

尤志伟 邓宏运 章舟 编

铸造用化工原料 应用指导

铸造



化学工业出版社

铸造用化工原料 应用指导

尤志伟 邓宏运 章舟 编



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

铸造用化工原料应用指导/尤志伟, 邓宏运, 章舟编.
北京: 化学工业出版社, 2011. 8
ISBN 978-7-122-10805-0

I. 铸… II. ①尤…②邓…③章… III. 铸造-化工材料
IV. TG22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 044998 号

责任编辑: 刘丽宏
责任校对: 宋 夏

文字编辑: 闫 敏
装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 化学工业出版社印刷厂
710mm×1000mm 1/16 印张 14½ 字数 175 千字
2011 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)
售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究

前言

熔炼金属，制造铸型，并将熔融金属浇入铸型，凝固后获得一定形状和性能铸件的成型方法称为铸造。凝固后得到一定形状和性能的金属件称为铸件。铸造的优点是可以铸出各种大小规格或形状复杂的铸件，且成本低，材料来源广，所以铸造是机械制造中生产零件或毛坯中的主要方法之一，其成型的零件广泛应用于航空航天、汽车工业、船舶车辆及各类机械中。

各种铸造合金的熔炼成型离不开化工原料的辅助作用，如造型材料、耐火材料、熔剂等，在这些化工原料的参与反应下，各种铸造合金进行物化、矿化和粘合等作用，同时采用各种相对应的成型方法才能获得性能优良的铸件。

近年来我国铸造工业发展迅速，不同牌号和性能的铸造用原辅材料不断涌现，铸造原料供应企业的技术人员和铸造生产领域的工程技术人员需要不断了解和学习铸造相关原料的性能特点及使用规范，为此我们编写了本书。

本书内容密切结合铸造企业原料的生产和应用实际，介绍各种铸造工艺中不同用途的化工原料的特性与正确应用，内容涉及造型材料、铸造涂料、耐火材料、熔剂、孕育剂、球化剂等。书中在展示各种原料性能数据及应用特性的同时，列举典型应用实例和配方，对铸造技术人员合理选用铸造原料将具有较强的指导意义。

本书编写过程中得到徐庆柏等专家的大力支持，在此表示诚挚的谢意！由于铸造用化工原料种类繁多，应用广泛，书中不当之处难免，敬请广大读者批评指正。

编者

目录

第 1 章 概述

1.1 铸造合金	1
1.2 铸造的铸型	9
1.3 铸造用化工原料	13
1.3.1 造型材料	13
1.3.2 铸造涂料用材料	13
1.3.3 耐火材料	14
1.3.4 熔剂	14
1.3.5 孕育剂、球化剂	14
1.3.6 化验试剂	14
1.3.7 其他材料	14

第 2 章 熔炼用化工原料

2.1 熔渣的作用、性质、组成	16
2.1.1 熔渣（炉渣）的作用	16
2.1.2 熔渣的化学、物理性质	17
2.1.3 熔渣的组成	32
2.1.4 熔渣中的非金属夹杂物	33
2.2 造渣、除渣	36

2.2.1 熔炼过程的物化冶金原理	36
2.2.2 稀土元素在铸钢中的应用	45
2.2.3 造渣材料	49
2.2.4 氧化材料	50
2.3 熔炼用化工原料	51
2.3.1 化工原料与金属熔体的反应	51
2.3.2 造渣材料及应用	54
2.3.3 去渣剂、覆盖剂	58

第3章 实型铸造造型材料和感应电炉炉衬材料

3.1 实型铸造造型材料	60
3.1.1 硅砂	60
3.1.2 镁橄榄石砂	62
3.1.3 非硅质砂及人造砂的应用和发展	64
3.2 中频炉炉衬材料	70
3.3 感应电炉炉衬材料及打结	72
3.3.1 常用的耐火材料和打结方法	73
3.3.2 打结（捣制）感应电炉炉衬（埕埭）的实例	73
3.4 碳化硅的应用	77

第4章 铸造涂料

4.1 铸造涂料的性能要求和组成	81
4.1.1 铸造涂料的性能要求	81
4.1.2 涂料的组成	82
4.2 主要原辅材料的性质	82
4.2.1 耐火粉料	82
4.2.2 载液	93

4.2.3	悬浮剂	94
4.2.4	黏结剂	101
4.2.5	助剂	109
4.3	涂料的制备和使用	114
4.3.1	涂料的制备	114
4.3.2	涂料的使用	120
4.4	涂料的质量控制	123
4.4.1	质量控制的几个部分	123
4.4.2	一些性能的检测方法	124
4.5	涂料的最新进展	129
4.5.1	铸造干粉涂料的研制	129
4.5.2	铸造涂料中的新材料——硅微粉	131
4.5.3	粉末态水溶性聚丙烯酸钠树脂在铸造上的应用	133
4.5.4	铸铁件消失模水基涂料加锂辉矿粉的使用	134
4.5.5	改性 α -淀粉黏结剂在铸造生产中的应用	137
4.5.6	铸造用氯化镁/ α -淀粉复合黏结剂	143
4.5.7	消失模白模专用黏结剂	144
4.5.8	庐江地开石的性质及其在铸造中的应用	155
4.5.9	凹凸棒石及其在铸造中的应用	162
4.5.10	氧化铁及其在铸造中的应用	170
4.5.11	铬铁矿砂在铸造生产中的应用	175
4.5.12	聚渣覆盖剂及其开发	179
4.5.13	增碳剂的选择与使用	185
4.5.14	保温发热原料及保温冒口	190

第5章 砂芯、辅助化工材料以及着色

5.1	修补砂、修补膏	193
-----	---------------	-----

5.1.1	修补砂	193
5.1.2	修补膏	194
5.2	砂芯胶合剂	194
5.3	脱模剂、分型剂、引气剂	196
5.3.1	脱模剂	196
5.3.2	分型剂	197
5.3.3	引气剂	197
5.4	洗涤剂、防锈剂	197
5.5	铸铜艺术品的表面处理	198
5.5.1	氧化着色工艺	199
5.5.2	古铜色镀覆处理	202

参考文献

第1章

概 述

铸造是一种液态金属或合金（两种或两种以上的金属，或金属与非金属熔合在一起，得到的具有金属特性的物质称为合金）成型的方法。各种铸造合金在熔炼成型的过程中与一些化工原料有着密切的关系，在这些化工原料的参与反应下进行物化、矿化和粘合等作用，获得不同合金，经熔炼及各种相对应的成型方法生产出合格的铸造产品——铸件。

1.1 铸造合金

常用的铸造合金材料中，黑色金属是以铁元素为基础再加上其他合金元素组成的合金，为钢铁材料，其中碳元素是最主要的元素，也是钢和铁的分界元素，含碳 2.08% 以下为钢，大于 2.08% 为铁，含碳量在 1.00%~2.08% 之间的物质，以前很少用，近来随着合金元素的开发，对其作用有了进一步了解，如可作变质剂、孕育剂、球化剂、蠕化剂等。随着熔炼设备的改进和工艺不断提高，以及检测仪器不断完善，为了获得某种特定的力学性能，可将

铸钢铸铁化、将铸铁铸钢化，在化学元素的作用下，取得综合钢铁基体和性能（即铸钢中呈现铸铁常见基体，反之铸铁中呈现铸钢基体）；有色金属或非铁合金（金属）常用的有铸铝、铸铜、铸锌、轴承合金（巴氏合金）、铸镁合金（最近发展很快）等，还有铸钛合金等。

铁合金（黑色）或非铁合金（有色）为了获得其应用性能，常常以化学成分、熔炼和处理、冷却速度来控制基体，达到其力学性能，而化工原料（化学元素）起着很大作用。

(1) 铸钢及其熔炼

① 铸钢的分类。铸钢可以按化学成分、金相组织、熔炼方法、用途分类，如表 1-1、如图 1-1 所示。

② 铸钢的熔炼。炼钢是铸造生产过程中的一个重要环节，钢液的质量直接影响着铸钢件的质量。铸钢件的力学性能在很大程度上取决于熔炼过程中对化学成分的控制；铸钢件的许多铸造缺陷，

表 1-1 铸钢的类型

类 型	基 本 概 念
碳素钢	含 C<2.0% 的铁-碳合金，通常称碳素钢。在碳素钢中，据需要须保持一定 Si(硅)、Mn(锰)含量，还存在 P(磷)、S(硫)、O ₂ 、H ₂ 、N ₂ 等杂质，简称碳钢
低碳钢	C≤0.25% 的碳钢
中碳钢	C 为 0.25%~0.60% 的碳钢
高碳钢	C>0.60% 的碳钢
合金钢	钢中加入合金元素，通常加入的合金元素主要是 Si、Mn、Mo、W(钨)、V(钒)、Cr(铬)、Ni(镍)、Ti(钛)、Co(钴)、Cu(铜)、Al(铝)、N(氮)、Nb(铌)、B(硼)等；或碳钢中 Si、Mn 含量超过正常范围：Si>0.5%、Mn>0.8% 时，称为合金钢
低合金钢	合金元素总量(不计 C)在 5% 以下
中合金钢	合金元素总量(不计 C)在 5%~10% 之间
高合金钢	合金元素总量(不计 C)在 10% 以上，又常按性能或专用名称称呼，如不锈钢(ZGCr18Ni9Ti)，高速钢(ZGW18Cr4V)

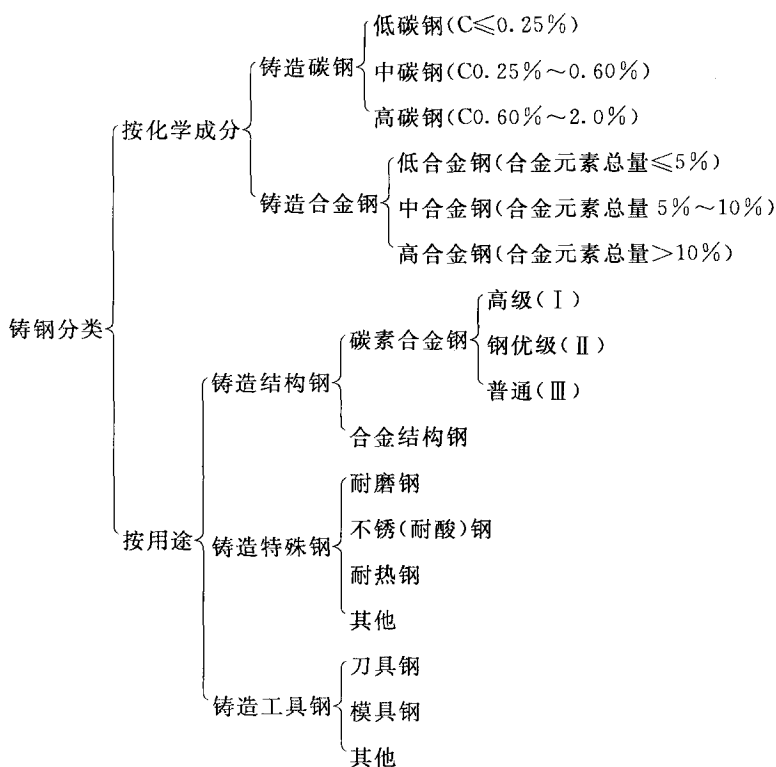


图 1-1 铸钢分类

如气孔、夹渣、夹杂、热裂等，也都与钢液质量有关。因此，要保证铸钢件的质量，必须保证炼好钢液的质量。炼钢不仅是熔化炉料，而且还是复杂的物化、冶金过程，需控制这些过程反应，以达到炼钢的目的：

- a. 将固体炉料（生铁、废钢等）熔化成钢液。
- b. 将钢液中的 Si、Mn、C（冶炼合金钢时，还包括加合金元素）的含量，炼到规格范围之内。
- c. 除去钢液中的有害元素 S 和 P。将含 S、P 量降低到规格限度以下。
- d. 清除钢液中的非金属夹杂物和气体（ H_2 ），使钢液纯净。
- e. 提高钢液温度，保证浇注的需要。

炼钢的方法很多,有平炉炼钢、转炉炼钢(氧气顶吹转炉炼钢、氧气底吹转炉炼钢)、电弧炉炼钢(碱性、酸性)、感应电炉炼钢(有芯、无芯,高频、中频、低频)和真空感应电炉炼钢及电渣重熔、盛钢桶吹氩处理、氩氧脱碳和真空氩氧脱碳、等离子炉炼钢等方法。为了解决以下问题:净化钢液,冶炼低碳钢液($C < 0.08\%$, $< 0.03\%$, $< 0.01\%$)。一般的电弧炉冶炼条件难以满足要求,必须寻求新技术新方法。

(2) 铸铁及其熔炼

① 铸铁的分类。含碳量在 $2.11\% \sim 6.69\%$ 的铁碳合金,具有优良的铸造性能,有一定的力学性能和良好的减震性、耐磨性,切削加工性能好,缺口敏感性小,加入少量的合金元素还可以使铸铁具有某些特殊的性能。而工业上用的铸铁是以 Fe、C、Si 为基础的复杂的多元合金,C 含量在 $2.0\% \sim 4.0\%$ 范围内,还有 Mn、P、S 等主要元素。

铸铁分类的方法较多,较为常用和方便的是将铸铁分为七类,见表 1-2。

② 铸铁的熔炼。各类铸铁都是将多种金属炉料搭配熔炼而成,每千克铸铁预热、熔化,并过热到 1550°C ,至少需约 1381kJ 热量,各阶段所需热量,预热至 1200°C 占 58% ,熔化至 1200°C 占 20% ,过热至 1550°C 占 22% 左右。对铸铁熔炼的主要要求:

- a. 铁液出炉温度 $\geq 1500^{\circ}\text{C}$;
- b. 符合铸铁材质牌号,国标成分要求、规范,碳当量 CE 值控制在 $\pm 0.1\%$ 以内;
- c. 根据对铁液质量要求,应为低 P、低 S、含气量低的铁液,对于球墨铸铁处理后应控制 $S \leq 0.01\%$, $P \leq 0.06\%$, $(\text{O}_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2) < 0.05\%$;
- d. 要保证有充足和适时的铁液量的供应;

表 1-2 铸铁的分类

类 别	组织特征	断口特征	成分特征	性能特征
工程结构件用铸铁	灰铸铁 (普通灰铸铁) (高强度灰铸铁)	基体+片状石墨	灰口	仅含 C、Si、Mn、P、S 五元素或外部少量合金元素 $\sigma_b: 150 \sim 400 \text{MPa}$ 基本上无塑性
	球墨铸铁	基体+球状石墨	灰口(银白色断口)	① 普通五元素或外加入不同量的合金元素 ② $\text{Mg}_{\text{总}} \geq 0.03\%$, $\text{RE}_{\text{总}} \geq 0.02\%$ $\sigma_b: 400 \sim 900 \text{MPa}$ $\delta: 2\% \sim 20\%$ $a_k: 15 \sim 120 \text{J/cm}^2$
	蠕墨铸铁	基体+蠕虫状石墨(往往伴有球状石墨)	灰口(斑点状断口)	同球墨铸铁, 但 $\text{Mg}_{\text{总}}$ 及 $\text{RE}_{\text{总}}$ 量可稍低 σ_b, δ 比球墨铸铁低, 但高于灰铸铁
	可锻铸铁 (黑心)	生坯: 珠光体+莱氏体 退火后: 基体+团絮状石墨	生坯: 白口 退火后: 灰口(黑色绒状断口)	低碳、低硅、铬 $< 0.06\%$ $\sigma_b: 300 \sim 700 \text{MPa}$ $\delta: 2\% \sim 12\%$
特殊用途铸铁	抗磨铸铁	基体+不同类型的渗碳体	白口(中锰铸铁及冷硬铸铁例外)	除五元素外, 可加入低、中、高量合金元素 主要有高的抗磨性能, 但硬度较低
	耐热铸铁	基体+片状或球状石墨	灰口	有 Si、Al、Cr 系(中硅、高铝、中硅铝、高铬等铸铁) 有高的耐热性及抗氧化性能, 但强度较低、较脆
	耐腐蚀铸铁	基体+片状或球状石墨	灰口	主要合金元素 Si、Ni 含量高 主要有高的耐腐蚀性能

e. 能耗低和熔炼费用低;

f. 注重环保, 噪声和排放的污染物质严格控制在法定的范围内, 噪声 $\leq 85 \text{dB}$, 烟尘及生产性粉尘 $\leq 200 \text{mg/m}^3$;

g. 其他特殊的要求。

其熔炼炉类型较多, 有冲天炉(小型三节炉)、非焦(煤粉、油、天然气)冲天炉、电炉(三相电弧炉、感应电炉)、反射炉、坩埚炉等。

冲天炉是应用最广泛的一种，具有结构简单，设备费用少，电能消耗低，生产率高，成本低，操作和维修方便，并能连续进行生产（尤其是无炉衬水冷冲天炉）等许多优点。

电炉是现代重要的铸铁熔炼炉之一，它可以准确地控制铸铁成分和获得高温铁液，具有铁液质量好、劳动强度低、环境污染少等一系列优点，能适应和满足现代铸铁生产的要求，并为获得优质铸件创造良好条件，尤其是废钢铁切屑作为原料时更具有优势。

在世界铸铁总产量中，用冷风冲天炉、热风无炉衬冲天炉和电炉的熔炼比例为 3 : 4 : 3。通常据铸铁液用量可采用单台、双台或多台冲天炉熔炼（冲天炉熔量按标准可选 T/H 或生产率）。冲天炉-电炉双联，能充分发挥各自熔炉的特点，取长补短，综合运用。

选择铸铁熔炉类型时，通常应考虑的因素如下：

- 铸铁铸件的材质类型和质量要求；
- 生产规模和条件；
- 能源和金属炉料的供应状况；
- 投资能力和熔炼铸铁成本；
- 工业卫生和对环境污染的限制。

一般来说，单件小批和成批生产多采用单炉熔炼；普通灰铸铁和可锻铸铁多用冲天炉；大批量机械生产多用双联；合金铸铁多用电炉。

冲天炉和电炉主要技术经济指标比较见表 1-3。

表 1-3 冲天炉和电炉主要技术经济指标比较

技术 指 标	冲 天 炉		无芯感应电炉		电 弧 炉
	两排大间距冲天炉	密封式水冷冲天炉	中 频	工 频	
能量消耗(每吨液态金属)	<125kg 焦炭	<150kg 焦炭	<700kW·h	<700kW·h	<600kW·h

续表

技术指标	冲天炉		无芯感应电炉		电弧炉
	两排大间距冲天炉	密封式水冷冲天炉	中频	工频	
热效率					
总的	0.32~0.42	0.30~0.40	0.70	0.62~0.68	0.55
用于熔化	0.40~0.60	0.40~0.60	0.60	0.50	0.60~0.70
用于过热	0.06~0.08	0.05~0.07	0.69~0.74	0.65~0.70	0.25
金属的总烧损量/%	6~8	7	2~3	2~3	5
炉渣量/(kg/t)	120~150	100~120	10~15	10~15	70~90
废气中含尘量/(kg/t)	10~18	10~18	0.3	0.3~0.35	5~10
烟气排出量/(m ³ /t)	<1000	<1000	<30	<30	<60
噪声声压级/dB	<80	<80	<70	<70	<90
温度控制(在一定温度下保温)	受限制	受限制	能控制 (装料时)	能控制 (装料时)	能控制
不合标准的返回金属料利用情况	受限制	受限制	受限制	受限制	能利用

(3) 铸造有色(非铁)合金 常用铸造有色合金分五大类: 铝合金、铜合金、镁合金、锌合金、轴承合金, 铝合金、铜合金和镁合金(最近发展快)应用最为广泛。

① 铸造铝合金。常含有合金元素硅(Si)、铜(Cu)、镁(Mg)、锌(Zn)、锡(Sn)和其他一些元素, 如铬(Cr)、锰(Mn)、镍(Ni)、铍(Be)、锆(Zr)、钛(Ti)等。

按合金所含基本合金元素的不同, 常分为四大类: 铸造铝-硅合金、铸造铝-铜合金、铸造铝-镁合金和铸造铝-锌合金。

各种代号的铝合金, 其化学成分和杂质含量按国标和要求配料熔炼生产。

② 铸造铜合金。具有很高的导电、导热性能及良好的塑性, 仅次于金和银。青铜、黄铜及其他铜合金, 比钢、铁具有更高的耐蚀性能和力学性能, 是现代工业不可缺少的金属合金铸造

材料。

铜及铜合金按成分分类如下。

- a. 紫铜（纯铜）。
- b. 青铜：锡青铜，无锡青铜。
- c. 黄铜：普通黄铜，特殊黄铜。
- d. 白铜（铜镍合金）。

其中紫铜和白铜主要用于压力加工；而青铜和黄铜又可分为铸造用和压力加工用。铸造用铜合金按常用的化学成分标准和用户的要求进行生产。

③ 铸造镁合金。随着工业化的进展，航天航空工业的发展使镁合金的使用有了开拓伸展。

铸造镁合金的特点（优点和缺点）：

- a. 密度小（比铝合金轻 1/3，铸造性能比铝合金差）；
- b. 比强度高（仅次于钛合金和高强度钢），熔炼工艺比铸铝、铸铜要复杂；
- c. 与同重量梁的刚性比，为铝的 2 倍，钢的 18.9 倍，屈服强度较低；
- d. 有承受冲击载荷的能力，但缺口敏感性较高；
- e. 切削加工性能良好，有害气体的存在危害严重；
- f. 对碱类的耐腐蚀性较高，在潮湿的有酸性大气条件下耐腐蚀性较低。

铸造镁合金的主要特性及其用途见表 1-4。

表 1-4 铸造镁合金的主要特性及其用途

合金牌号	主要特性	耐腐蚀性能	用途举例
ZM-1	铸造性能尚好，线收缩率为 1.3%~1.5%，流动性较好，热裂倾向性大，不可以焊接，但抗拉强度和屈服极限高，力学性能的壁厚效应小	耐腐蚀性能很好	要求高强度和高屈服强度的受冲击载荷大的零件，如飞机轮毂、轮缘、隔框、支架等

续表

合金 牌号	主 要 特 性	耐腐蚀 性能	用 途 举 例
ZM-2	铸造性能良好,线收缩率为1.3%~1.5%,流动性较好,缩松轻微,不易热裂。可以焊接,室温力学性能较 ZM-1 低,高温力学性能较好	耐腐蚀 性能 良好	在 200℃ 下工作的发动机零件及要求较高屈服强度的零件,如发动机机闸、整流仓、电机壳体等
ZM-3	铸造性能良好,线收缩率为1.2%~1.5%,流动性尚好,无缩松现象,热裂倾向性较小,可以焊接,气密性比 ZM-5 好,且在 200~260℃ 下有良好的抗蠕变性能和瞬时强度,室温、高温力学性能不高	耐腐蚀 性能 良好	250~300℃ 的零件和气密性的零件,如发动机、增压机闸、压缩机闸、扩散器壳体、燃烧室罩、进气道等
ZM-5	铸造性能好,线收缩率为1.1%~1.2%,流动性好,热裂倾向性小,可以焊接,有较小的缩松,但力学性能的壁厚效应较大	耐腐蚀 性能 良好	飞机、发动机、仪表及其他结构的高负荷零件,如飞机机舱连接隔框、仓内隔板、刹车机轮轮毂、增压机闸等

1.2 铸造的铸型

各类液态金属(合金)成型的方法中,用得最普遍的是砂型铸造,铸件的生产批量大小,铸件的形状、尺寸、重量和合金的品种(种类)均不受限制。科学技术、生产水平的不断提高,人类社会活动的需要均对铸件有了更高、更新、更严格的要求:

① 需要大批量、高质量、稳定划一的铸件,且表面要光洁,尺寸精度、内在质量、力学性能更加提高;

② 生产工艺要简化,生产周期要短,便于实现生产工艺过程机械化、自动化,提高生产率,改善劳动条件;

③ 降低生产成本,减少原材料的消耗。

为了使铸造生产满足上述的要求,发明了许多新的铸造方法,有别于普通砂型铸造,把这些新的铸造方法统称为特种铸造。最常