

緒 論

鑄鋼是一種重要的金屬結構材料，它在現代機械製造業中應用的範圍非常廣泛。許多機器的重要零件的毛坯都是鑄鋼的。特別是在重型機械製造業中，如軋鋼、鍛壓、起重運輸、發電、礦山、石油、化工等的主要設備中，有不少零件是用鑄鋼件加工出來的。近來由於精密鑄造的發展，許多細小而精密的零件，如金屬切削加工用的刀夾具和自行車、汽車、拖拉機等機器中若干小零件已由鍛鋼件改為鑄鋼件進行大量生產。至於國防工業和現代尖端科學技術中，如原子能發電站，噴氣式飛機和火箭中某些特殊鋼材製成的零件，甚至只能用鑄造的方法來製造。

與鑄鐵比較：鑄鋼所具有的機械性能，物理性能和某些特殊性能比鑄鐵高得多，特別是在既具有較高的強度，又具有較高的塑性及衝擊韌性方面是鑄鐵所不及的。例如：一般灰鑄鐵的抗拉強度只有 20 公斤/毫米²，幾乎沒有延伸率，而衝擊韌性也只有 0.5~1.5 公斤米/厘米²；現代高強度球墨鑄鐵的抗拉強度一般為 45~75 公斤/毫米²，延伸率為 2~20%，衝擊韌性為 3.5~8 公斤米/厘米²；而碳素鑄鋼的抗拉強度可達 90 公斤/毫米²，延伸率可達 40%，衝擊韌性為 8~15 公斤米/厘米²①；而某些合金鑄鋼的抗拉強度高達 135 公斤/毫米²，延伸率為 35~75%，衝擊韌性為 20~30 公斤米/厘米²。至於物理及化學性能方面，如耐熱，耐酸，導電，導磁等性能則比鑄鐵好，特別值得指出的是鑄鋼的焊接性能好，因此鑄件的缺陷容易修補。由於目前電渣焊的發展，使“以小拼大”和各種複合工藝的應用成為可能，從而為重型機械製造創造了新的途徑。

但是，必須認識到鑄鋼還是一種比較貴重的材料，它使用的原材料比鑄鐵要求高，生產過程及使用的設備較複雜，鑄造性能較差，生產周期較長，鑄鋼的成本比鑄鐵高，而且它的生產率也是比較低的。因此，如何採用以鑄代鍛，以鐵代鋼的措施，實現對鋼材的節約代用，就成為機械設計和鑄造工作者在選用材料方面一個新的課題了。必須不斷提高鑄鐵件的质量，擴大它的使用範圍，使用鑄鐵來代替鑄鋼材料，使鍛件及鑄鋼件用到最迫切需要的零件上去（如大型、精密及特种性能要求的機器零件）。因此採用這一措施進行工作具有很大的意義。就數量上來說，目前的事實已經證明鑄鋼件在機械製造業所占的比重次於鑄鐵，根據國外資料：鑄鋼占全部鑄件的（1950~1956 年平均値）8% 左右，儘管鑄鋼件在整個鑄造生產中所占比例不大，但是由於它具有某些特點，它在機械製造業中仍然占有重要的地位。

鑄鋼件生產的歷史，在世界各國中，都是比較短的，十九世紀中葉由於大量液體鋼水可以獲得，就使生產鑄鋼件才成為可能。隨着冶金工業的發展，鑄鋼件的生產得到了迅速的擴大與提高，並成功地解決了大量生產中一些機械化與某些工序的自動化問題，特別是在大件生產方面取得了巨大的成就，目前已生產的世界上最大的鋼鑄件淨重達 257 噸②。由於精密鑄造的發展使得輕達几克的精密鋼鑄件也能大量地進行生產。在使用合金方面已不局限於一般碳素鋼了，許多低合金鋼，高合金鋼，甚至某些必須特殊處理的合金鋼種已能成功地進行熔煉與鑄造。值得特別指出的是：國外在利用多元合金來提高合金鋼的強度，減少合金

① 上述性能并非指同一鑄件。

② 根據 1956 年資料。



元素用量方面获得了很大的成就,如苏联成功地利用锰特别是铜代替貴重合金元素镍,用锡或铜代替钼,此外铸钢的孕育处理也有了很大的发展,如利用钨、铅、硼、镁及钙来清除钢的疵病和纯洁钢的晶界以及提高合金钢的塑性具有明显的效果。

为了获得较高的机械,化学,物理及铸造性能的钢种,今后必须在使用各种孕育剂;改善热处理方法和降低钢中有害杂质等方面作更大的努力,同时必须大力发展真空技术,以适应新技术对某些特殊钢种的需要。

我国是世界钢铁冶金起源地之一,铸造生产技术在具有几千年的悠久历史。我们的祖先在钢铁生产与铸造方面也有过光辉的创造,然而在漫长的封建社会中,生产力的发展和技术进步是极为缓慢的。近百年来,由于帝国主义的侵略以及封建势力和国民党反动派的残酷统治,使得我国机械制造业异常落后,因此仅有生产规模很小。设备简陋,技术落后,劳动条件恶劣的修配性质的铸造生产,并且也只是为帝国主义掠夺我国资源而服务的,同时又完全操纵在帝国主义和国内反动派手中。在钢铁生产方面,直到1890年建成汉阳钢铁厂,才出现了现代炼钢工业。

铸钢生产更是迟于1933年开办的上海大鑫钢铁厂才开始生产,该厂设有小型电炉,承受沪上造船厂,汽车公司等单位的铸钢配件生产,其他如东北地区为帝国主义所控制的机车修理厂也有少量铸钢件的生产。

解放以后,在党的领导下,我国机械制造业迅速由恢复走向发展,由修配转变到制造,由制造一般机器过渡到制造大型,精密和成套的技术设备,铸钢件的生产,配合机械制造业的需要,和铸铁件,有色金属铸件一样,获得了空前的发展。全国各大工业区都有铸钢件的生产,不少工厂,如矿山,机车、汽车、拖拉机、汽轮机,造船和重型机器制造厂都有铸钢车间。其中采用了转炉电弧炉,平炉和高周波感应电炉进行碳素钢和各种合金钢的熔炼。特别是1958年大跃进以来,我国人民在党的“鼓足干劲、力争上游,多、快、好、省地建设社会主义”总路线的光辉照耀下,在以钢为纲,全面跃进和全国技术革新,技术革命运动形势的推动下,我国铸钢生产有了更大的发展和提高。

在铸钢生产技术方面,我国最近几年来发展也很快。1958年我国已能成功地进行生产大型水轮机转子和水压机机座等重型钢铸件。

在铸钢合金及熔炼方面早已不限于碳素钢和低合金钢的生产了,就是中合金钢和高合金钢熔炼与铸造也有了很大的发展与提高。最近几年来,寻找适合我国资源特点的合金钢代用材料方面也取得了巨大的成绩。在炼钢技术方面,我国也有了新的创造与发展,例如:我国创造性地使用了侧吹碱性转炉炼钢法和转炉——电炉混合炼钢法等并使之扩大应用于铸钢件的生产。

以上例子说明:我国在铸钢件生产方面随机械制造业发展已进入到新阶段。解放后十一年来铸造事业在党的领导下所取得的成就是巨大的。现在,我们正满怀信心沿着总路线,大跃进和人民公社三面红旗光辉照耀下,为发展与提高铸造生产科学技术水平而不懈地努力。

目次

結論	5
第一篇 鑄 鋼	
第一章 鑄鋼的結晶	8
§ 1 鑄鋼的一次結晶	8
1) 鋼水的主要物理——化學性質對鑄件 一次結晶的影響	8
2) 場的影響	11
3) 鑄造條件的影響	17
§ 2 鑄鋼的二次結晶	17
1) 魏氏組織	18
2) 影響二次結晶過程的因素	18
第二章 碳素鑄鋼	20
§ 1 碳素鑄鋼的分類和一般特性	20
§ 2 碳素鑄鋼的機械性質	21
1) 化學成份的影響	22
2) 鑄造工藝的影響	25
3) 熔煉工藝的影響	30
4) 熱處理的影響	31
5) 溫度的影響	35
§ 3 碳素鑄鋼的鑄造性質	36
1) 流動性	36
2) 鋼中的氣體	37
3) 鋼的收縮	39
4) 鋼的熱裂	40
§ 4 石墨鋼	43
1) 石墨鋼的機械性質	43
2) 石墨鋼的鑄造性質	45
3) 石墨鋼鑄件的熱處理	46
第三章 鑄造合金鋼	48
§ 1 低合金結構鑄鋼	49
1) 鉍結構鑄鋼	49
2) 硅結構鑄鋼	50
3) 鉻結構鑄鋼	52
4) 鉍和鋼結構鑄鋼	53
5) 鎳結構鑄鋼	54
6) 鎳鉻結構鑄鋼	55
7) 多元合金結構鑄鋼	57
8) 硼結構鑄鋼	59
§ 2 特殊性質的鑄鋼(高合金鑄鋼)	60
1) 高鉻鋼	60
2) 奧氏體耐酸鋼(18/8型鉻鎳鋼)	69
3) 耐熱鋼(高鉻、高鉍和 J41 型耐熱鋼)	77
4) 鑄造刀具鋼	86
第二篇 鑄鋼的熔煉	
第四章 煉鋼用原材料	91
§ 1 煉鋼常用的耐火材料	91
1) 酸性耐火材料	91
2) 中性耐火材料	92
3) 碱性耐火材料	93
§ 2 煉鋼用的主要金屬材料	96
§ 3 脫氧劑與鐵合金	97
§ 4 氧化劑與增碳劑	102
1) 氧化劑	102
2) 增碳劑	102
§ 5 造渣材料	103
1) 石灰石	103
2) 石灰	103
3) 螢石	103
4) 鐵鎂土	103
5) 生粘土	103
6) 石英砂	104
第五章 轉爐煉鋼	105
§ 1 轉爐的結構	105
1) 直筒形轉爐的構造	105
2) 漏鼓形轉爐(側吹)的構造	107
§ 2 側吹酸性轉爐煉鋼法	108
1) 側吹酸性轉爐煉鋼法概述	108
2) 側吹酸性轉爐煉鋼的基本原理	110
3) 側吹酸性轉爐煉鋼法工藝	117
§ 3 側吹碱性轉爐煉鋼法	127
1) 側吹碱性轉爐煉鋼法概述	127
2) 側吹碱性轉爐煉鋼工藝特點	128
3) 側吹碱性轉爐煉鋼法在異型 鋼中的應用	135
4) 合金鋼的熔煉	135
§ 4 轉爐煉鋼的強化	136
1) 富氧送風	136
2) 轉爐純氧煉鋼	138
第六章 電弧爐煉鋼	139
§ 1 電弧爐的構造	139

1) 炉体结构	139
2) 电气设备	141
§ 2 碱性电弧炉炼钢	142
1) 氧化法熔炼	142
2) 不氧化法熔炼(返回法)	172
§ 3 酸性电弧炉炼钢	173
1) 补炉与装料	174
2) 炉料的熔化	175
3) 氧化期	175
4) 还原期	176
§ 4 电弧炉炼钢的强化	178
1) 电炉吹氧炼钢	178
2) 煤气——氧气助熔炼钢法(三气炼钢)	180
3) 电磁搅拌器强力搅拌熔池中的钢水	180
§ 5 炉前检验	182
1) 钢水温度的测定	182
2) 钢水中含碳量的测定(观碳)	182
3) 钢水中含硅量的测定	183
4) 钢水脱氧质量的判断	183

第七章 无铁心高频感应电炉炼钢185

§ 1 感应电炉基本工作原理	185
§ 2 感应电炉的结构及炉衬	186
§ 3 感应电炉的熔炼	189
1) 装料	189
2) 熔化	189
3) 精炼	190
§ 4 真空冶炼	191

第八章 平炉炼钢193

§ 1 炉子的构造和工作原理	193
1) 熔化室	194
2) 前墙和后墙	195
3) 炉顶	195
§ 2 碱性平炉熔炼的特点	195
1) 装料	195
2) 熔化	196
3) 精炼	197
4) 脱氧与出钢	198
§ 3 酸性平炉熔炼的特点	198
1) 酸性平炉的原材料	199
2) 酸性平炉熔炼操作	200
§ 4 提高平炉生产率途径	206
1) 炉头喷射压缩空气	200
2) 煤气蓄热室地沟通道灰法	200
3) 氧气的利用	201
4) 压缩空气的利用	201

第九章 联合炼钢和混合炼钢202

§ 1 联合炼钢	202
1) 双联法	202
2) 三联法	203
§ 2 混合炼钢	204
1) 转炉——电炉混合炼钢	204
2) 平炉——电炉混合炼钢	205
3) 电炉——电炉混合炼钢	207
4) 同炉混合炼钢	207

目 次

結 論	5
-----------	---

第一篇 鑄 鋼

第一章 鑄鋼的結晶	8
§ 1 鑄鋼的一次結晶	8
1) 鋼水的主要物理——化學性質對鑄件 一次結晶的影響	8
2) 場的影響	11
3) 鑄造條件的影響	17
§ 2 鑄鋼的二次結晶	17
1) 魏氏組織	18
2) 影響二次結晶過程的因素	18
第二章 碳素鑄鋼	20
§ 1 碳素鑄鋼的分類和一般特性	20
§ 2 碳素鑄鋼的機械性質	21
1) 化學成份的影響	22
2) 鑄造工藝的影響	25
3) 熔煉工藝的影響	30
4) 熱處理的影響	31
5) 溫度的影響	35
§ 3 碳素鑄鋼的鑄造性質	36
1) 流動性	36
2) 鋼中的氣體	37
3) 鋼的收縮	39
4) 鋼的熱裂	40
§ 4 石墨鋼	43
1) 石墨鋼的機械性質	43
2) 石墨鋼的鑄造性質	45
3) 石墨鋼鑄件的熱處理	46
第三章 鑄造合金鋼	48
§ 1 低合金結構鑄鋼	49
1) 鉍結構鑄鋼	49
2) 硅結構鑄鋼	50
3) 鉻結構鑄鋼	52
4) 鉍和鉻結構鑄鋼	53
5) 鎳結構鑄鋼	54
6) 鎳鉻結構鑄鋼	55
7) 多元合金結構鑄鋼	57
8) 硼結構鑄鋼	59
§ 2 特殊性質的鑄鋼(高合金鑄鋼)	60
1) 高錳鋼	60
2) 奧氏體耐酸鋼(18/8型鉻鎳鋼)	69
3) 耐熱鋼(高鉻、高鉍和 J1A1 型耐熱鋼)	77
4) 鑄造刀具鋼	86

第二篇 鑄鋼的熔煉

第四章 煉鋼用原材料	91
§ 1 煉鋼常用的耐火材料	91
1) 酸性耐火材料	91
2) 中性耐火材料	92
3) 鹼性耐火材料	93
§ 2 煉鋼用的主要金屬材料	96
§ 3 脫氧劑與鐵合金	97
§ 4 氧化劑與增碳劑	102
1) 氧化劑	102
2) 增碳劑	102
§ 5 造渣材料	103
1) 石灰石	103
2) 石灰	103
3) 螢石	103
4) 鐵鎢土	103
5) 生粘土	103
6) 石英砂	104
第五章 轉爐煉鋼	105
§ 1 轉爐的結構	105
1) 直筒形轉爐的構造	105
2) 漏鼓形轉爐(側吹)的構造	107
§ 2 側吹酸性轉爐煉鋼法	108
1) 側吹酸性轉爐煉鋼法概述	108
2) 側吹酸性轉爐煉鋼的基本原理	110
3) 側吹酸性轉爐煉鋼法工藝	117
§ 3 側吹鹼性轉爐煉鋼法	127
1) 側吹鹼性轉爐煉鋼法概述	127
2) 側吹鹼性轉爐煉鋼工藝特點	128
3) 側吹鹼性轉爐煉鋼法在異型 鋼中的應用	135
4) 合金鋼的熔煉	135
§ 4 轉爐煉鋼的強化	136
1) 富氧送風	136
2) 轉爐純氧煉鋼	138
第六章 電弧爐煉鋼	139
1) 電弧爐的構造	139

1) 炉体结构	139
2) 电气设备	141
§ 2 碱性电弧炉炼钢	142
1) 氧化法熔炼	142
2) 不氧化法熔炼(返回法)	172
§ 3 酸性电弧炉炼钢	173
1) 补炉与装料	174
2) 炉料的熔化	175
3) 氧化期	175
4) 还原期	176
§ 4 电弧炉炼钢的强化	178
1) 电炉吹氧炼钢	178
2) 煤气——氧气助熔炼钢法(三气炼钢)	180
3) 电磁搅拌器强力搅拌熔池中的钢水	180
§ 5 炉前检验	182
1) 钢水温度的测定	182
2) 钢水中含碳量的测定(观碳)	182
3) 钢水中含硅量的测定	183
4) 钢水脱氧质量的判断	183

第七章 无铁心高频感应电炉炼钢185

§ 1 感应电炉基本工作原理	185
§ 2 感应电炉的结构及炉衬	186
§ 3 感应电炉的熔炼	189
1) 装料	189
2) 熔化	189
3) 精炼	190
§ 4 真空冶炼	191

第八章 平炉炼钢193

§ 1 炉子的构造和工作原理	193
1) 熔化室	194
2) 前墙和后墙	195
3) 炉顶	195
§ 2 碱性平炉熔炼的特点	195
1) 装料	195
2) 熔化	196
3) 精炼	197
4) 脱氧与出钢	198
§ 3 酸性平炉熔炼的特点	198
1) 酸性平炉的原材料	199
2) 酸性平炉熔炼操作	200
§ 4 提高平炉生产率途径	206
1) 炉头喷射压缩空气	200
2) 煤气蓄热室地沟通道吹灰法	200
3) 氧气的利用	201
4) 压缩空气的利用	201

第九章 联合炼钢和混合炼钢202

§ 1 联合炼钢	202
1) 双联法	202
2) 三联法	203
§ 2 混合炼钢	204
1) 转炉——电炉混合炼钢	204
2) 平炉——电炉混合炼钢	205
3) 电炉——电炉混合炼钢	207
4) 同炉混合炼钢	207

緒 論

鑄鋼是一種重要的金屬結構材料，它在現代機械製造業中應用的範圍非常廣泛。許多機器的重要零件的毛坯都是鑄鋼的。特別是在重型機械製造業中，如軋鋼、鍛壓、起重運輸、發電、礦山、石油、化工等的主要設備中，有不少零件是用鑄鋼件加工出來的。近來由於精密鑄造的發展，許多細小而精密的零件，如金屬切削加工用的刀夾具和自行車、汽車、拖拉機等機器中若干小零件已由鍛鋼件改為鑄鋼件進行大量生產。至於國防工業和現代尖端科學技術中，如原子能發電站，噴氣式飛機和火箭中某些特殊鋼材製成的零件，甚至只能用鑄造的方法來製造。

與鑄鐵比較：鑄鋼所具有的機械性能，物理性能和某些特殊性能比鑄鐵高得多，特別是在既具有較高的強度，又具有較高的塑性及衝擊韌性方面是鑄鐵所不及的。例如：一般灰鑄鐵的抗拉強度只有 20 公斤/毫米²，幾乎沒有延伸率，而衝擊韌性也只有 0.5~1.5 公斤米/厘米²；現代高強度球墨鑄鐵的抗拉強度一般為 45~75 公斤/毫米²，延伸率為 2~20%，衝擊韌性為 3.5~8 公斤米/厘米²；而碳素鑄鋼的抗拉強度可達 90 公斤/毫米²，延伸率可達 40%，衝擊韌性為 8~15 公斤米/厘米²①；而某些合金鑄鋼的抗拉強度高達 135 公斤/毫米²，延伸率為 35~75%，衝擊韌性為 20~30 公斤米/厘米²。至於物理及化學性能方面，如耐熱，耐酸，導電，導磁等性能則比鑄鐵好，特別值得指出的是鑄鋼的焊接性能好，因此鑄件的缺陷容易修補。由於目前電渣焊的發展，使“以小拼大”和各種複合工藝的應用成為可能，從而為重型機械製造創造了新的途徑。

但是，必須認識到鑄鋼還是一種比較貴重的材料，它使用的原材料比鑄鐵要求高，生產過程及使用的設備較複雜，鑄造性能較差，生產周期較長，鑄鋼的成本比鑄鐵高，而且它的生產率也是比較低的。因此，如何採用以鑄代鍛，以鐵代鋼的措施，實現對鋼材的節約代用，就成為機械設計和鑄造工作者在選用材料方面一個新的課題了。必須不斷提高鑄鐵件的质量，擴大它的使用範圍，使用鑄鐵來代替鑄鋼材料，使鍛件及鑄鋼件用到最迫切需要的零件上去（如大型、精密及特种性能要求的機器零件）。因此採用這一措施進行工作具有很大的意義。就數量上來說，目前的事實已經證明鑄鋼件在機械製造業所占的比重次於鑄鐵，根據國外資料：鑄鋼占全部鑄件的（1950~1956 年平均値）8% 左右，儘管鑄鋼件在整個鑄造生產中所占比例不大，但是由於它具有某些特點，它在機械製造業中仍然占有重要的地位。

鑄鋼件生產的歷史，在世界各國中，都是比較短的，十九世紀中葉由於大量液體鋼水可以獲得，就使生產鑄鋼件才成為可能。隨着冶金工業的發展，鑄鋼件的生產得到了迅速的擴大與提高，並成功地解決了大量生產中一些機械化與某些工序的自動化問題，特別是在大件生產方面取得了巨大的成就，目前已生產的世界上最大的鋼鑄件淨重達 257 噸②。由於精密鑄造的發展使得輕達几克的精密鋼鑄件也能大量地進行生產。在使用合金方面已不局限於一般碳素鋼了，許多低合金鋼，高合金鋼，甚至某些必須特殊處理的合金鋼種已能成功地進行熔煉與鑄造。值得特別指出的是：國外在利用多元合金來提高合金鋼的強度，減少合金

① 上述性能并非指同一鑄件。

② 根據 1956 年資料。

元素用量方面获得了很大的成就,如苏联成功地利用锰特别是铜代替貴重合金元素镍,用锡或铜代替钼,此外铸钢的孕育处理也有了很大的发展,如利用钨、铅、硼、镁及钙来清除钢的疵病和纯洁钢的晶界以及提高合金钢的塑性具有明显的效果。

为了获得较高的机械,化学,物理及铸造性能的钢种,今后必须在使用各种孕育剂;改善热处理方法和降低钢中有害杂质等方面作更大的努力,同时必须大力发展真空技术,以适应新技术对某些特殊钢种的需要。

我国是世界钢铁冶金起源地之一,铸造生产技术在我国具有几千年的悠久历史。我们的祖先在钢铁生产与铸造方面也有过光辉的创造,然而在漫长的封建社会中,生产力的发展和技术进步是极为缓慢的。近百年来,由于帝国主义的侵略以及封建势力和国民党反动派的残酷统治,使得我国机械制造业异常落后,因此仅有生产规模很小。设备简陋,技术落后,劳动条件恶劣的修配性质的铸造生产,并且也只是为帝国主义掠夺我国资源而服务的,同时又完全操纵在帝国主义和国内反动派手中。在钢铁生产方面,直到1890年建成汉阳钢铁厂,才出现了现代炼钢工业。

铸钢生产更是迟于1933年开办的上海大鑫钢铁厂才开始生产,该厂设有小型电炉,承受沪上造船厂,汽车公司等单位的铸钢配件生产,其他如东北地区为帝国主义所控制的机车修理厂也有少量铸钢件的生产。

解放以后,在党的领导下,我国机械制造业迅速由恢复走向发展,由修配转变到制造,由制造一般机器过渡到制造大型,精密和成套的技术设备,铸钢件的生产,配合机械制造业的需要,和铸铁件,有色金属铸件一样,获得了空前的发展。全国各大工业区都有铸钢件的生产,不少工厂,如矿山,机车、汽车、拖拉机、汽轮机,造船和重型机器制造厂都有铸钢车间。其中采用了转炉电弧炉,平炉和高周波感应电炉进行碳素钢和各种合金钢的熔炼。特别是1958年大跃进以来,我国人民在党的“鼓足干劲、力争上游,多、快、好、省地建设社会主义”总路线的光辉照耀下,在以钢为纲,全面跃进和全国技术革新,技术革命运动形势的推动下,我国铸钢生产有了更大的发展和提高。

在铸钢生产技术方面,我国最近几年来发展也很快。1958年我国已能成功地进行生产大型水轮机转子和水压机机座等重型钢铸件。

在铸钢合金及熔炼方面早已不限于碳素钢和低合金钢的生产了,就是中合金钢和高合金钢熔炼与铸造也有了很大的发展与提高。最近几年来,寻找适合我国资源特点的合金钢代用材料方面也取得了巨大的成绩。在炼钢技术方面,我国也有了新的创造与发展,例如:我国创造性地使用了侧吹碱性转炉炼钢法和转炉——电炉混合炼钢法等并使之扩大应用于铸钢件的生产。

以上例子说明:我国在铸钢件生产方面随机械制造业发展已进入到新阶段。解放后十一年来铸造事业在党的领导下所取得的成就是巨大的。现在,我们正满怀信心沿着总路线,大跃进和人民公社三面红旗光辉照耀下,为发展与提高铸造生产科学技术水平而不懈地努力。

第一篇 鑄 鋼

用于鑄件的鋼种很多,可以按三种特征来分类:化学成份、生产方法和鋼的物理——化学性质。其中以按鋼的化学成份分类最为适用,因为鋼的化学成份是影响鋼鑄件工艺性质和机械性质的主要因素。

按化学成份,鑄鋼可分为碳素鑄鋼和合金鑄鋼两类。碳素鑄鋼应用最广,因为它比较便宜和易于获得。合金鑄鋼也可以按合金元素的含量分为低合金、中合金和高合金三种。由于合金鑄鋼具有較高的使用性质,特别是高合金鑄鋼还具有某些特殊的物理——化学性质(例如耐腐蝕性、耐热性、耐磨性等),在发展尖端技术上将起到一定的作用。

按鋼的生产方法,鑄鋼分为轉炉鋼、电炉鋼和平炉鋼。根据熔炉的炉衬又分为酸性鋼和碱性鋼。

按鋼的物理——机械——化学性质鑄鋼分为結構鑄鋼、耐热鑄鋼、耐蝕鑄鋼和耐磨鑄鋼。

第一章 鑄鋼的結晶

鑄件冷卻時，金屬在凝固溫度範圍內進行一次結晶過程，依鋼的成份不同，結晶時形成奧氏體或 δ 鐵型鐵素體，後者在繼續冷卻時轉變為奧氏體。初晶奧氏體冷卻至 A_2 及 A_1 線的温度以下時，發生固態的重結晶，形成 α 鐵型的鐵素體(或二次滲碳體)及珠光體，某些高合金鋼，例如，高錳鋼和高鉻鋼等沒有二次結晶的過程。

一次結晶在一定程度上影響二次結晶。一次結晶不僅影響晶體的形狀和晶粒的尺寸，而且還決定了鑄件的某些缺陷：晶內和區域偏析；非金屬夾雜；熱裂，分散的和局部的縮松。二次結晶決定了鋼的金屬基體組織和鑄造應力。晶體形狀、晶粒尺寸、金屬基體組織及鑄件的某些缺陷等等都直接影響到鑄件的質量。

§1 鑄鋼的一次結晶

鑄件的一次結晶過程決定於液體金屬的結構，化學成份和溫度，及其澆注和隨後在鑄型中冷卻的條件，金屬和鑄型的這些性質會影響晶核的數量和分布，以及晶粒的生長方向和速度，因而也影響晶粒尺寸和形狀。總之，一次結晶過程是既決定於金屬的物理——化學性質，也決定於鑄型的工藝特性。

1) 鋼水的主要物理——化學性質對鑄件一次結晶的影響

鋼水的結構，化學成份和溫度的改變都會引起它的粘度和表面張力，熱含量和凝固的溫度範圍、擴散的能力、過冷等的改變，在研究影響結晶的主要因素時，首先必須研究鑄件中鋼的自發和非自發的結晶過程。

A. 鋼水的結構、化學成份和溫度對自發和非自發結晶的影響

鋼水的結晶過程，服從於結晶的一般規律：

(1) 溫度低於液相線溫度，即鋼水應具有一定的過冷度；

(2) 形成具有臨界尺寸的穩定晶核。晶核可分為自發的和非自發的兩類，而非自發的晶核又可分為殘留的和外加的。一般情況下，鋼水的結晶過程是以殘留的非自發晶核為主，

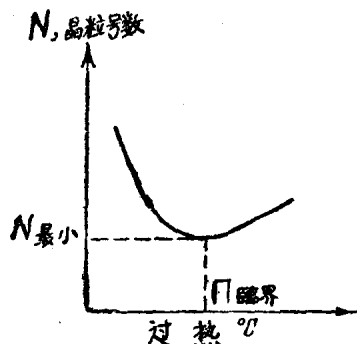


圖 1-1 過熱對鋼的一次結晶晶粒尺寸的影響

因為鋼水中在其實際上所能達到的過熱範圍以內總是存有各種固態的非金屬夾雜物和雜質的晶核。這些不同種類的晶核的影響取決於它們的數量和尺寸，只有當這些晶核具有一定的臨界尺寸和類似金屬的結晶晶格或者將金屬原子吸附在自身表面的能力時，它們才能作為結晶的中心。如果類似的晶核數較少，例如當金屬很純潔及高度過熱時，鋼水的一次結晶也可以主要是自發的。圖 1-1 表示過熱對於鋼的一次結晶晶粒尺寸的影響。從圖中看出，隨金屬溫度的升高，晶粒開始粗化(圖 1-1 曲線前半段)，然後晶粒又重新細化(圖 1-1 曲線後半段)。前者是因為引起非自發結晶的活性晶核數目的減少，後者是由於增加純化了的金屬過冷能力而增加自發晶核的數目。

实际上鋼水不可能过热到細化晶粒的程度,因为极高度的过热会导致鋼水氧化,大量吸气和增加收縮,这些都会給鑄件带来某些缺陷,故生产上往往采用加入微量合金元素即所謂孕育处理的方法,使鑄鋼晶粒細化。

5. 鋼的孕育处理

孕育处理是指在液体合金中人为的加入少量或微量的某些元素,以改变晶粒的形状和尺寸,从而改善鑄件的机械性质和其他性质。孕育处理作为調整金属組織的一种方法,首先在廿世紀初应用于用鈉处理鋁硅合金。在廿世紀廿年代至卅年代末发现鋼中加入鋁能調整奧氏体晶粒的尺寸。第二次世界大战后,鑄鉄的孕育处理得到很大的发展,最初在其中加入硅鉄或硅鈣,近十余年来改加入鎂或鈾可調整金属基体組織和石墨的特征。近年来,对鋼的孕育处理进行了很多工作,研究确定,在鋼中加入微量的鈾、鈣、鎂、鈦、硼等元素,可大大地改善鋼的机械性质,特別是鋼的塑性和韌性。

鋼中加入孕育剂,能引起其中发生复杂的物理——化学过程。根据近年来研究鋼的孕育处理指出,孕育剂在改变鋼的結晶动力学和組織的同时,还有脫氧、脫硫、脫磷、除去金属中的气体和非金属夹杂物及改变其形状、数量和分布特征的作用,經孕育处理的鑄鋼的机械性质的改善决定于孕育剂对結晶、重結晶和相析出的动力学,杂质、气体和非金属夹杂物含量的綜合作用。

根据孕育剂影响合金結晶过程的特征,一般將孕育作用分为两类:

第一类孕育剂是溶于液体合金中,表面活潑的物质,它改变了結晶相和液相之間的表面張力,因而改变結晶过程的特征和晶粒的分散度。

第二类孕育剂是不溶于液体合金的物质,它以弥散状态的固体微粒存在于液体合金中,作为現成的晶核(外加的非自发晶核),增加新相晶粒成核的速度,从而細化組織。

根据相变的起伏理論,新相晶核的生成速度可用下式表示:

$$I = k_1 e^{-\frac{U}{RT}} \cdot e^{-\frac{A_3}{kT}}$$

式中 I ——晶核生成的速度;

k_1 ——动力系数;

U ——活化能;

A_3 ——临界晶核的形成功。

$$A_3 = \frac{kB\sigma^3}{\Delta T^2} \text{ 或 } A_3 = \frac{1}{3} \sum F_i \sigma_i$$

式中 F_i ——晶核各个面的面积;

σ_i ——液体和晶粒界面上的表面張力;

B ——物质常数;

R ——气体常数;

k ——波茲曼常数;

ΔT ——过冷度;

T ——绝对温度。

上式經整理及簡化后可写成下列形式:

$$I = k_1 e^{-\frac{U}{RT}} \cdot e^{-\frac{B\sigma^3}{T(\Delta T)^2}}$$

从上式可看出,晶核的形成取决于液体的过冷度和表面張力。

如果加入的某种孕育剂,减少液体金属和固体金属界面上的表面张力,便发生有效的吸附作用,这种孕育剂将聚积在生长着的晶粒的表面层上,使物质的原子集合起来,以利于晶核的形成,并使晶粒生长的扩散过程发生困难;因此表面活潑的孕育剂对結晶特征总的效果,将取决于改变扩散过程的速度(与 $e^{-\frac{U}{RT}}$ 成正比)和晶核形成的功 A_s 或表面张力两种影响的总結果。不溶于液体金属的孕育剂将减少在这些已有的相界表面上晶核形成的功。二度晶核形成的功 A_s 取决于晶粒每个面的面积 F_i 。在已有的表面上結晶,减少 ΣF_i ,因而也降低 A_s 。晶核形成功的减少导致結晶中心成核速度的急剧增加,因而导致合金分散度的增加。必須指出,加入过量的表面活潑的孕育剂时,鋼具有粗晶的結構。此时孕育剂圍繞晶核形成的吸附膜急剧的使形成二度和三度晶核的物质原子集合的扩散速度变慢。根据鉻鎳奧氏体鋼(X15H25)孕育处理的研究,确定了孕育剂的某些影响:

(1) 表面张力与鋼的結晶的关系 图 1-2 表示氮对奧氏体鉻鎳鋼和铁素体鉻鋼表面张力的影响。从图中看出,孕育剂对表面张力的影响与鋼的成份有关。即氮增加奧氏体鉻鎳鋼的表面张力,而减少铁素体鉻鋼的表面张力。从研究試样的金相中指出,所有降低表面张力的孕育剂都促使晶粒的細化和柱状結晶区的縮小。如果孕育剂增加表面张力,鋼便具有粗晶的結構。图 1-3 中 δ 、 ϵ 是經过氮孕育处理的鉻鎳鋼和鉻鋼的宏观組織,图 1-3 中 a 、 θ ——未經孕育处理的鋼。从图中看出,氮在鉻鋼中表现出孕育作用,而在鉻鎳鋼中則未起到孕育作用。

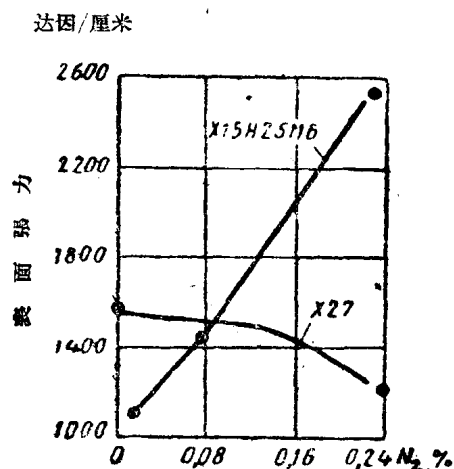


图 1-2 氮对奧氏体鉻鎳鋼和铁素体鉻鋼表面张力的影响



图 1-3 氮对 X15H25M6 鋼和 X27 鋼宏观組織的影响

(2) 孕育剂对过冷的影响 区别可溶解的和不可溶解的孕育剂对鋼的結晶的影响是試驗研究較难完成的一项任务。仅有孕育剂对表面张力影响的資料是不够的,必須进行綜合的研究,特别是确定孕育剂对鋼的过冷的影响。根据研究各种孕育剂对奧氏体鉻鎳鋼过冷的影响指出,硼、鈦、鎂、鈣减少鋼的过冷度,因此可按这些孕育剂的表面活潑性来評定其对 X15H25 鋼結晶的影响。

(3) 孕育剂对碳化物相及其他强化相或过饱和相的成份、数量和分布特征的影响。产生这些影响的原因是某些孕育剂不仅可吸附在正在生长的金属晶粒的界面上,而且能吸附在析出的相的表面上。在这种情况下,这些孕育剂使新相从固溶体中析出发生困难。图 1-4 表示另加入鎢鉬和其他合金元素的奧氏体鉻鎳鋼的組織。图 1-4 中 a ——无孕育剂; δ ——加入 0.2% Mg。在鋼的組織中,除奧氏体和碳化物外,还有强化相。在未經孕育处理的鋼



图 1-4 孕育剂对强化相析出的影响

中,这种相位于晶界上,因而使冲击韧性的降低。但在經鎂或鈾孕育处理的鋼,这种相位于奥氏体内,因而这种鋼的冲击韧性較未經孕育处理的鋼要提高三倍。

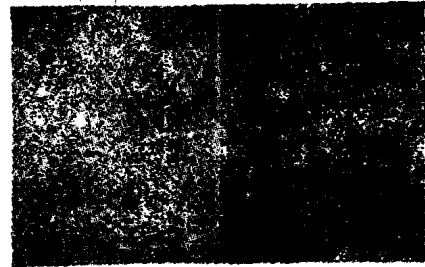


图 1-5 孕育剂对 30Mn 鋼对初晶奥氏体尺寸的影响

碳素鋼孕育处理时,孕育剂的作用机构較复杂,因为孕育剂可影响一次和二次結晶。

根据某些研究指出,碳素鋼(30Mn)中加入适当的鈾、鈣、鎂、硼等孕育剂都能消除鋼的树枝状結晶,同时也减小一次奥氏体晶粒的尺寸(图 1-5)。a——未孕育处理;6——0.2%Ce。鈾、鈣、鎂等孕育剂还减小鋼的过热倾向。

所有加入的孕育剂对鋼的微观組織也有很大的影响。如果未經孕育处理的鑄鋼具有魏氏組織,在用鎂、鈣、鈾、硼孕育处理后,魏氏組織全部消除,铁素体具有球形。

2) 場 的 影 响

在場(包括压力,真空,机械振动和声場等)的作用下进行結晶,近年来得到广泛的应用。采用这些方法在很大的程度上削弱或消灭一般的鑄造方法常出現的許多缺陷:粗晶粒的柱状組織、偏析、縮松、气孔、裂縫、厚薄断面間組織和性质的不均匀性等。

A. 振动对金属結晶的影响

用这种方法提高金属质量开始于 1868 年,并于 1910 年成功的用于鑄錠。一般认为,震动是振幅大(≤ 100 毫米)。頻率小(1.0~1.5 赫芝)。例如震击式造型机的震动便属这类,其振幅为 10~40 毫米。而振动則有較小的振幅和較大的頻率。机械振动的振幅等于 0.01~5.00 毫米,頻率為 1.5~10000 赫芝。超声波振动处理合金的頻率达 10000 赫芝以上。震动的方法不适用于鑄造生产,因此下面只研究振动对金属結晶的影响。

振动下結晶时,鑄件成形过程的理論簡述如下:

振动时以一定的頻率发生可变运动,这种运动具有可变的加速度和速度。当方向改变时,速度和加速度通过零值。此时經受振动的物体好象突然停止运动,因而产生冲击作用。为了簡化溶液移动的分析,設溶液在垂直方向經受正弦簡諧运动。在这种情况下,鑄型——溶液系的重心运动軌迹可用下式表示:

$$y = a \sin \omega t$$

式中 y ——重心的纵坐标;

a ——振幅;

ω ——角速度;

t ——時間。

物体相应的速度和加速度表示如下：

$$v = a\omega \cos \omega t$$

$$j = -a\omega^2 \sin \omega t$$

設溶液的重量为 $P = mg$ ，則振动时作用于其上的重力 $P = m(g \pm j)$ 。因此一个周期內經受振动的溶液的重量从最小 $P_1 = m(g - j)$ 到最大 $P_2 = m(g + j)$ 改变二次。如果振动加速度的絕對值等于 g ，則在一半周期中溶液处于失去重量或者理想真空（如果 $|j| > g$ ）的条件下，而在另一半周期內，溶液处在等于其加倍重量的较高压力条件下。但是在这种情况下，有别于靜压力，发生瞬时的加载。因而提高对溶液的作用效果。由于这种振动冲击力的作用，液体发生变形。压縮均匀的液体需要极大的压力。但結晶的金属是由液相、气相和固相三相所組成。在正压时。由于气相容积的改变，合金可被压縮。在負压时，三相的溶液被拉伸，此时发生液体的空化現象。当拉力消失时，空穴砰然关闭，瞬时间内大大地增加局部压力，因而部分地碎化已生长至一定尺寸的晶粒，并使其均匀地分散，因而增加晶核生成的机率。此外，振动时存在于溶液中作为晶核的杂质，也部分的被碎化，并較均匀地分散在溶液中。最后，在空化区域的附近，也就是在具有較高动能值的区域的附近，显著的增加自发和非自发結晶晶核生成的机率。所有上述增加晶粒成核机率和晶核均匀分布的作用都能細化合金組織。

由于质点間在近距离內有結合力的存在，每一个质点在液体中的移动总是与其他质点一同进行的。这些复合体随溶液温度的降低而增加，振动的作用可使这些复合体破坏，因而降低粘度，使金属液具有流动的能力。因此在振动型中鑄造时溶液具有良好的充填性。

液态合金粘度的改变会影响晶粒的成核过程。晶核出現的机率取决于过冷度和原子的扩散过程。振动时粘度的降低，有利于扩散过程的进行，因而結晶核心数量显著增加。

金属溶液中晶核的生成会放出凝固热。为了保証晶核生长到具有稳定的临界尺寸，必須保証热量的导出，否則結晶过程的进行将变慢和可能停止。当振动的动力施加在二相的溶液上时，由于晶粒比母液具有較大的密度，因而晶粒得到不同于母液的加速度。同时振动可使晶粒在其生成的地方被击碎。由于晶核移动的结果，某些介稳定的晶核将溶解在具有較高温度的液体中。这个过程均匀了溶液的温度，并改善了溶液結晶的条件和加速溶液的凝固。

振动时溶液周期性地受到压縮和拉伸极有效的影响到金属中的除气过程。空化作用能强烈的增加气泡的生成率，因而有利于除去金属中的氢，减少鑄件中的气孔。最后，由于溶液的粘度降低和振动时的正压施压作用，有利于鑄件的补縮。

綜合以上所述，振动对合金組織形成过程的有益影响归納起来有以下几点：

- (1) 显著的細化金属的組織；
- (2) 消除鑄件組織的不均匀性；
- (3) 大大地降低合金中气体的含量，因而消除或者大大地减少鑄件中的气孔；
- (4) 有利于补縮过程的进行和除去非金属夹杂物，因而减少鑄件中的縮松和提高其紧密性。此外，还有利于提高金属的流动性，使之获得外形輪廓清晰和薄壁的鑄件；
- (5) 有助于消除鋼中的晶間裂縫；
- (6) 加速金属的結晶过程。

下面简单介绍一下, 机械振动对合金钢 (化学成份: 0.34~0.40% C; 0.30~0.80% Si; 7.5~8.5% Mn; $\leq 0.035\%$ S; $\leq 0.03\%$ P; 11.5~13.5% Cr; 7.0~9.0% Ni; 1.1~1.4% Mo; 1.25~1.55% W; 0.25~0.50% Nb) 铸锭质量影响的实例。这种合金钢由于具有较小的导热性, 因此在一般条件下结晶时断面组织不均匀, 并在铸锭或铸件的中心倾向于形成晶间裂纹的金属组织如图 1-6, 从图中看出, 在一般铸造条件下结晶时, 铸锭的柱状晶区伸展到其 $\frac{1}{2}$ 半径处, 中心部分具有巨大的等轴晶区 (图 1-6, *a*), 在铸锭的上部还见到缩孔 (图 1-6, *a*)。当铸锭在振动下结晶时获得了均匀的组织。图 1-6, *b* 和 *c* 为铸锭在 1200 次/分钟的风锤振动下结晶的组织, 图 1-6, *d* 和 *e* 为在风动振动下结晶的组织。图 1-7 表示铸锭的紧密度。图 1-8 表示铸锭的晶间裂纹。

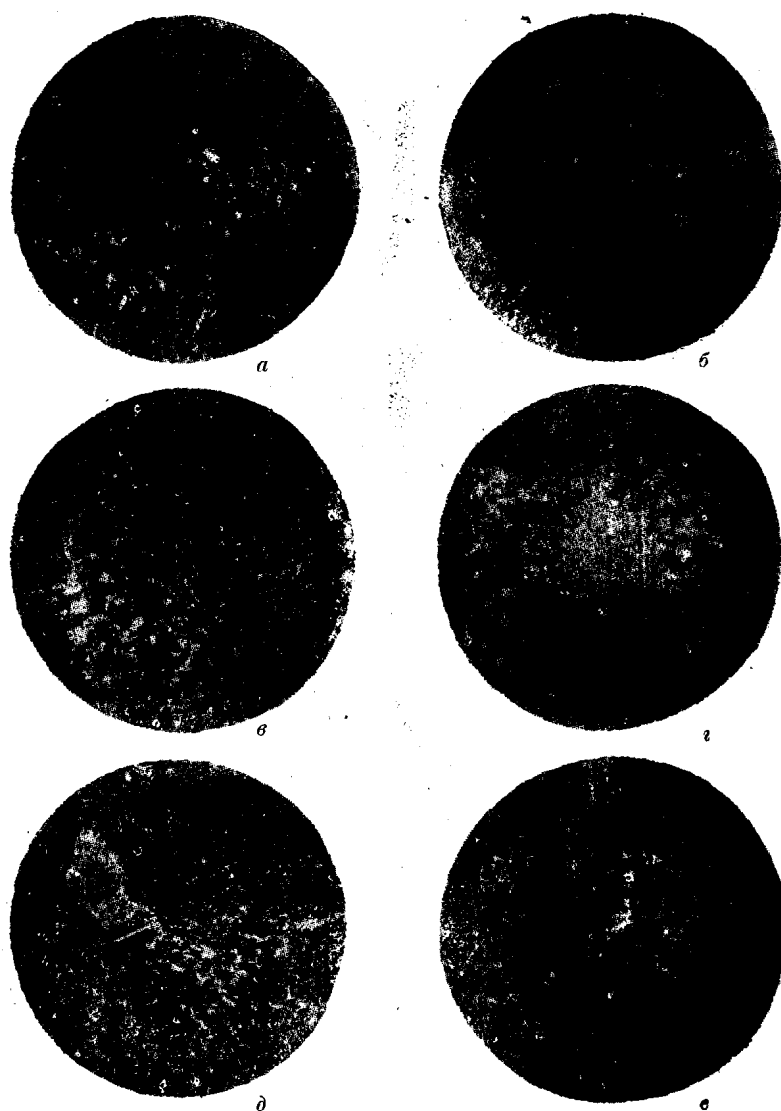


图 1-6 同一炉钢水在一般条件(*a*, *b*)和不同规范的振动条件下(*c*, *d*, *e*, *f*)铸造的合金钢铸锭的宏观组织。