果石灰不能熔化成渣 ,那么 ,磷、硫就不能去除。为快速成渣 ,可采用多种造渣料配合使用 ,使炉渣形成多元系结构 ,同时 , Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 等离子可进入 $2CaO \cdot SiO_2$ 晶格中 ,部分取代 Ca^{2+} 离子 ,改变其结构 ,使炉渣熔点降低。

针对半钢冶炼的特点 ,造渣料的选择应具备以下性质 :熔点低 ,熔化吸热少 ,对炉衬侵蚀小。 CaF_2 、 $CaCl_2$ 和含 K_2O 、 Na_2O 的物质熔点低 ,具有降低石灰熔点和助熔的作用 ,但其高挥发性和对炉衬的侵蚀严重 ,不宜过多使用。铁皮和铁矿石中 $\sum FeO$ 高 ,具有一定的化渣作用 ,但冷却效应大 ,使炉内降温多 ,也应适量使用。针对 A 厂的半钢条件 ,选用了多种造渣材料 ,其成分见表 4-3-7。渣料由镁质石灰、锰矿、萤石和其它材料组成 ,配比为石灰 80~85% ,锰矿 5~8% ,萤石 3~4% ,其它材料 6~10%。渣料分两批加入炉内 ,第一批料占总量的 2/3 ,第二批料占总量的 1/3。使终渣成分控制在 $CaO/SiO_2 = 5 \sim 6$ (或 $CaO/(SiO_2 + V_2O_5 + TiO_2) = 4 \sim 5$) , MnO 为 2~3% , MgO 为 5~6% , $Al_2O_3 \leq 3\%$, $\sum FeO$ 为 15% 左右时就能达到良好的脱硫效果。各种渣料配合时的终渣成分见表 4-3-8。

表 4-3-7 各种造渣料的成分(%)

种类	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	TFe	其它	熔点℃
石灰	82	2.1	0.62	4.3	—	—	

种类	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	TFe	其它	熔点℃
萤石		1.87	1.7	1.1	0.5	CaF ₂ 85	
锰矿	8.06	4.34	1.43	0.16	16.2	TMn46.5	1314
煤矿石	2.47	46.20	17.42	3.69	3.7	C13.97 ,K ₂ O + Na ₂ O _{4.1}	1210
安山岩	1.31	71.63	9.66	0.35	11.2	K ₂ O + Na ₂ O6.58	1340
石英砂	0.3	97.85	—	0.12	—	—	
白云石	50.6	1.5	0.66	32.0	—	—	

表 4－3－8 各渣料配合时的转炉终渣成分(%)

渣料配加	CaO	SiO ₂	∑FeO	Al ₂ O ₃	MgO	V ₂ O ₅	TiO ₂	熔点℃
安山岩	57.40	8.20	20.60	1.40	3.50	2.20	1.10	1350
煤矿石	57.60	9.88	20.2	2.72	2.60	1.28	0.50	1340
石英砂	58.45	11.94	14.40	1.36	5.44	1.60	0.58	1320
锰矿	58.50	8.80	TFe13.39	2.58	5.32	—	—	—

B 厂半钢含磷较高 ,为了去磷 ,渣料采用活性石灰、萤石和氧化铁皮组成 ,终渣碱度 CaO/SiO₂ + P₂ O₅ 为 3.5 ~ 4.5 ,FeO 为 15 ~ 20% ,就能达到良好的脱磷效果。

为了解决热量紧张问题 ,加强生产调度管理 ,减少炉衬和铁水降温的问题应引起重视。在操作中应尽量少加冷却剂 ,采用镁质石灰造渣 ,少用白云石 ,以减少分解热。当炉内热源严重不足时 ,采用炉内加焦炭、煤、硅铁等提温剂 ,以补充热源。目前 ,对于半钢冶炼普遍采用二次燃烧技术 ,使用双流氧枪供氧提高热效率 ,保证半钢冶炼正常进行。

我国 A 厂和 B 厂在半钢冶炼中都采用了单流道双流氧枪供氧 ,使用结果表明都有效地提早了化渣时间 ,提高了二次燃烧率 ,使脱磷率和脱硫率提高 ,其使用结果见表 4－3－9。

从半钢冶炼的发展来看 ,若能配合采取铁水预处理脱磷、脱硫与提钒相结合的工艺 ,将会实现少渣精炼 ,也就从根本上解决了成渣难的问题。另外在供氧上采用双流氧枪 ,提高炉内的二次燃烧率 ,将有助于解决半钢冶炼的热源问题 ,为半钢冶炼正常进行提供保证。

表 4－3－9 双流氧枪与单流氧枪冶炼指标

各厂供氧情况	化渣时间 min	二次燃烧率 %	η_s %	η_P %
A 厂 单流氧枪 双流氧枪	7.88	20.06	38.99	—
	5.25	28.80	41.47	
B 厂 * 单流氧枪 双流氧枪	5.0	82.4	—	94.38
	3.5	85.8		95.54

* B 厂的二次燃烧率是在除尘后烟囱处取样的结果。