

球墨铸铁型内球化 处理工艺

QMZTXNQHCLGY

qiumozhutie xingnei
qiuhoa chuligongyi

43.5

天津科学技术出版社

87
TG143.5
12

3

8Y77/08

球墨铸铁型内球化 处理工艺

安廷湛 姜镇松 余传炎 编

天津科学技术出版社



B 208613

责任编辑：王定一

**球墨铸铁型内球化
处理工艺**

安延溶 姜镇远 余传炎 编

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道130号

天津新华印刷二厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本787×1092毫米 1/32 印张 5.76 字数 120,000

1987年2月第1版

1987年2月第1次印刷

印数：1—3,000

书号：15212·157 定价：1.40元

ISBN 7-5303-0046 9/TG·1

编 者 的 话

球墨铸铁型内球化处理是七十年代发展起来的一种新工艺，它具有许多优越性：处理时无烟尘和镁光；有良好的瞬时球化和孕育效果，不会出现衰退现象；铸件组织中石墨球数多，圆整细小，能提高机械性能；镁的回收率可达80~100%，球化剂可大为节约；铸态球铁可直接使用；特别适合于大量流水作业线的生产；铸件质量稳定。

本书综合了近年来国内外有关型内球化处理工艺的研究和试验成果，重点介绍国内有关单位和天津大学型内球化科研组的试验情况。期望此工艺能在国内广泛推广和应用，早日赶上世界先进水平。

本书最后对球墨铸铁密流球化处理也作了简单介绍，它是在型内球化处理的基础上发展的另一种类似工艺。

本书承蒙全国铸造学会理事、天津市铸造学会理事长、天津重型机器厂副总工程师韩修玉同志审阅，又承天津大学铸造教研室许多同志的大力协助，在此表示感谢。

本书由安延濬主编，第一章国外资料介绍部分由余传炎编写，第三章天津大学资料介绍部分由姜镇崧编写。本书的照相、绘图、抄写等工作由张金荣、张亮、姜镇崧等同志协助完成，在此表示感谢。

由于编者水平所限，资料收集不够充分，本书存在的缺点错误肯定不少，敬希读者予以指正。

本书可供铸造行业从事球墨铸铁生产、科研、教学工作的人员参考，也可作为有关专业的教学参考书。

一九八四年十二月于天津大学

目 录

引言.....	(1)
第一章 型内球化处理工艺在国外的发展	
情况.....	(7)
§1. 熔解速度和熔解系数.....	(7)
§2. 反应室及其设计.....	(12)
§3. 球化剂合金成分、粒度和加入量.....	(16)
§4. 铁水成分和浇注温度.....	(19)
§5. 金相组织与机械性能.....	(22)
§6. 夹杂物.....	(27)
§7. 质量检验.....	(30)
§8. 型内球化处理的实例.....	(31)
第二章 国内试验研究型内球化处理的情况.....	(37)
§1. 型内球化处理的实践.....	(37)
§2. 对型内球化处理的研究和看法.....	(51)
§3. 熔解系数与反应室参数.....	(71)
第三章 天津大学对型内球化处理的研究	
工作.....	(74)
§1. 型内球化处理的工艺试验及应用	
举例.....	(75)
§2. 型内球化工艺中反应机理、反应室参数及	
熔解系数的探讨.....	(89)

§3. 型内球化工艺中孕育作用的探讨	(108)
§4. 型内球化剂的试验	(115)
§5. 高硫铁水型内球化试验	(136)
第四章 密流球化处理工艺介绍	(144)
§1. 欧洲各国的流槽处理法	(145)
§2. 密流球化处理工艺的试验研究	(150)
§3. 密流球化处理在冲天炉上的应用	(158)
§4. 型上球化的试验研究	(168)
参考文献	(174)

引 言

球墨铸铁是一种新兴的结构材料，它的静态机械性能已接近于钢材，而动态性能（例如抗小能多冲的性能）比钢材更好些。球墨铸铁的生产工艺比钢材简单得多，比铸钢也简单。球墨铸铁在机械制造业中的应用日趋广泛，众所周知的球铁曲轴，即是突出的例子。随着科学技术和工业生产的进步，球墨铸铁具有广阔的发展前途。

球墨铸铁是在本世纪中叶第二次世界大战前后才出现的，距今不过40年左右。最初是以铈作为球化剂处理铁水而获得球状石墨的铸铁，后来广泛地应用镁做球化剂，球化效果也很好。但镁易氧化和燃烧，处理铁水时易被大量烧损，镁的吸收率相当低，且易产生大量烟尘和镁光，甚至有爆炸的危险。近年来处理球墨铸铁所使用的球化剂，多改为镁合金，如硅铁镁合金等。我国有大量的稀土资源，在配制球墨铸铁的球化剂和铸造球铁的工艺方面，有自己独特的风格。在1976年举行的第四十三届国际铸造年会上，我国代表做了有关稀土硅铁镁球墨铸铁的学术报告，很受国际上的重视。

球墨铸铁的球化处理工艺有多种方法，概括起来有两大类：一类是直接加镁法，例如自建压力加镁法、转动包加镁法等；再一类是镁合金球化剂处理法，如冲入法、钟罩压入法、型内处理法等。目前我国大量应用冲入法，这种方法在处理时有烟尘和镁光，对空气有污染，有害工人健康。而且，

把大包冲制的球铁液倒入小包后进行浇注，如时间过长则易产生球化和孕育衰退情况，严重影响金相组织和机械性能。型内球化处理法就是在研究孕育时间问题的基础上逐步发展起来的一种新工艺方法。这种方法目前已在世界各国中应用，特别在大量流水作业生产的球墨铸铁中，占有越来越大的比重。

型内球化处理工艺的突出特点，是将含镁的球化剂合金放在浇注系统中的一个特殊的反应室内。浇注时，铁水在反应室中与合金接触，将合金逐层熔解和吸收，而成为球化的铁液。铁液流出反应室去充填铸型型腔，冷凝后即成为球墨铸铁的铸件。型内球化处理工艺简图如图0-1所示。

型内球化的反应室应有足够的反应空间和反应面积，以保证熔解反应的进行。反应室和浇注系统应该是密闭的，即直浇口截面积应大于反应室入口截面，而进入铸件型腔的缩颈浇口截面应小于反应室出口截面。这样可使反应过程处于密闭状态，以减少合金中镁的氧化和烧损。

设计反应室时，要考虑一下型内球化处理工艺的主要参数——熔解系数 f ，这里

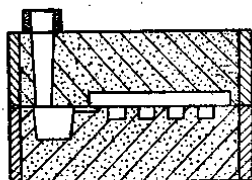
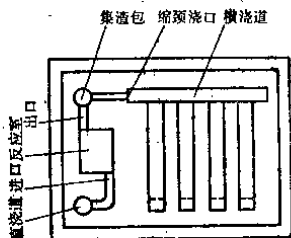


图0-1 型内球化处理工艺简图

$$f = \frac{V}{A}$$

式中 v ——浇注速度 (kg/s) ;

A ——反应室截面积 (cm²)。

各资料推荐的熔解系数值并不完全一致。关于熔解系数的有关问题,将在后面各章中详细介绍。

下面简单地介绍一下型内球化处理工艺的优点:

(1) 球化反应是在型腔内部的反应室中进行的,所以浇注时看不到镁光和烟尘,减少了对环境的污染,改善了劳动条件。

(2) 由于型内球化是在型腔中接近于铸件成形时进行球化处理和孕育作用的,故可达到极良好的瞬时球化和瞬时孕育效果,根本不会出现球化和孕育衰退现象,从而保证了铸件质量的稳定性。

(3) 型内球化处理工艺特别适合于流水作业线的生产方式。与大包冲制处理工艺比较,型内球化处理工艺没有因倒小包浇注,拖长浇注时间,造成每箱铸件球化和孕育衰退时间不等,从而降低铸件质量的问题。此外,型内球化处理工艺也不会出现因流水线上有时发生的短时间停机修整而造成大包已冲制好的铁水无法浇注,不得不报废的情况。所以,型内球化处理工艺特别适合于机械化和自动化的流水作业线,面无需考虑已球化铁水的保存时间问题。

(4) 由于型内球化处理工艺具有瞬时球化和瞬时孕育的效果,铸件组织中石墨球细小,球数多(达到400~600个/mm²),球形圆整,因而机械性能也比冲入法处理的有所提高。1976年第43届国际铸工会议文集中意大利M·Remond-

ino等人所发表的“球墨铸铁型内球化的质量及经济分析”一文^[10]指出：型内球化处理生产的球铁不仅抗拉强度高，而且延伸率也较高。例如曲轴本体取样，铸态 σ_s 可达600N/mm²， σ 可达10%，正火后 σ_s 可达900N/mm²， σ 仍有5%。型内球化法处理的球铁与锻钢及冲入法处理的球铁在抗拉强度和疲劳强度方面的对比，如图0-2及0-3所示。由图可见，型内球化处理球铁的抗拉强度极限、疲劳强度极限等均比冲入法处理的高，有的还超过锻钢或接近于锻钢，对小能多冲的抗冲击韧性也比钢材更好些。

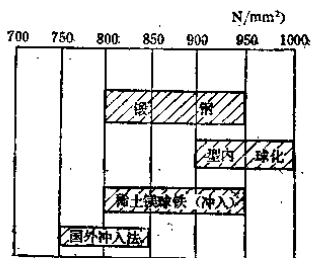


图0-2 抗拉强度极限比较

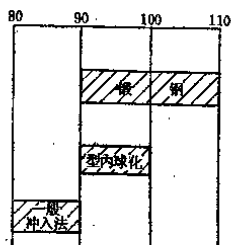


图0-3 疲劳强度极限的比较
(以40号锻钢为100)

(5) 型内球化处理的球化反应是在封闭条件下进行的，所以镁的烧损大为降低。这一方面大大加强了球化剂的效果，使镁的吸收率提高；另一方面也使球化剂的用量大大减少。一般的冲入法处理，镁的回收率仅为20~50%，而型内球化处理的回收率可达80以上，甚至可以达到95~100%。冲入法处理的合金加入量一般为1.2~1.8%，而型内球化处理

的合金加入量约为0.5~1.0%，大大降低了稀土镁合金的消耗。

(6) 型内球化处理的孕育效果很好，甚至不必另加孕育剂，也能获得良好的球铁件，因此也降低了球铁的终硅量，改善了铸件的低温性能。此外，铁素体基体的球铁在铸态下出现的渗碳体量也大为减少，甚至可以不出现，这就有可能取消高温退火工序，或缩短热处理时间。铸态的球铁甚至可以直接使用。

型内球化处理工艺目前也还存在着一些问题，这些问题是：

(1) 型内球化处理的浇注系统中，需要增加一个反应室，所以要多消耗6~10%的原铁水，这对于大批量生产来说是一个大问题。但近几年来国内外又在型内球化处理工艺的基础上研究和开发了密流法，或将反应室安排在铸型之上，实际上已解决了这个问题。

(2) 型内球化处理的工艺要求比较严格。对原铁水成分、温度、反应室和浇注系统的设计，球化剂及孕育剂的成分、粒度、熔制工艺及用量等均要求严格控制，否则铸件就可能出现球化不良以及夹渣和球化不均等情况。要求各有关参数相对稳定，这会给生产上造成一些困难。

(3) 型内球化处理生产的铸件，因无法事先检查球化后的铁水情况，只能在铸件形成后逐个地进行一般的宏观或微观检验，这就给大批量的流水作业线生产带来困难。目前，国内外已开始研究用音频法、超声波法、比电阻法等检查铸件的球化率，如能把这些先进的检测手段用到流水作业线上，将会大力促进型内球化处理这个新工艺的推广。

(4) 型内球化处理工艺需要用含硫量低的高温原铁水，国外多采用冲天炉铁水经过脱硫处理后再由感应电炉升温而后浇注的工艺，国内则多用电弧炉或感应电炉熔炼铁水，这样就给更广泛地推广这个新工艺带来一些困难。国外资料介绍原铁水含硫量最好在0.01%或更低些才好。但国内的一些试验证明，含硫量保持在0.04%左右，浇注温度如能控制在1400℃左右，球化就没有多大问题，也能获得优良的铸件。如果能在选用新生铁或在脱硫方面采取适当措施，用冲天炉铁水进行型内球化处理，则对推广这个新工艺将极为有利。

第一章 型内球化处理工艺 在国外的的发展情况

型内球化处理工艺是1968年由英国材料和工艺公司的C.M.Dunks,J.L.McCaulay等首先研究成功并在英国取得了专利权的。后来,意大利的菲亚特汽车公司购买了专利,并继续进行研究,英国、意大利等国先后于1971~1972年开始正式应用于生产上。以后欧洲一些国家如联邦德国、奥地利、法国,以及美国、日本、澳大利亚、加拿大、苏联和东欧的一些国家均相继采用,主要用于大批量流水作业的汽车制造业中,铸件重量从一磅到一吨均有。

1971年以来各国有关铸造的杂志上相继发表了不少有关型内球化处理工艺的文章和报导,现就其主要内容综述如下。

§1. 熔解速度和熔解系数

英国材料和工艺公司的C.M.Dunks和J.L.McCaulay等人首先指出,型内球化处理要求两个基本条件:化学成分合格、高温、净化的铁水;铁水进入型腔过程中要与球化剂接触进行反应,要保证这个反应一直进行到铁水充满铸型时为止,并且不要产生熔渣。

要保证反应一直进行到铁水充满铸型时为止,就需要控

制好球化剂的溶解速度。如果球化剂溶解速度过低，则铁水中熔吸的残留镁量不足，其结果将导致铸件球化不良。反之，如果溶解速度过高，铁水尚未充满铸型型腔时球化剂已提前溶解完毕，则后期铁水中将缺少必需的残留镁量，可能出现铸件中某一部分完全球化，而其余部分则球化不良或不球化的现象。

任何一种球化剂的溶解速度都与许多种因素有关，这些因素包括：球化剂的成分、块度大小、形状；铁水成分、温度和流经型内反应室的速度；反应室结构和大小；铸件产品类型、形状、重量以及铸造方法等。

大量试验研究表明，只要按铸件定出合适的浇注温度，把实际浇注温度波动控制在 $\pm 35^{\circ}\text{C}$ 范围之内，是不会有太大影响的。球化剂的溶解速度与铁水的浇注速度和反应室大小之间存在着一种关系，这种关系可用下面的简单公式表示：

$$\frac{\text{浇注速度}}{\text{反应室大小}} = \text{球化剂溶解系数 (f)} \quad [1]$$

这就是众所周知的型内球化处理的McCaulay公式。后来C. M. Dunks等人把这个公式明确为：

$$\frac{\text{浇注速度 (kg/s)}}{\text{反应室面积 (cm}^2\text{)}} = \text{溶解系数} \quad [2]$$

这就使溶解系数有了明确的量纲： $\text{kg/s} \cdot \text{cm}^2$ 。英国材料和工艺公司所采用的16号球化剂合金，溶解系数值为 $0.05 \sim 0.07 \text{kg/s} \cdot \text{cm}^2$ 。当溶解系数超过此值时，会使溶解速度过低，此时由于球化处理不足（即低的残余镁量）将造成球化不良。相反，溶解系数低于此值，则溶解速度会过高，这将造成浇注尚未完成时，所有球化剂即已溶解完毕，因而部分

铸件也未能完全球化的现象。

熔解系数与含镁量之间的关系，如图1-1所示。这是英国材料和工艺公司采用加入量为0.8%的16号合金时测出的。

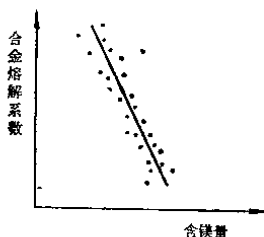


图1-1 熔解系数与含镁量之间关系

意大利菲亚特汽车公司的M. Remodino 等人认为，如果型内球化处理所用的反应室水平截面始终不变的话，那么与铁水流相接触的合金表面积在浇注过程中也是始终不变的。实际上，在单位时间内熔入铁水的合金浓度，正比于与铁水流相接触的合金表面积，而反比于铁水的流速。铁水流速与合金反应室面积的比值（称之为熔解系数）可作为一个浇注系统熔解合金能力大小的定量指标。【3】

对于型内球化处理来说，合金的抗衰退性能已不重要了；而它在铁水流中的熔解速度却变成了主要因素。在铁水流中的熔解速度太低（在铸件的最初部分处理得不充分）或太高（在铸件的最后部分处理得不充分），都不适合于型内球化处理。

意大利菲亚特汽车公司推荐的熔解系数为 $0.045 \text{ kg/s} \cdot \text{cm}^2$ 。

埃及M. A. EL-Salamoni等人认为,控制球化剂熔解速度的主要因素可以归纳如下^[13],

- 1) 浇注温度及速度;
- 2) 球化剂的种类及其颗粒大小;
- 3) 反应室的设计。

M. A. EL-Salamoni认为, McCauley公式中合金的熔解系数等于浇注速度与反应室面积比值的说法, 没有考虑浇注温度、合金种类和粒度、反应室结构的影响。实际上, 在进行型内球化处理时, 熔解反应的时间应等于充型时间, 即:

$$\text{反应时间 } (t_r) = \text{充型时间 } (t_f) \quad [4]$$

根据球化剂和铁水之间的热平衡方程式, 可推导出浇注温度 (T_p)、浇注速度 (R_p) 铸件重量与充型时间的比值 W_c/t_f 、球化剂中的镁量 ($\text{Mg}\%$) 和反应时间 (t_r) 之间的关系为:

$$t_r = t_f = \frac{W_c}{\text{Mg}\% - (B - \frac{C}{T_p})^n}$$

式中 m 、 n 、 B 、 C 均为铸型和粒度常数, 可由实验确定。

需要指出, MgS 、 MgO 、 Mg_3P_2 、 SiO_2 等的生成热与镁的汽化热比较起来是较小的, 所以这些生成热可以不考虑。

这是个广义的公式, 由于式中 m 、 n 、 B 、 C 等常数值是根难确定的, 所以就目前来说, 这个公式仅能做理论分析而已。

M. A. EL-Salamoni 等人为了研究浇注温度和浇注速度对合金熔解特性和铸铁组织的影响, 专门设计了一套浇注