

高等学校教学参考书

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE CANKAOSHU

铸钢及其熔炼

謝义达 熊国庆 王維聰等 編著

只限学校内部使用



机械工业出版社

高等学校教学参考书



铸钢及其熔炼

謝义达 熊国庆 王維聰等編著



机械工业出版社

本书内容包括鑄鋼及鑄鋼熔炼两个部分。在鑄鋼部分中介绍了碳素鑄鋼、石墨鋼、低合金結構鋼、高合金特殊性质鑄鋼等的組織、性质、用途及影响它們的因素。同时还詳細地叙述了振动、压力、真空及孕育处理对改善鑄鋼結晶的原理及其产生的良好效果。在鑄鋼熔炼部分中介绍了炼鋼原材料、轉炉、电弧炉、高频感应电炉、平炉及联合炼鋼和混合炼鋼的理論及实践。其中特別对轉炉和电炉炼鋼方面作了較詳細的論述。

本书可作为高等学校机械制造系鑄造专业的教学参考书，并可供鑄造工程技术人员参考之用。

鑄 鋼 及 其 熔 炼

謝义达 熊国庆 王維聰等編著

(根据中国工业出版社紙型重印)

*

第一机械工业部教材編审委员会編輯 (北京复兴門外三里河第一机械工业部)

机械工业出版社出版 (北京苏州胡同 141 号)

(北京市书刊出版业营业許可証出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印張 13 · 字数 300 千字

1965 年 5 月北京新一版 · 1965 年 5 月北京第一次印刷

印数 0,001—2,500 · 定价(科五) 1.55 元

(1961 年 10 月北京第一版)

*

統一书号: K15033 · 3859

目次

緒論	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) 錳結構鑄鋼	49
2) 硅結構鑄鋼	50
3) 鉻結構鑄鋼	52
4) 鉬和銅結構鑄鋼	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、高鋁和Al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) 鐵鈣土	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) 渦鼓形轉爐(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鑄鋼中的應用	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	第八章 平炉炼钢	193
2) 电气设备	141	§ 1 炉子的构造和工作原理	193
§ 2 碱性电弧炉炼钢	142	1) 熔化室	194
1) 氧化法熔炼	142	2) 前墙和后墙	195
2) 不氧化法熔炼(返回法)	172	3) 炉顶	195
§ 3 酸性电弧炉炼钢	173	§ 2 碱性平炉熔炼的特点	195
1) 补炉与装料	174	1) 装料	195
2) 炉料的熔化	175	2) 熔化	196
3) 氧化期	175	3) 精炼	197
4) 还原期	176	4) 脱氧与出钢	198
§ 4 电弧炉炼钢的强化	178	§ 3 酸性平炉熔炼的特点	199
1) 电炉吹氧炼钢	178	1) 酸性平炉的原材料	199
2) 煤气——氧气助熔炼钢法(三气炼钢)	180	2) 酸性平炉熔炼操作	200
3) 电磁搅拌器强力搅拌熔池中的钢水	180	§ 4 提高平炉生产率的途径	200
§ 5 炉前检验	182	1) 炉头喷射压缩空气	200
1) 钢水温度的测定	182	2) 煤气蓄热室地沟通道吹灰法	200
2) 钢水中含碳量的测定(观碳)	182	3) 氧气的利用	201
3) 钢水中含硅量的测定	183	4) 压缩空气的利用	201
4) 钢水脱氧质量的判断	183	第九章 联合炼钢和混合炼钢	202
第七章 无铁心高频感应电炉炼钢	185	§ 1 联合炼钢	202
§ 1 感应电炉基本工作原理	185	1) 双联法	202
§ 2 感应电炉的结构及炉衬	186	2) 三联法	203
§ 3 感应电炉的熔炼	189	§ 2 混合炼钢	204
1) 装料	189	1) 转炉——电炉混合炼钢	204
2) 熔化	189	2) 平炉——电炉混合炼钢	205
3) 精炼	190	3) 电炉——电炉混合炼钢	207
§ 4 真空冶炼	191	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制成的零件，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沖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，而沖擊韌性也只有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%，沖擊韌性為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%，沖擊韌性為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%，沖擊韌性為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，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，儘管鑄鋼件在整个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幾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,有的国家已利用錳特别是銅代替貴重合金元素鎳,用鎢或銅代替鉬,此外鑄鋼的孕育处理也有了很大的发展,如利用鈾、鋳、硼、鎂及鈣来清除鋼的疵病和純洁鋼的晶界以及提高合金鋼的塑性具有明显的效果。

为了获得較高的机械,化学,物理及鑄造性能的鋼种,今后必須在使用各种孕育剂;改善热处理方法和降低鋼中有害杂质等方面作更大的努力,同时必須大力发展真空技术,以适应新技术对某些特殊鋼种的需要。

我国是世界鋼鉄冶金起源地之一,鑄造生产技术在我国具有几千年的悠久历史。我們的祖先在鋼鉄生产与鑄造方面也有过光輝的創造,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緩慢的。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統治,使得我国机械制造业異常落后,因此仅有生产規模很小、設備簡陋、技术落后、劳动条件恶劣的修配性质的鑄造生产,并且也只是为帝国主义掠夺我国資源而服务的,同时又完全操纵在帝国主义和国内反动派手中。在鋼鉄生产方面,直到1890年建成汉阳鋼鉄厂,才出現了現代炼鋼工业。

鑄鋼生产更是迟于1933年开办的上海大鑫鋼鉄厂才开始生产,該厂設有小型电炉,承受沪上造船厂,汽車公司等单位的鑄鋼配件生产,其他如东北地区为帝国主义所控制的機車修理厂也有少量鑄鋼件的生产。

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,由修配轉变到制造,由制造一般机器过渡到制造大型、精密和成套的技术設備,鑄鋼件的生产,配合机械制造业的需要,和鑄鉄件、有色金屬鑄件一样,获得了空前的发展。全国各大工业区都有鑄鋼件的生产,不少工厂,如矿山 機車、汽車、拖拉机、汽輪机、造船和重型机器制造厂都有鑄鋼車間。其中采用了轉炉电弧炉,平炉和高周波感应电炉进行碳素鋼和各种合金鋼的熔炼。

在鑄鋼生产技术方面,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輪机轉子和水压机机座等重型鋼鑄件。

在鑄鋼合金及熔炼方面早已不限于碳素鋼和低合金鋼的生产了,就是中合金鋼和高合金鋼熔炼与鑄造也有了很大的发展与提高。最近几年来,寻找适合我国資源特点的合金鋼代用材料方面也取得了巨大的成績。在炼鋼技术方面,我国也有了新的創造与发展,例如:我国創造性地使用了側吹碱性轉炉炼鋼法和轉炉——电炉混合炼鋼法等并使之扩大应用于鑄鋼件的生产。

以上例子說明:我国在鑄鋼件生产方面随机械制造业发展已进入到新阶段。解放后十一年来鑄造事业在党的领导下所取得的成績是巨大的。現在,我們正滿怀信心沿着总路綫,大跃进和人民公社三面紅旗光輝照耀下,为发展与提高鑄造生产科学技术水平而不懈地努力。

第一篇 鑄 鋼

用于鑄件的鋼種很多，可以按三種特征來分類：化學成份、生產方法和鋼的物理——化學性質。其中以按鋼的化學成份分類最為適用，因為鋼的化學成份是影響鋼鑄件工藝性質和機械性質的主要因素。

按化學成份，鑄鋼可分為碳素鑄鋼和合金鑄鋼兩類。碳素鑄鋼應用最廣，因為它比較便宜和易于獲得。合金鑄鋼也可以按合金元素的含量分為低合金、中合金和高合金三種。由於合金鑄鋼具有較高的使用性質，特別是高合金鑄鋼還具有某些特殊的物理——化學性質（例如耐腐蝕性、耐熱性、耐磨性等），在發展尖端技術上將起到一定的作用。

按鋼的生產方法，鑄鋼分為轉爐鋼、電爐鋼和平爐鋼。根據熔爐的爐襯又分為酸性鋼和鹼性鋼。

按鋼的物理——機械——化學性質鑄鋼分為結構鑄鋼、耐熱鑄鋼、耐蝕鑄鋼和耐磨鑄鋼。

第一章 鑄鋼的結晶

鑄件冷却时,金属在凝固温度範圍内进行一次結晶过程,依鋼的成份不同,結晶时形成奥氏体或 δ 铁型铁素体,后者在继续冷却时轉变为奥氏体。初晶奥氏体冷却至 A_3 及 A 綫的温度以下时,发生固态的重結晶,形成 α 铁型的铁素体(或二次渗碳体)及珠光体,某些高合金鋼,例如,高锰鋼和高铬鋼等沒有二次結晶的过程。

一次結晶在一定程度上影响二次結晶。一次結晶不仅影响晶体的形状和晶粒的尺寸,而且还决定了鑄件的某些缺陷:晶内和区域偏析;非金属夹杂;热裂,分散的和局部的縮松。二次結晶决定了鋼的金属基体組織和鑄造应力。晶体形状、晶粒尺寸、金属基体組織及鑄件的某些缺陷等等都直接影响到鑄件的质量。

§1 鑄鋼的一次結晶

鑄件的一次結晶过程决定于液体金属的結構,化学成份和温度,及其澆注和随后在鑄型中冷却的条件,金属和鑄型的这些性质会影响晶核的数量和分布,以及晶粒的生长方向和速度,因而也影响晶粒尺寸和形状。总之,一次結晶过程是既决定于金属的物理——化学性质,也决定于鑄型的工艺特性。

1) 鋼水的主要物理——化学性质对鑄件一次結晶的影响

鋼水的結構,化学成份和温度的改变都会引起它的粘度和表面張力,热含量和凝固的温度范围、扩散的能力、过冷等的改变,在研究影响結晶的主要因素时,首先必須研究鑄件中鋼的自发和非自发的結晶过程。

A. 鋼水的結構、化学成份和温度对自发和非自发結晶的影响

鋼水的結晶过程,服从于結晶的一般規律:

(1) 温度低于液相綫温度,即鋼水应具有一定的过冷度;

(2) 形成具有临界尺寸的稳定晶核。晶核可分为自发的和非自发的两类,而非自发的晶核又可分为殘留的和外加的。一般情况下,鋼水的結晶过程是以殘留的非自发晶核为主,

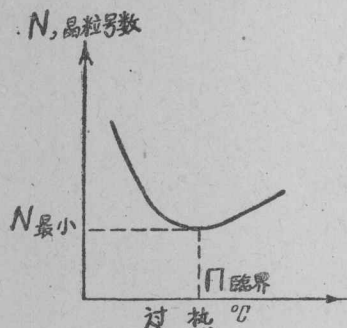


图 1-1 过热对鋼的一次結晶晶粒尺寸的影响

因为鋼水中在实际上所能达到的过热范围以内总是存有各种固态的非金属夹杂物和杂质的晶核。这些不同种类的晶核的影响取决于它們的数量和尺寸,只有当这些晶核具有一定的临界尺寸和类似金属的結晶晶格或者将金属原子吸附在自身表面的能力时,它們才能作为結晶的中心。如果类似的晶核数較少,例如当金属很純洁及高度过热时,鋼水的一次結晶也可以主要是自发的。图 1-1 表示过热对于鋼的一次結晶晶粒尺寸的影响。从图中看出,随金属温度的升高,晶粒开始粗化(图 1-1 曲綫前半段),然后晶粒又重新細化(图 1-1 曲綫后半段)。前者是因为引起非自发結晶

的活性晶核数目的减少,后者是由于增加純化了的金属过冷能力而增加自发晶核的数目。

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,特别是鋼的塑性和韌性。

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,一般将孕育作用分为两类:

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 ——絕对温度。

上式經整理及簡化后可写成下列形式:

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

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,便发生正的吸附作用,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;因此表面活泼的孕育剂对结晶特征总的效果,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_3 或表面张力两种影响的总结果。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_3 取决于晶粒每个面的面积 F_i 。在已有的表面上结晶,减少 ΣF_i ,因而也降低 A_3 。晶核形成功的减少导致结晶中心成核速度的急剧增加,因而导致合金分散度的增加。必须指出,加入过量的表面活泼的孕育剂时,钢具有粗晶的结构。此时孕育剂围绕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。根据铬镍奥氏体钢(X15H25)孕育处理的研究,确定了孕育剂的某些影响:

(1) 表面张力与钢的结晶的关系 图1-2表示氮对奥氏体铬镍钢和铁素体铬钢表面张力的影响。从图中看出,孕育剂对表面张力的影响与钢的成份有关。即氮增加奥氏体铬镍钢的表面张力,而减少铁素体铬钢的表面张力。从研究试样的金相中指出,所有降低表面张力的孕育剂都促使晶粒的细化 and 柱状结晶区的缩小。如果孕育剂增加表面张力,钢便具有粗晶的结构。图1-3中 δ 、 ϵ 是经过氮孕育处理的铬镍钢和铬钢的宏观组织,图1-3中 a 、 b 是未经孕育处理的钢。从图中看出,氮在铬钢中表现出孕育作用,而在铬镍钢中则未起到孕育作用。

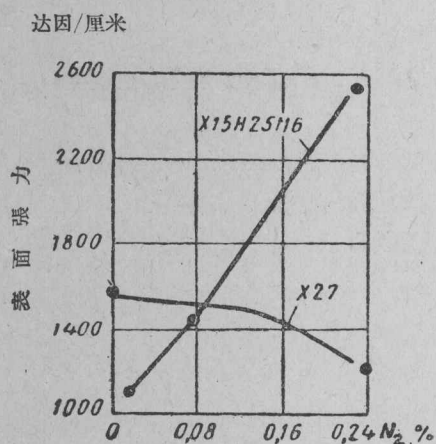


图1-2 氮对奥氏体铬镍钢和铁素体铬钢表面张力的影响



图1-3 氮对 X15H25M6 钢和 X27 钢宏观组织的影响

(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钢的结晶的影响是试验研究较难完成的一项任务。仅有孕育剂对表面张力影响的资料是不够的,必须进行综合的研究,特别是确定孕育剂对钢的过冷的影响。根据研究各种孕育剂对奥氏体铬镍钢过冷的影响指出,硼、钛、镁、钙减少钢的过冷度,因此可按这些孕育剂的表面活泼性来评定其对 X15H25 钢结晶的影响。

(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表示另加入钨钼和其他合金元素的奥氏体铬镍钢的组织。图1-4中 a ——无孕育剂; b ——加入 0.2% Mg。在钢的组织中,除奥氏体和碳化物外,还有强化相。在未经孕育处理的钢



图 1-4 孕育剂对强化相析出的影响

中,这种相位于晶界上,因而使冲击韧性值降低。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。

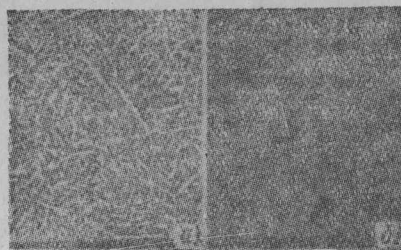


图 1-5 孕育剂对 30Mn 鑄鋼对初晶奥氏体尺寸的影响

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;b——0.2%Ce。鈾、鈣、鎂等孕育剂还减小鋼的过热傾向。

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,鉄素体具有球形。

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易出現的許多缺陷: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,頻率为 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速度和加速度。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。如果振动加速度的绝对值等于 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較高压力条件下。但是在这种情况下，有别于静压力，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。压缩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，合金可被压缩。在负压时，三相的溶液被拉伸，此时发生液体的空化现象。当拉力消失时，空穴砰然关闭，瞬时內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缩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，有利于鑄件的补缩。

綜合以上所述，振动对合金組織形成过程的有益影响归纳起来有以下几点：

- (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) 有利于补缩过程的进行和除去非金属夹杂物，因而减少鑄件中的缩松和提高其紧密性。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。

下面簡單介紹一下，機械振動對合金鋼（化學成份：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）鑄錠質量影響的實例。這種合金鋼由於具有較小的導熱性，因此在一般條件下結晶時斷面組織不均勻，並在鑄錠或鑄件的中心傾向於形成晶間裂縫的金屬組織如圖 1-6，從圖中看出，在一般鑄造條件下結晶時，鑄錠的柱狀晶區伸展到其 $\frac{1}{2}$ 半徑處，中心部分具有巨大的等軸晶區（圖 1-6, б），在鑄錠的上部還見到縮孔（圖 1-6, а）。當鑄錠在振動下結晶時獲得了均勻的組織。圖 1-6, в 和 г 為鑄錠在 1200 次/分鐘的風捶振動下結晶的組織，圖 1-6, д 和 е 為在風動振動下結晶的組織。圖 1-7 表示鑄錠的緊密度。圖 1-8 表示鑄錠的晶間裂縫。

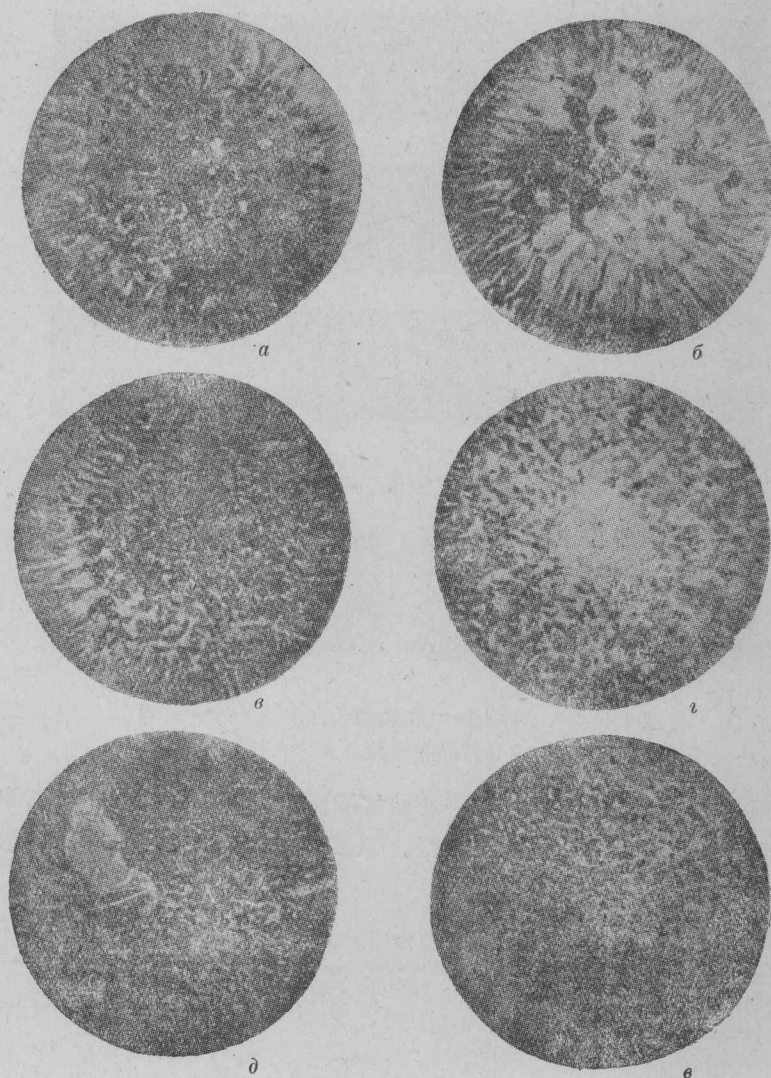


圖 1-6 同一爐鋼水在一般條件(а, б)和不同規範的振動條件下(в, г, д, е)鑄造的合金鋼鑄錠的宏觀組織。

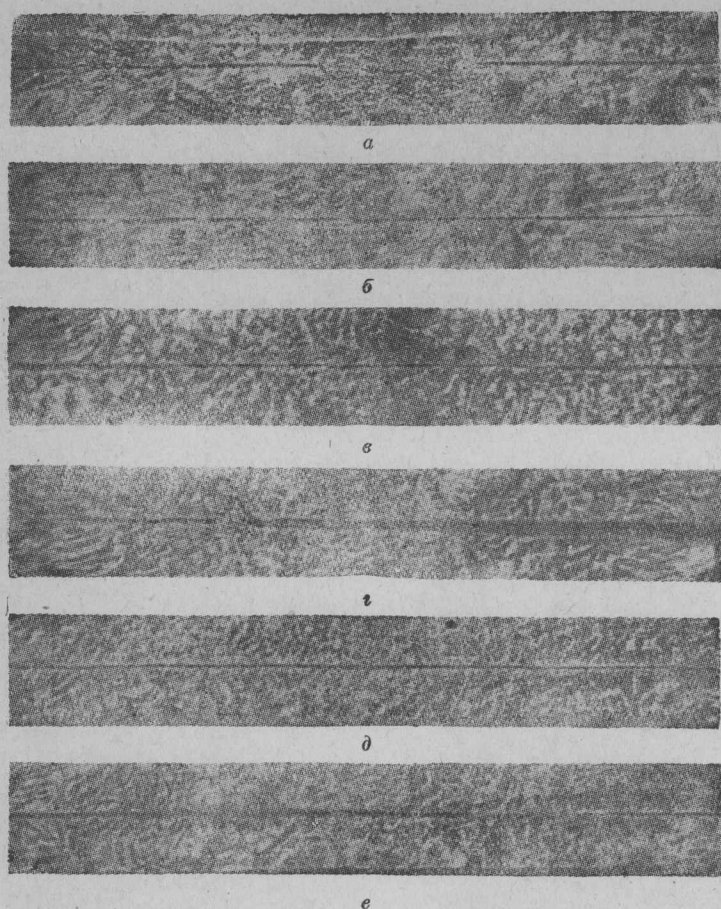


图 1-7 合金鋼鑄錠的断面(宏觀組織見图 1-6)。



图 1-8 在一般条件(a)和振动条件下結晶时合金鋼鑄錠中心处晶間裂縫及其分布特征

結晶时利用超声波振动对金属組織有着良好的影响。表 1-1 列有一般条件下和超声波振动条件下鉄碳合金系机械性质的比較数据。从表中看出, 超声波处理合金能最有效的提高其塑性。

表 1-1 一般鑄造法和在超声波作用下鉄碳合金系机械性质的比較

合 金	σ_s 公斤/毫米 ²	δ %
08 沸騰鋼	35/47	30/50
45 号鋼	45/75	15/20
CQ18~36 鑄鉄	18/36	0/5

注: 分子指一般鑄造法; 分母指超声波振动鑄造法。

超声波处理合金的方法未能得到广泛应用的主要困难是不能有效的将超声波的振动加在溶液上和缺乏相应的大功率的发生器。

B. 力场对金属结晶的影响

近年来在金属结晶时施加很高的压力的铸造过程获得广泛的应用。常有人认为,合金在压力下结晶时,其机械性质,特别是强度的提高,仅由于金属填满空隙的结果。但现已有的试验资料指出,外加压力能大大地改变金属和合金的状态。由于巨大的压力对外层电子的影响,因而改变元素的化学性质、熔化温度、膨胀系数等,某些文献指出,外加压力可改变合金的共晶点。例如,过共晶硅铝明在约 16000 大气压的压力下结晶可变为亚共晶的合金,因而显著的提高其机械性质。所有上述各点都说明合金在压力下结晶时,其强度、塑性和硬度等机械性质的改善不仅是由于铸件紧密度的提高,而且在很大程度上取决于晶粒的细化、晶格常数的改变、新相的析出、金属的塑性变形等超微观组织的巨大改变。图 1-9 表示 35J 碳素铸钢和 1X18H9TJ 耐酸铸钢在未施压和 4000 大气压的压力下结晶的微观组织。从图中看出, 35J 铸钢表面区(a)和轴心区(b)的微观组织在压力的作用下实际上未有改变。对于 25J 铸钢也有类似的情况。1X18H9TJ 铸钢的微观组织在压力作用下有较大的改变;图 c 和 d 为未施加压力时铸件表面区和轴心区的微观组织,而图 e 和 f 为施加压力时铸件表面区和轴心区的微观组织。从图中明显的看出由于加压造成的滑移线;此外,还可看出 1X18H9TJ 铸钢在压力下结晶时析出大量成网状的新相。

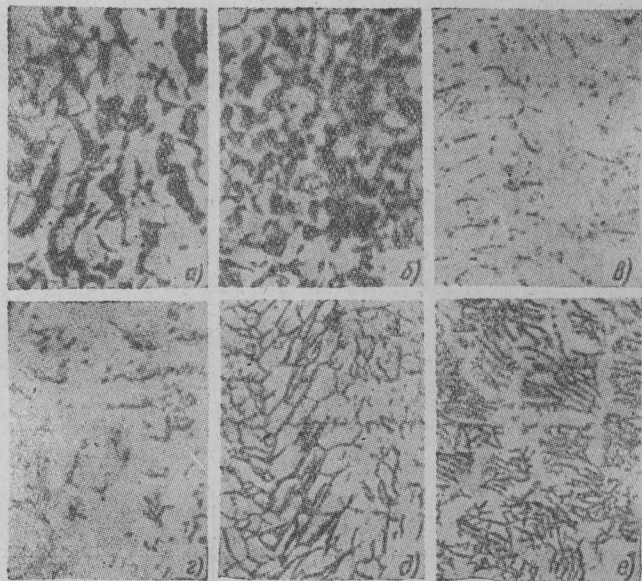


表 1-2 列有重 60 公斤的 40J 图 1-9 压力对 35J 碳素铸钢和 1X18H9TJ 耐酸铸钢组织的影响。钢锭在氮的压力下结晶时机械性质改变的数据。

表 1-2 压力对机械性质的影响

压力(大气压)	密度(克/厘米 ³)	σ_b (公斤/毫米 ²)	σ_s (公斤/毫米 ²)	$\delta(\%)$	$\psi(\%)$	a_k 公斤米/厘米 ³
0	7.764	80.4	70.3	13.9	30.1	4.3
40	7.762	82.9	71.2	18.1	31.9	4.7
60	7.786	84.1	72.4	19.1	39.7	5.6
80	7.797	86.1	72.1	23.0	45.4	6.9

B. 真空的影响

真空的作用在于改变金属中的气体含量,结果不仅减少钢铸件中的气孔、白点、夹渣和氢脆等缺陷,而且还改变金属的结晶过程。关于金属结晶过程中气体动态的问题是非常复杂的。存在于晶格中的气体原子对于结晶过程有很大的影响。因为这些气体原子会改变金属的结构。当它们存在于生长着的晶粒表面层时,大大地改变了晶粒——溶液相间的表面

能。氢在这方面的影响最大。此外,以不稳定状态存在于晶格中的部分氢原子还易扩散到晶粒——溶液界面上去,发生气体的物理吸附,阻碍新原子进入到生长着的晶粒中去。

根据在真空和大气中熔炼 X15H25 和 X15H25M6 奥氏体合金钢(其化学成份见表 1-3)的研究结果,确定了气体影响结晶过程的以下几点结论:

表 1-3 X15H25 和 X15H25M6 合金钢的化学成份

钢 的 牌 号	化 学 成 份 (%)					
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
X15H25	0.19	0.66	0.64	15.0	24.7	—
X15H25M6	0.08	0.93	1.14	17.0	25.4	6.1

(1) 存在于金属中的气体(N_2 、 H_2 和 O_2) 在很大的程度上改变了钢的表面张力(表 1-4), 因而影响到钢的结晶过程的动力学。从研究钢的宏观组织中看出, 在大气中熔炼的钢, 柱状晶晶区几乎伸展到铸件的中心; 而在真空中熔炼的钢, 由于其含气量很少(N_2 ——0.4 厘米³/克; H_2 ——0.2 厘米³/克) 整个铸件断面都是很细小的晶粒。铸件的微观组织也有同样的特征; 在大气中熔炼的钢, 奥氏体晶粒很粗大, 并在奥氏体晶内及晶界上析出大量的碳化物; 气体的这种影响随着氢含量的增加更为显著, 但在真空中熔炼的钢, 奥氏体晶粒很细小, 在其晶内仅有极少量的碳化物。

表 1-4 在真空和大气中熔炼的钢的表面张力

钢 的 牌 号	钢 的 熔 炼 方 法	钢中气体的总含量 (厘米 ³ /克)	试验 的 温 度	表面张力平均值 (达因/厘米)
X15H25	大 气 中	32.3	1550°	1365
	真 空 中	2.7	1550°	1230
	先在真空中, 后再在大气中	16.9	1550°	1310
X15H25M6	大 气 中	26.4	1500°	1260
	真 空 中	4.2	1500°	1040

(2) 大家都知道, 奥氏体 Ni-Cr 合金钢在较高的过热温度时常出现柱状晶晶区的增加, 其原因之一就是钢在高度过热时吸收了较多的气体。

(3) 氢对钢的结晶的影响最大。如果真空中熔炼的钢具有细晶粒的球状组织, 则随着钢中氢含量的增加, 铸件中穿晶组织的发展更趋加剧。但氮对奥氏体 Ni-Cr 钢的结晶无大的影响, 在这种情况下, 很可能是氮起到合金元素的作用。

(4) 各种熔炼条件对钢的紧密性也有一定的影响; 在真空中熔炼(气体含量 7.0 厘米³/100 克) 时, 钢的紧密性为 8.16 克/厘米³, 而在大气中熔炼时(气体含量 26.2 厘米³/克), 钢的紧密性为 8.14 克/厘米³, 如果气体含量增至 60.3 厘米³/克, 钢的紧密性降至 8.03 克/厘米³。

(5) 在不同条件下熔炼的 X15H25 钢的机械性质如表 1-5。从表中看出, 氢大大地降低了钢的塑性。