

压力加镁的改进

張超編著

机械工业出版社

TG255

压力加镁的改进

張超編著



机械工业出版社

1960

內 容 簡 介

本书是以某厂用灭容加镁法生产球墨鑄鉄的經驗为基础，并参考国内外有关球墨鑄鉄生产的文献編写而成。书中概括地編入了压力加镁的理論研究和实际工作經驗。首先叙述了压力加镁的基本原理及各种加镁方法的实际应用；接着介紹了灭容加镁装置的设计、灭容加镁法在試驗和生产上应用的情况，其中特別值得注意的是球化处理时采用多量液体孕育处理的方法澆注大型鑄件；最后并附有灭容加镁法的技术安全規程、四吨灭容加镁装置詳图及各种球墨鑄鉄試样的金相照片。

本书可供从事球墨鑄鉄生产和研究的工程技术人员及大专学校鑄造专业的师生参考。

NO. 3205

1960年7月第一版 1960年7月第一版第一次印刷

787×1092 $\frac{1}{32}$ 字数 43 千字 · 印張 2 $\frac{1}{4}$ 插頁 5 0,001—3,344 册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业許可証出字第 008 号 定价 (10-7) 0.42 元

序 言

自从党中央提出鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线之后，全国在工业战线和农业战线上出现了万马奔腾，一日千里的生产大跃进的局面。全国各地在总路线鼓舞下，大闹技术革命。机械工业在波澜壮阔的技术革命运动中，不断地生产新产品。过去靠国外进口的重型和精密设备，逐渐由国内自行制造。由于我国工农业突飞猛进地发展，钢料的用量势必大大地增加。目前我国钢产量还不够多的情况下，利用球墨铸铁代替钢料具有重大的政治意义和经济意义。因此，大力发展球墨铸铁生产，不仅可以解决钢料不足的困难，而且可以降低成本，缩短生产周期。但到目前为止，虽然我国球墨铸铁的生产有了很大的发展，但是还存在一些问题，如大多数工厂采用了钟罩式低压加镁法，加镁量太多，球化处理不易控制，同时操作条件非常恶劣，所以在生产球墨铸铁的过程中，寻求一种简便的、加镁量极少的、易于控制的生产球墨铸铁的方法是非常迫切需要的。

自1948~1949年苏联科学院制造用镁制成球墨铸铁以来，在球墨铸铁的科学研究中，由于各国冶铸学者的努力，出现了许多生产球墨铸铁的方法，如苏联的前炉处理法；镁蒸汽通入法；美国的盐类处理法；英国、德国和法国的高压加镁法；中国的镁屑结加镁法；日本的电解溶渣法等等，给铸造生产作出了一定的贡献。但是这些加镁法各有各的缺点，或者是镁的消耗量仍然很多，铁水温度降低很利害；或者是需要较复杂的设

备，不易控制，不安全等等，易使鑄件产生冷隔、夹渣、黑心等缺陷，致使目前对这些經驗的推广受到一定的阻碍。

鉴于这种情况，我們认为寻求一种加鎂量很少的、易于控制的、最安全的生产球墨鑄鉄的方法是推广采用球墨鑄鉄的重要条件。因此，党支持我們对球墨鑄鉄的生产方法，从理論到实践进行了长期的研究，得出了一种球墨鑄鉄生产的新方法——灭容加鎂法。

本书是根据长期研究和生产的結果、以及国内外有关球墨鑄鉄生产的文献整理出来的。前一部分闡述了压力加鎂的原理，并且根据这个原理总结了目前国内外用鎂生产球墨鑄鉄的方法。后一部分总结了用灭容加鎂法試驗与生产球墨鑄鉄过程中所积累的經驗，以及灭容加鎂法在生产上的应用。

本书系总结性文件，可能存在許多缺点与錯誤，尙希冶金学家和鑄造工作者給予指正和批評。

此外，作者在本书的編写过程中和从事球墨鑄鉄加鎂方法的研究工作中，曾得到冶金工程师王尔毅、車間党支部書記、冶金技师解勤生的支持及冶金技术員謝应良、叶宜男、顾国鈞等同志的帮助，特此表示感謝。

張 超

目 录

序言	3
緒論	7
一、压力加鎂的基本原理	9
1 压力加鎂的理論分析	9
(1) 鎂蒸汽的生成	9
(2) 鎂的汽-液相平衡曲綫	10
(3) 鎂蒸汽的揮发量	11
(4) 加鎂量的确定	11
(5) 球化处理时消除鎂的損失的方法	14
(6) 各种加鎂法、加鎂量的計算例題	16
2 压力加鎂的分类	20
(1) 低压加鎂法	20
(2) 中压加鎂法	21
(3) 高压加鎂法	22
3 各种加鎂方法的实际应用	23
二、灭容加鎂裝置的設計、試驗与生产	25
1 灭容加鎂裝置及其設計	25
(1) 灭容加鎂裝置的組成	25
(2) 設計灭容加鎂裝置应考虑的問題	26
2 灭容加鎂的試驗与生产情况	31
(1) 試驗与生产过程	31
(2) 試驗与生产結果	32
(3) 試驗与生产中所发现的問題	32
(4) 灭容加鎂的配料与理化檢驗	35
三、灭容加鎂法在生产上的应用	38

1 灭容加镁法在生产上的使用情况	38
2 用灭容加镁法所生产的球墨铸铁件	38
(1) 軋鋼机部分	42
(2) 船舶零件部分	42
3 怎样用灭容加镁法生产大件	42
(1) 問題的提出	42
(2) 理論根据	42
(3) 采用多量液体孕育处理应注意的事項	43
(4) 几种典型零件的生产举例	44
4 灭容加镁法在生产中的意义	57
(1) 减少球化处理后的热損失和黑斑、冷隔等現象	57
(2) 能严格地控制鑄鉄的含镁量, 保証石墨球化	58
(3) 能增加镁在鑄鉄中的溶解度, 給球墨鑄鉄的液体 孕育处理开辟了新的、辽闊的途徑	58
(4) 减少镁的消耗量	58
(5) 改善操作者的劳动条件	59
四、附录	59
1 灭容加镁法的技术安全規程	59
2 4 吨灭容加镁装置詳图	59
3 各种試样的金相照片	66
参考文献	75

緒 論

球墨鑄鐵是一種新型的高強度鑄鐵。這種鑄鐵在1947年被英國鑄鐵研究協會孟羅 (H. Morrogh)、威廉斯 (W. I. Williams) 所發現。他們用鉍加到鐵水中得到了球墨鑄鐵。

早在1940年，蘇聯曾用鎂加到鐵水中提高鑄鐵的機械性能。1948年到1949年間，蘇聯科學院用鎂合金制出了球墨鑄鐵。

自1950年起，我國科學院及許多重型機器製造工廠就大量地試驗和生產球墨鑄鐵了。在球墨鑄鐵的科學研究中，中國的冶金學家和鑄造工作者占有很重要的地位。由於他們發揮了高度的創造性，在理論和實踐方面都獲得了卓越的成就。

1958年，在全國球墨鑄鐵會議上檢查了我國八年來在球墨鑄鐵方面所取得的巨大成就，不少項目已突破國際水平，攀登世界高峰。

自從發現球墨鑄鐵以來，由於國內外冶鑄學者的群起研究，使工業上的球化劑愈來愈多，生產球墨鑄鐵的方法也愈來愈多，並日趨完善。

根據文獻[6]的介紹，作為球化劑的元素有幾種：鎂 Mg、鉍 Ce、鈣 Ca、鋰 Li、鋅 Zn、鋇 Ba、鉀 K、鈉 Na、硒 Se、鐿 Te、釷 Th 等。

鎂是一種最好的球化劑，它的球化作用較強，價錢便宜，產量高，因而被世界各國廣泛地採用。

鎂的熔點 (650°C) 和沸點 (1100°C) 都很低，屬於高蒸汽

压元素。当镁加入铁水中时，便产生剧烈的汽化与沸腾，很多镁在铁水表面上燃烧，并猛烈地伴随铁水喷出铁水包外，发出炫耀夺目的白光和生成大量的如同白雾一般的镁的氧化物，大大地增加了镁及铁水的损失，并减低了设备的耐用性，这是镁的主要缺点，但是这些缺点是可以克服的。

镁加入铁水中，按照铁水包不同的类型会产生不同的压力。根据铁水包内压力的大小来研究球墨铸铁的生产方法具有重要的意义。

一 压力加鎂的基本原理

1 压力加鎂的理論分析

1 鎂蒸汽的生成

当鎂加入鉄水中进行球化处理时，鎂便产生种种物理变化与化学变化。其中表現最突出和引人注意的是鎂的汽化和由此产生的沸騰現象。在密閉的鉄水包中，当鉄水溫度一定时，鎂蒸汽是这样生成的：首先是鉄水內熔化的液体鎂迅速地揮发变成气体分子，漸漸地充滿密閉的鉄水包的剩余空間。这些鎂气分子一部分因热运动而接近于液体表面，因而又滲入鉄水內部。起初脫离鉄水液面的鎂分子数比返回液体的鎂分子多，因此剩余空間中的鎂分子密度不断增加，返回液体中的鎂分子数随鎂蒸汽密度的增加而增加，以后达到这样的时刻，即鎂蒸汽和液体間建立起动平衡，其数量不发生变化。此种現象称为飽和。非常明显，飽和蒸汽在該溫度下具有最大的压力和最大的密度(图1)。

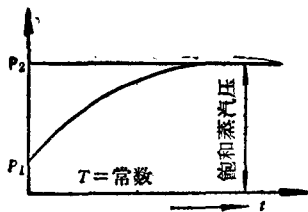
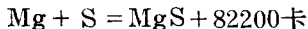


图1 压力与時間的关系。

在鉄水中的液体鎂，由于有去硫作用，一部分与硫化合为硫化鎂并放出大量的热量。其反应方程式如下：



由于鎂与硫化合，使鉄水的溫度提高，此时鎂蒸汽与液体

間的动平衡遭到破坏，使鎂的汽化再次地进行，而鉄液上鎂蒸汽量和蒸汽压力繼續增加，一直进行到再次达到动平衡为止。

2 鎂的汽-液相平衡曲綫

汽-液相平衡曲綫同时也是蒸汽压曲綫。从上节可以知道，蒸汽与液体之間的平衡是取决于它的普通热平衡与压力平衡。此时温度与压力的关系以它們之間的函数表示，則得：

$$P = \varphi(T) \quad (1)$$

压力 (P) 与温度 (T) 的具体关系可以用实验方法测出。下面是計算饱和蒸汽压的經驗式[5]：

$$\log P = 9.52 - \frac{7840}{T} - 1.22 \log T \quad (2)$$

利用公式 2 可以繪出如图 2 的鎂的汽-液相平衡曲綫，曲綫本身凸向温度軸，并带有漸近綫的性质。

在球化处理的瞬間，我們可认为温度 (T) 为常数，此时可根据公式 2 与相律的关系，确定鎂在平衡图中相的存在状态。

在平衡曲綫上的各点自由度 C 等于 0，即表示液相与气相同时存在。位于曲綫两侧的各点，自由度为 1，表示只有一个相存在，液相或气相。在蒸汽压曲綫以下的各点，表示处于压力小于平衡压力 $P < \varphi(T)$ 的不平衡两相

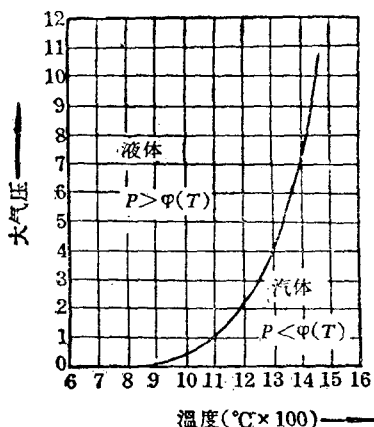


图 2 鎂的汽-液相平衡曲綫。

系統，因此，此两相系統的液相具有較大的等压位，应当气

化。位于蒸汽压曲线上边的各点，表示处于压力大于平衡压力 $P > \varphi(T)$ 的不平衡两相系统，因此它们的气相应当冷凝[4]。

3 镁蒸汽的挥发量

在镁的气-液两相平衡的情况下，对于镁蒸汽的生成量可根据門捷列夫——克拉白龙方程式推算出来。推算如下：

设：铁水的温度为 T ，镁的蒸汽压力为 P ，铁水包剩余空间容积为 V ，则

$$PV = nRT \quad (3)$$

此方程式为 n 分子的門捷列夫——克拉白龙方程式，式中 R 为通用气体常数，其值为 0.082 升——大气压/度， n 为克分子数。

若镁蒸汽量以克表示，则由 3 式得：

$$X = \frac{296.6PV}{T} \quad (4)$$

式中 X ——镁的蒸发数量(克)。

温度是饱和蒸汽压的函数，将公式 2 代入 4 式，此时镁的蒸汽量以百分数表示，则得：

$$\text{Mg} = \frac{296.6V \cdot \text{colog}(9.52 - \frac{7840}{T}) - 1.22 \log T}{W \cdot T} \quad (5)$$

式中 W ——铁水重量(克)。

4 加镁量的确定

球化处理时，镁的加入量必须保证除去硫和球化处理时镁的蒸发损失以及在球化处理后镁在铁水中及镁在凝固时间内的挥发损失以外，还应使镁在铸铁中有足够的余留量。

$$\text{即： } \text{Mg} = \text{Mg}_1 + \text{Mg}_2 + \text{Mg}_3 + \text{Mg}_4 + \text{Mg}_5 \quad (6)$$

式中 Mg ——镁的总加入量(%)；

Mg_1 ——鑄鐵中鎂的余留量(%)；

Mg_2 ——去硫用鎂(%)；

Mg_3 ——運輸和凝固時間內鎂的損失(%)；

Mg_4 ——球化處理時鎂的揮發損失(%)；

Mg_5 ——球化處理時鎂的氧化損失(%)。

關於鎂在鑄鐵中的余留量，我們在長期工作中積累了許多數據，並進行了分析和研究，認為鑄鐵中的含鎂量與鑄鐵中的碳硅含量及鑄件壁厚有關。根據參考文獻〔6〕所載，合適含鎂量的計算如下：

$$Mg = K(C + Si) + 0.00015R \quad (7)$$

式中 $C + Si$ ——碳硅含量(%)；

R ——鑄件壁厚(毫米)；

K ——常數：

$K = 0.013 \sim 0.018$ 時，石墨全部球化；

$K = 0.008 \sim 0.013$ 時，片狀石墨與球狀石墨同時存在；

$K \geq 0.018$ 時，石墨細而少，並有白口組織。

去硫的鎂可用下式決定：

$$Mg + S = MgS$$

$$24.32 \quad 32$$

$$Mg_2 \cdot W = (S_1 - S_2)W$$

$$\text{則 } Mg \cdot W : 24.32 = (S_1 - S_2)W : 32$$

$$\therefore Mg = 0.76(S_1 - S_2) \quad (8)$$

式中 W ——處理鐵水重量(公斤)；

S_1 ——處理前鐵水含硫量(%)；

S_2 ——處理後鐵水含硫量(%)。

在實際生產中，加鎂處理後往往不能立刻進行澆注，還須

經过去渣，用吊車將鉄水運送到澆注的地方澆注，因而使鉄水在包內需要停留一定的時間，在此時間內，已經溶解在鉄水內的鎂會緩慢地揮發。根據文獻〔6〕的介紹，當鑄鉄在1300~1500°C時，鎂的平均揮發速度為0.002~0.008%/分。鑄件在凝固過程中，鎂亦稍有揮發。

H. Г. 蓋爾紹維奇推薦，鎂在球化處理後直到鑄件的凝固時間內，鎂的揮發損失可用下式計算：

$$\text{Mg}_3 = 0.002 \left(\frac{R^2}{4q^2} + \tau \right) = 2 \times 10^{-6} \times R^2 + 0.002 \tau \quad (9)$$

式中 R ——鑄件厚度(毫米)；

q ——凝固常數，砂型 = 15 毫米/分 ^{$\frac{1}{2}$} ；

τ ——球化處理後，鉄水在包中停留的時間(分)。

關於鎂在球化處理時的揮發損失，雖然國外有些學者進行了研究，但還是沒有得出可靠的數據和計算的公式。對這一問題，可根據理論上推算出的公式〔5〕予以確定。

在密閉的鉄水包中或壓力室中，假如有一定的空間，那麼此空間就有氧氣存在。在球化處理時揮發的鎂蒸汽與氧化合，生成白色的氧化鎂，此種反應直到鉄水包中或壓力室中的氧完全化合為止。此時鎂的氧化量可以下式決定：

$$\text{Mg}_5 = \frac{2.174M}{W} \quad (10)$$

式中 Mg_5 ——鎂的氧化數量(%)；

A ——空間體積(升)；

M ——氧在空氣中所占體積(21%)；

W ——鉄水重量(克)。

將公式5、7、8、9、10、代入6，則：

$$\begin{aligned} \text{Mg} = & 0.013(\text{C} + \text{Si}) + 0.00015R + 0.76 \\ & (\text{S}_1 - \text{S}_2) + 2 \times 10^{-6} R^2 + 0.002 \tau \\ & + \frac{296.6V \cdot \text{co} \log(9.52 - \frac{7840}{T} - 1.22 \log T)}{T \cdot W} + \frac{2.17AM}{W} \end{aligned} \quad (11)$$

必須指出，上述公式对鑄造生产具有重要意义。它概括了各种加鎂法，用它可以說明各种低压加鎂法和中压加鎂法球化处理时鎂的揮发现象，以及用它确定压力加鎂法、灭窑加鎂法鎂的加入量。

5 球化处理时消除鎂的损失的方法

一般的低压加鎂法由于包盖不能承受鎂的压力，因此产生剧烈的漏气和鉄水噴出现象。由于鎂蒸汽不断漏出，鉄水包內的鎂蒸汽不能达到饱和，鎂蒸汽与液体間不能建立起动态平衡，这样促使了鎂无限制地蒸发，甚至于蒸发到不能使石墨球化的

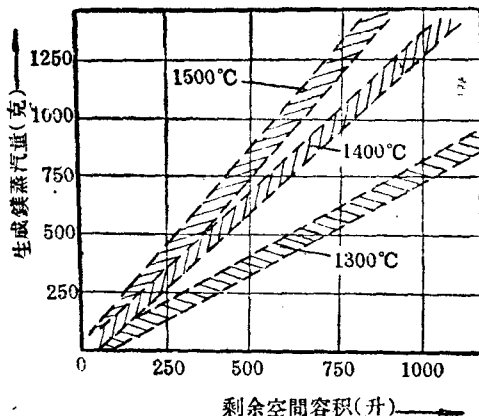


图3 生成蒸汽量与剩余空間容积的关系。

程度。因此这种加鎂法鎂的损失很大，鎂的回收率只有30%

左右。

利用压力加镁法或密闭罐加镁法可以克服镁的蒸汽压力，同时在一定的压力作用下，可以增加镁的沸腾温度（图2）。但是在密闭的铁水包或压力室中，由于有镁的分压及铁水包剩余空间容积的存在，以及外加压力不能超过镁的饱和蒸汽压力，也不可避免地产生镁的蒸发现象，因此也有镁的损失（图3），这是压力加镁法和密闭罐加镁法的缺点。

根据分析，认为有两种加镁法可以消除镁的损失，即高压加镁法和灭容加镁法。

高压加镁是在压力室中通入一种压力大于镁的饱和蒸汽压的气体，例如氮气，来消除镁的蒸发现象。

灭容加镁法是在铁水包中除了克服镁的蒸汽压外，还要消除铁水包剩余空间容积来达到消除镁的挥发的目的。

这两种加镁法的原理可用图2和公式5加以说明。

从图2可以看出，当外加压力大于平衡压力 $P_2 > (T)$ 时，则镁蒸汽全部冷凝成液体或溶解在铁水中。利用这种方法可以达到消除镁的挥发损失的目的。但是采用这种方法时，操作工序太多，时间太长，会使球化处理后的温度下降很多，同时由于压力的增高，对处理的气密性很难保证并且要消耗很多氮气，因此这种方法还是不太理想。

当采用灭容加镁法时，只要消除铁水包剩余空间容积，就可达到消除镁的损失的目的。它比高压加镁法方便得多，工序少，也不需要氮气，这是一种最理想的加镁法。从公式5可以看出，当剩余空间容积等于0时，即 $V = 0$ ，此时 $Mg = 0$ 。

在外加压力作用时，总压力应等于分压力的和，即：

$$P = P_1 + P_2$$

式中 P_1 ——鎂的蒸汽压力；

P_2 ——外加压力。

在一定的压力范围内，总的压力不变，为一常数。因此当外加压力增大时，可使鎂的蒸汽压力减小，甚至于等于 0，則鎂的揮发損失也等于 0。

即： $P_1 = 0$ ， $Mg = 0$ 。

6 各种加鎂法、加鎂量的計算例題

例題 1 澆注一鑄件，鑄件平均厚度为 40 毫米，处理前鉄水碳、硅含量为 6.0%，含硫量为 0.13%，球化处理后的鉄水在包中停留时间为 4 分钟，求用低压加鎂处理时处理前的加鎂量和处理时鎂的揮发量。

解：一般用低压加鎂法处理鑄鉄时，由于鎂的揮发和氧化作用，鎂的回收率只有 30% 左右，而鎂的回收率等于鎂在鉄水內的余留量加去硫用鎂与总的加鎂量之比的百分数。

$$\text{即： } A = \frac{(Mg_1 + 0.76(S_1 - S_2))}{Mg}$$

$$\begin{aligned} \text{則： } Mg &= \frac{(Mg_1 + 0.76(S_1 - S_2))}{A} \\ &= \frac{(0.013(C + Si) + 0.00015R + 0.76(S_1 - S_2))}{A} \\ &= \frac{0.013 \times 6.0 + 0.00015R \times 40 + 0.76(0.13 - 0.03)}{0.3} \\ &= \frac{0.160}{0.3} = 0.53\% \end{aligned}$$

处理时鎂的損失等于总損失減去球化处理后的操作損失与凝固損失，即

$$\begin{aligned} Mg_4 &= Mg(1 - A) - (2 \times 10^{-6}R^2 + 0.002\tau) \\ &= 0.53 \times 0.7 - (2 \times 10^{-6} \times 40^2 + 0.002 \times 4) = 0.360\% \end{aligned}$$

例題 2 若各种因素与例題 1 相同，求处于前炉式中压加