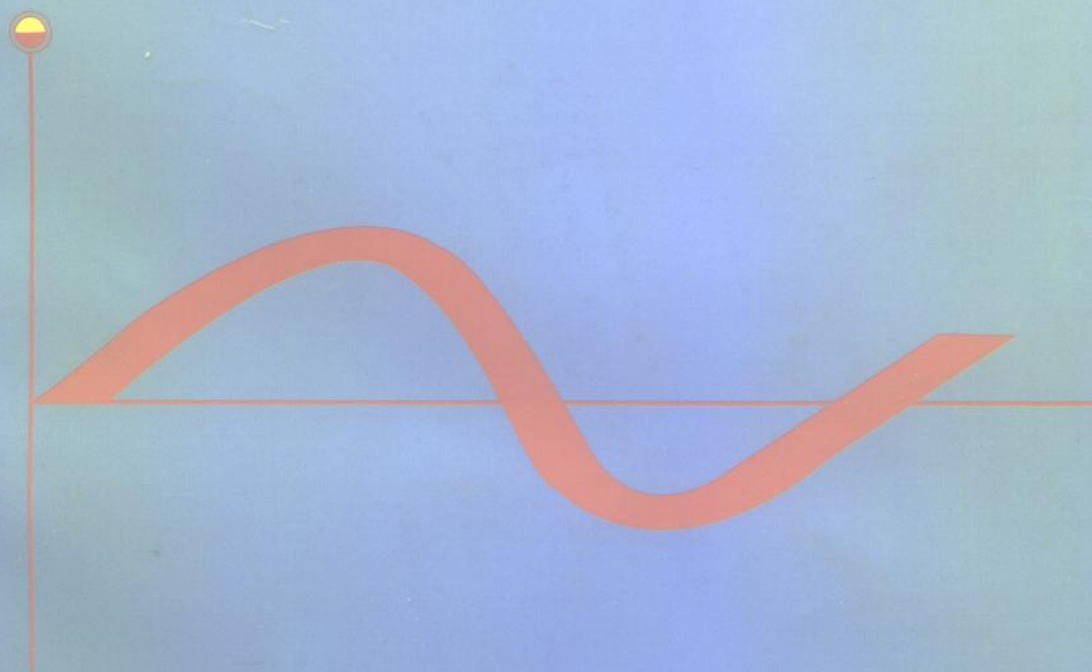


国家科技成果重点推广计划项目
机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目

铸件均衡凝固技术及其应用

魏兵 袁森 张卫华 著



铸件均衡凝固技术及其应用
魏兵 袁森 张卫华 著

机

244
1

版社

机械工业出版社

本书系统介绍了国家科技成果重点推广计划项目——均衡凝固技术成果的内容和生产应用经验。其主要内容有:铸铁件均衡凝固与有限补缩,铸铁件冒口补缩设计及应用,压边浇冒口系统,浇注系统大孔出流理论与设计,均衡凝固工艺铸件质量控制,铸钢、白口铸铁和铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺及均衡凝固技术专家系统 CAD 等。其特点是理论研究结合工程实际,技术可靠,实用性强,自成体系。内容深入浅出,易于掌握。

本书可供广大铸造工程技术人员学习应用,也可作为工科高等学校本科生、研究生铸造工艺课程的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

铸件均衡凝固技术及其应用/魏兵等著. —北京:机械工业出版社,1998.6
ISBN 7-111-06302-3

I. 铸… II. 魏… III. 浇铸—凝固 IV. TG244

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 08709 号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037)

责任编辑:季顺利 封面设计:宋晓磊

西安理工大学印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998年10月第1版·1998年10月第1次印刷

787mm×1092mm/16·17印张·425千字

印数:0 001—3 000册

定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

序

铸造作为液态金属成形方法是先进制造技术重要的组成部分。现代凝固理论和技术给铸造这门古老的行业赋予了新的内容和生命,许多新材料的开发和应用不得不借助于液态金属铸造成形工艺。可以预见,我国的铸件市场今后仍将保持越来越活跃的局面。先进的铸造工艺是获得优质铸件的前提和控制途径,众多的铸造学者和工程技术人员为此而辛勤地探索着、耕耘着,并不断有所发现、有所创新。

西安理工大学魏兵教授和他的课题组,从1979年开始对铸件的充填和补缩工艺进行了持续又卓有成效的研究工作,提出了均衡凝固、有限补缩、大孔出流等一系列新的工艺思想和专门技术。1984年,我有幸曾经主持均衡凝固技术成果的鉴定,肯定了该技术的创新性和实用性。十几年来,均衡凝固技术的内容不断有所发展和完善,已经形成了自成系统、独具特色的铸造工艺理论和技术,并被列为国家科技成果重点推广计划项目,受到生产应用厂家的一致欢迎和赞誉。均衡凝固技术,理论紧密结合生产实际,一些问题的处理已由定性转向定量,工程实用性强,经济效益和社会效益显著,是对铸件浇注与补缩工艺理论的发展。1987年获国家级科技进步二等奖,在铸造界形成了自己的影响和地位。

本书作者比较详尽地介绍了均衡凝固技术的理论、原则和应用实例,内容丰富,覆盖面广,理论新颖,技术先进,富有启发性,倾注了作者的心血和智慧。我相信,这本书的出版发行将会受到行业同仁的重视和欢迎。同时,也将对我国铸造技术的进步、铸件质量的提高以及铸造事业的繁荣起到积极的推动作用。

中国工程院院士
西北工业大学教授

傅恒志

1998年1月于西安

前 言

均衡凝固技术是西安理工大学与秦川机床厂、宝鸡石油机械厂、第一拖拉机制造厂、山东烟台铸造厂等单位合作,对铸件浇注、收缩与补缩规律进行研究取得的铸造工艺系列科研成果的总称。这些科研成果包括:铸铁件均衡凝固与有限补缩的研究与应用,铸铁件冒口类型的研究与应用,铸铁件收缩时间分数与补缩率的统计研究,提高机床铸铁件质量的研究,消除厚大铸铁件缩孔、缩松的冷颈冒口技术的研究与应用,轮类铸铁件铸造工艺统计研究与专家系统,铸铁件的补缩与冒口根部缩孔形成机理的试验研究,灰铸铁和球墨铸铁奥氏体枝晶金相显示与形貌的研究,浇注系统大孔出流理论的研究与应用,压边浇冒口系统的研究与应用,垂直分型等压等流量浇注系统的研究与应用,非对称型浇注系统叠加理论的研究,铸钢件冒口离开热节动态顺序凝固的研究,铸铁件型芯用浅色涂料的研究,铸钢件烧结型涂料的研究及均衡凝固技术专家系统 CAD 等。均衡凝固技术从基础研究、应用研究,到在全国大面积推广,完成研究论文和试验报告 136 篇。1987 年机械工业部全国均衡凝固技术经验交流会(宝鸡)、1992 年国家科委均衡凝固技术学术研讨会(九江)、1996 年国家科委均衡凝固技术经验交流会暨学术研讨会(西安)等 3 次均衡凝固技术专题会议共发表论文、生产应用技术报告 569 篇。生产应用证明:均衡凝固技术对防止和消除铸件缩孔、缩松、气孔、夹渣、裂纹及渗漏等缺陷,提高铸件质量,节约原材料和能源等方面具有明显的技术经济效益。与传统工艺相比,铸铁件废品率下降 50%~85%,铸件合格品率稳定在 95%以上,平均每吨铸件节约铁液 150~300kg,焦炭 25~30kg,电力 5~7kW·h,节约造型及清理工时 15%~25%;铸钢、铸铝、铸铜及白口铸铁件工艺出品率提高 3%~5%。均衡凝固技术于 1990 年列入国家科技成果重点推广计划项目,编号 I 3-1-5-2。据机械工业部科技司、沈阳铸造研究所和全国铸造学会调查统计,全国 28 省市 15 个部委的 7000 余家工厂采用了这项技术。“均衡凝固与压边浇冒口系统的研究与应用”成果 1985 年获机械工业部科技进步一等奖,1986 年获陕西省科技进步一等奖,1987 年获国家科技进步二等奖。“均衡凝固技术推广应用”成果 1995 年获陕西省科技进步一等奖。“均衡凝固与压边浇冒口系统”成果被收入《1979~1988 年中华人民共和国重大科技成果选集》。均衡凝固、大孔出流理论已进入高等学校教科书,并被收入《铸造手册(工艺卷)》和《铸造术语》国家标准。

铸件质量控制包括铸造原材料的质量控制、生产工艺过程的质量控制和产品检测的质量控制。生产合格铸件的关键,一是材料,二是工艺。在原辅材料符合标准的情况下,铸造工艺的质量则是主要因素。铸造工艺包括铸造工艺理论、铸件工艺设计和铸造工艺过程。要提高铸件工艺设计和铸造工艺过程的质量,首先工艺理论要正确,应该是用正确理论指导工艺设计和铸造工艺过程,不断用新理论、新工艺更新旧理论、老工艺。本书讲述的铸件质量控制主要是铸造工艺方面的内容。

灰铸铁和球墨铸铁件(以下简称铸铁件)在冷却、凝固过程中既有液态收缩、凝固收缩,又有石墨析出产生的膨胀。宏观上,铸件成形过程中所表现出来的体积变化,是收缩、膨胀相抵的净结果。均衡凝固就是利用膨胀与收缩动态叠加的自补缩和浇冒口系统的外部补缩,采取工艺

措施,使单位时间的收缩与膨胀、收缩与补缩按比例进行的一种凝固原则。均衡凝固的冒口只是补充铸件自补不足的差额,冒口在补缩量与补缩时间上是有限的,称为有限补缩。因此,冒口不必要晚于铸件凝固,冒口不要放在铸件的几何热节上。这样,从理论上和技术上把铸铁件的工艺设计从铸钢件顺序凝固原则中分离出来,是本书的特点之一。在铸件充填设计中,根据砂型既透气又能对金属流股有约束作用的特殊性,浇注系统截面比值的相近性,直浇道、横浇道、内浇道相互直角连接流股转向的突变性,不把浇注系统看成是纯管道系统,而把它看成是由液箱、管道和管嘴组成的相互有影响的液面系统。在直浇道高度一定的条件下,当直浇道、横浇道与内浇道截面面积比值在小于 5 的范围内变化时,内浇道出流压头和速度变化的幅度较大;当截面面积比值大于 5 且继续增大时,内浇道出流压头和速度变化幅度逐渐减小并趋于一个定值。把直浇道、横浇道与内浇道截面面积比值小于 5 的浇注系统出流称为大孔出流。大孔出流时,内浇道出流压头和速度不仅与浇口杯液面到内浇道中心的垂直距离有关,还与浇注系统截面面积比值的大小有关。从理论上和技术上把浇注系统设计从水力学小孔出流中分离出来,把截面面积比值作为一个重要的工艺参数纳入计算公式,解决了浇注系统截面面积计算值偏小的问题,提出了等压等流量、大流量低流速的控制技术,是本书的特点之二。铸钢件冒口离开热节动态顺序凝固的研究表明,冒口放在铸件的几何热节上形成大于几何热节的接触热节,会延长铸件的凝固时间和冒口补缩时间。所以,各类合金铸件的冒口都不应该直接安放在几何热节上。为控制冒口根部铸件的凝固时间,在冒口根部安放冷铁,在理论上是可行的,在技术上是成功的,这是本书的特点之三。本书是在长期科学研究与生产实践基础上系统总结、完善后写成的,具有直接实用性。可作为工科高等学校本科生、研究生材料加工及成形课程的参考教材,可供铸造工程技术人员学习应用。

本书稿内容于 1992 年曾作为均衡凝固技术推广教材印刷使用。这次出版在内容上作了调整,增加了铸铁件收缩时间分数和补缩率的定量计算、冷颈冒口技术、铸钢件冒口离开热节动态顺序凝固等内容,压缩了冷铁、型芯用涂料等内容。为便于理解,沿用重量一词表示物体的质量(mass),在地球参照系,物体的重量和质量在数值上是相同的。书中铸件的重量、冒口的重量就是指铸件的质量、冒口的质量。鉴于均衡凝固特点,本书仍采用顺序凝固表征铸件凝固顺序,而不用定向凝固术语。

徐锦锋、范志康、连炜、王迪功、胡天登、和洪、张翼鹏、洪礼华、杨启攸、邓岳平、王守志、肖志杰、马崇锋、欧波、王传梅、王承辉、隋建华、汤明健、朱建中、许继堂、陈伟、贾汉臣、张国友、邹德宁、单忠德和范金辉等参加了成果研究、推广应用和本书的著述工作。书中选用了 100 多个生产应用实例,并注明了提供的厂家和人员,成稿过程中得到了肖鹏、王建武、何树先等的支持,在此一并表示感谢。

作者水平有限,书中不妥之处敬请读者批评指正。

作者

1997 年 10 月于西安

目 录

序

前言

第一章 铸铁件均衡凝固与有限补缩.....	1
第一节 铸铁件收缩与补缩特点.....	1
一、收缩量的不确定性	1
二、收缩和膨胀的动态叠加	2
三、铸铁件有限补缩	5
四、铸件收缩速度的可变性	5
第二节 接触热节.....	7
一、接触热节的产生	7
二、中性热节	7
三、接触热节的防止和消除	8
第三节 铸铁件补缩方式分析	14
一、铸铁件的树枝晶凝固与收缩.....	14
二、铸铁件的自补缩方式.....	15
第四节 铸铁件均衡凝固工艺原则	20
一、均衡凝固的定义.....	20
二、均衡凝固的工艺原则.....	20
三、均衡凝固与顺序凝固的异同.....	20
四、均衡凝固与同时凝固的异同.....	21
第二章 铸铁件冒口补缩设计及应用	22
第一节 铸铁件冒口补缩设计基础	22
一、收缩时间分数.....	23
二、补缩率.....	23
三、周界商.....	23
四、收缩模数.....	24
五、均衡段.....	25
六、冒口残余模数.....	25
七、冒口颈自适应调节作用.....	26
第二节 铸铁件收缩时间分数、补缩率统计研究.....	27
一、收缩时间分数、补缩率数据统计	27
二、回归分析的模型选择.....	28
三、数据回归分析.....	29

四、统计研究结论·····	29
第三节 铸铁件冒口类型及结构·····	31
一、冒口类型·····	31
二、推荐的铸铁件冒口类型·····	31
三、冒口类型的应用·····	33
四、冒口标准化结构·····	34
第四节 铸铁件冒口设计方法·····	66
一、收缩模数法冒口设计·····	66
二、收缩模数列表法冒口设计·····	67
三、分段比例法冒口设计·····	70
四、短薄宽冒口颈设计·····	73
五、冒口位置确定·····	73
六、冒口个数确定·····	74
第五节 冒口设计的工程应用举例·····	74
一、耳冒口·····	74
二、压边冒口·····	76
三、鸭嘴冒口·····	77
四、顶缩颈冒口·····	79
五、飞边冒口·····	79
六、均衡凝固补缩工艺分析·····	80
第六节 无冒口铸造·····	82
一、无冒口铸造时铸件结构特征·····	83
二、无冒口铸造的浇注系统·····	83
三、无冒口铸造的保险冒口和溢流冒口·····	84
四、保温材料与冷铁·····	84
五、无冒口铸造工艺应用实例·····	84
六、无冒口铸造的设计实例·····	84
第三章 压边浇冒口系统·····	87
第一节 压边浇冒口系统的充填过程·····	87
一、充填过程理论分析·····	87
二、实验验证·····	90
三、充填过程的流态观察·····	91
第二节 压边浇冒口系统的补缩设计·····	91
一、试验条件·····	92
二、凝固过程的观察·····	92
三、压边冒口尺寸对补缩的影响·····	94
第三节 压边浇冒口的类型·····	96
一、压边浇冒口系统的类型及应用·····	96
二、压边缝隙面积和压边长度的计算·····	98
第四节 压边浇冒口尺寸的确定·····	99

一、中小型铸铁件压边浇冒口尺寸的确定	99
二、大型铸铁件压边浇冒口的设计	103
第五节 压边浇冒口的应用	104
一、印刷机球墨铸铁连杆压边浇冒口工艺	104
二、动力机球墨铸铁连杆压边浇冒口工艺	106
三、柴油机飞轮压边浇冒口工艺	109
四、压边浇冒口工艺在大型板类铸铁件上的应用	112
五、压边浇冒口工艺在工作台铸件上的应用	115
六、杆类铸件的压边浇冒口工艺	116
七、铸铁件压边浇冒口缝隙宽度因数及应用	117
八、60t 压砖机横梁压边浇冒口工艺	118
九、刹车盘压边冒口工艺	118
十、柴油机顶杆导筒压边浇冒口—冷铁工艺	120
十一、压边浇冒口应用实例	121
第四章 浇注系统大孔出流理论与设计	123
第一节 浇注系统截面比与内浇道出流速度的关系	124
一、孔口出流的实验观察	124
二、浇注系统大孔出流	125
第二节 浇口杯、直浇道、内浇道三单元浇注系统大孔出流研究	126
一、水力模拟试验	126
二、数学模型	126
三、充填动态参数	128
第三节 浇口杯、直浇道、横浇道、内浇道四单元浇注系统大孔出流研究	130
一、四单元浇注系统实际作用压头	130
二、水力模拟试验分析	131
三、四单元浇注系统充填过程动态参数的确定	133
第四节 浇注系统大孔出流工程计算	135
一、浇注系统的工程计算	135
二、计算实例	138
第五节 浇注系统大孔出流工程应用实践	142
一、调整内浇道面积,消除气缸盖水腔尺寸偏差	142
二、大孔出流消除球墨铸铁衬板弧面夹砂缺陷	144
三、大孔出流防止汽车轮毂夹砂结疤缺陷	146
四、用大孔出流控制铸件浇注及铸件表面质量	147
五、调整浇注系统截面比值控制铸件质量	150
六、重型铸铁件浇注系统大孔出流设计	150
七、中间支座铸造工艺的改进	153
八、大孔出流在大批量流水生产汽车球墨铸铁件上的应用	156
九、大孔出流标准化设计	160
第六节 环形横浇道大孔出流规律的研究与应用	164

一、理论分析	164
二、水力模拟试验	165
三、内浇道引入方式	165
四、生产实例	167
第七节 用叠加法设计非对称型浇注系统的研究	167
一、叠加法设计原理	168
二、浇注系统叠加成立的条件	168
三、浇注系统叠加的水力模拟试验	170
四、非对称型浇注系统的叠加法设计	171
第八节 垂直分型等压等流量浇注系统	173
一、垂直分型浇注系统水力模拟试验	173
二、垂直分型等压等流量浇注系统	176
三、垂直分型等压等流量浇注系统压头搭接原则	177
第五章 铸件均衡凝固工艺	178
第一节 爬芯顶注靠边冒口工艺	178
一、轴承体中间分型横浇道爬芯顶注侧冒口工艺	178
二、空压机气缸体铸件中间分型横浇道爬芯顶注工艺	178
三、铣床工作台和床鞍铸件底面分型横浇道爬芯压边浇冒口工艺	180
四、轴承壳顶注水平缝隙浇道座芯工艺	181
五、拖拉机牵引板座芯压边浇冒口工艺	182
第二节 溢流排渣工艺	182
一、一端浇一端冒工艺	182
二、内浇道径向引入溢流冒口工艺	185
三、轴向溢流补缩冒口工艺	185
四、平板类铸件披缝溢流工艺	186
五、具有结构冒口铸件的浇注工艺	187
第三节 冷铁—冒口工艺	189
一、冷铁—冒口工艺应用实例	189
二、冷颈冒口工艺	192
三、冷肋冒口工艺	197
第四节 内浇道径向、轴向多道分散引入工艺	197
一、拖拉机带轮环形横浇道压边内浇道轴向引入工艺	198
二、分散小内浇道的设计与应用	200
三、筒形铸铁件顶雨淋铸造工艺	202
四、盘类和轮类铸件径向、轴向引入溢流冒口工艺	204
第五节 顶注工艺	205
一、顶注与底注	206
二、顶注底冒与底注顶冒	206
第六节 铸铁件膨胀裂纹	209
一、球体铸铁件膨胀裂纹缺陷的消除	210

二、压边浇冒口消除铸件膨胀裂纹	210
三、压边冒口加冷铁工艺消除圈类铸件热裂纹缺陷	211
第六章 铸钢、白口铸铁、铝、铜合金	
铸件的均衡凝固工艺	214
第一节 铸钢件冒口离开热节动态顺序凝固研究	214
一、试验方法	215
二、试验过程及结果	215
第二节 铸钢件冒口离开热节工艺实践	222
一、铸钢半齿圈冒口离开热节工艺	222
二、铸钢齿轮轮缘冒口放在两热节之间工艺	222
三、铸钢件压边浇冒口实例	222
四、短、薄、宽冒口颈在 ZGMn13 轧臼壁类铸件上的应用	223
第三节 高铬白口铸铁件均衡凝固补缩工艺	225
一、高铬白口铸铁铸造工艺分析及质量控制	226
二、高铬铸铁冲渣沟铸件雨淋顶注冷铁工艺	227
三、压边冒口在高铬白口铸铁衬板上的应用	230
四、压边浇冒口工艺生产白口铸铁辊铸件	231
五、厚大断面白口铸铁件压边浇冒口工艺	232
六、可锻铸铁冒口离开热节工艺	232
第四节 均衡凝固工艺在铝合金铸件上的应用	233
一、托架顶注压边引入耳冒口溢流工艺	233
二、箱体冷肋冒口工艺	233
三、大底盘径向引入耳冒口工艺	234
第五节 铝青铜铸件均衡凝固工艺	234
一、铜套压边浇冒口工艺	234
二、轮缘耳冒口工艺	236
三、轴瓦双压边冒口工艺	237
第七章 均衡凝固技术专家系统 CAD	238
第一节 ES—CAD 系统的知识模型	240
一、知识表示方法	240
二、ES—CAD 系统的知识表示模型	241
三、知识的获取	243
第二节 推理机设计	243
第三节 工艺结构的设计计算 CAD	245
第四节 工艺过程数值模拟	246
一、内存—磁盘交换技术	247
二、充型流动和凝固模拟模型	247
第五节 ES—CAD 缺陷预测和控制	249
第六节 ES—CAD 系统功能简介	250

一、系统启动	250
二、ES—CAD 系统功能模块构成	250
 附录 国内部分厂家冒口标准化实例.....	253
一、昆明机床股份有限公司冒口系列	253
二、宝鸡石油机械厂冒口系列	258
三、秦川机床厂冒口系列	259
四、大连起重机器厂冒口系列	260

第一章 铸铁件均衡凝固与有限补缩

灰铸铁和球墨铸铁件在冷却、凝固过程中,既有液态收缩、凝固收缩,又有石墨析出产生的膨胀。宏观上,铸件成形过程中所表现出来的体积变化,是膨胀与收缩相抵的净结果。均衡凝固(Proportional Solidification)就是研究石墨铸铁件(以下简称铸铁件)“胀缩相抵”的自补缩作用与浇冒口外部补缩的规律,提出反映铸铁件凝固、收缩与补缩特点的工艺设计原则和生产技术,和同时凝固、顺序凝固并存,作为铸件工艺设计的原则。

第一节 铸铁件收缩与补缩特点

铸铁件在冷却和凝固过程中所经历的体积变化、收缩行为不同于目前工业上使用的大多数金属与合金。

一、收缩量的不确定性

铸铁件的收缩值除与合金化学成分、浇注温度有关外,还强烈地依赖于冷却速度。而铸件的冷却速度和铸型的热物理参数有关,在一般情况下,主要取决于铸件的结构和壁厚。

1. 三角形试样 它是一个简单的铸件。壁厚由小到大连续变化,冷却速度也由大到小连续变化。生产中利用它在不同部位的不同冷却速度所形成的不同白口宽度来预报和控制铁液的化学成分及孕育效果。这在铸造工艺上也是一个启示:同一个铸型、同样的化学成分、相同的浇注温度,由于壁厚差别,形成了白口、麻口与灰口等不同的组织,并对应有不同的收缩。对于一个铸件,总存在壁厚差别,就是壁厚非常均匀的平板、套筒、立方体等类铸件,其棱角与中心、内角与外角、芯子与外型散热也是不同的,凝固组织中树枝晶和石墨数量就会有差别。近期的研究^①表明:在灰口凝固的条件下,冷却速度不同,奥氏体枝晶数量也不同。例如碳当量 $CE = 3.80\% \sim 3.84\%$, $w_{Si}/w_C = 0.46 \sim 0.52$ 的亚共晶灰铸铁,冷却速度为 $3^\circ\text{C}/\text{min}$ (与通常用热分析法测定平衡相图的冷却速度接近),对应的奥氏体枝晶的体积分数为 20.5% (与平衡相图的计算接近);当冷却速度增加到 $200^\circ\text{C}/\text{min}$ (相当于 $\phi 30\text{mm}$ 干砂型试棒的冷却条件),对应的初生奥氏体枝晶总的体积分数为 44.6% 。和平衡凝固状态相比,铸造条件下奥氏体枝晶的体积分数增加为 2.2 倍。大量枝晶的早期析出,会加大铁液共晶反应前的体收缩。

2. 圆球形试样收缩试验 在一个铸型内,用同一包铁液浇注直径为 40mm 、 60mm 、 80mm 、 100mm 、 120mm 、 160mm 、 180mm 、 200mm 的圆球,直浇道 $\phi 12\text{mm}$,顶注,不设冒口补缩,浇注工艺见图 1-1a。分别在干砂型、水玻璃砂型及湿砂型的生产条件下,同时浇注灰铸铁(HT200)和球墨铸铁(QT500-7)铁液,测得不同直径圆球的缩孔体积,其与对应圆球体积比值作为圆球试样的体积收缩率。试样经过解剖,内部无分散性缩孔及缩松。体收缩率随圆球直径的变化规律如图 1-1b。

从图 1-1 可以看出:

^① 王贻青,吕一力,灰铸铁凝固中有关奥氏体枝晶若干问题的探讨,球铁,1985(2)

① 圆球体收缩率随其直径的增大呈规律性变化。圆球直径小,体收缩率较大。当圆球的直径增大到某一值后,体收缩率减小。这说明铸铁件壁厚增大到一定值后,体收缩有减小的趋势。

② 铸型刚性的影响。同样的合金,干砂型时体收缩率较小,湿砂型时体收缩率较大,水玻璃砂型居中。

③ 球墨铸铁的体收缩率,在圆球直径较小时大于灰铸铁,在圆球直径较大时小于灰铸铁。

综上所述,铸铁件的收缩值不是材料上的常数,随化学成分、铸件结构和铸造工艺条件的变化而变化,不能根据合金的种类或牌号给出一个确定的收缩值,更不能用一些资料提供的铸铁合金的收缩值设计铸铁件的冒口尺寸。铸铁合金的收缩值与铸铁件的收缩值是两回事。铸铁合金的体收缩一般都是用一个有限尺寸的小试样来测定的。众多的研究表明:用物理方法精确测量铸铁冷却和凝固期间体积变化是难以实现的,真实收缩的定量数据是无法得到的。因为试样的温度是不均匀的,凝固总是从底部到顶部,从边缘到中心进行,不同部位同一时间产生的收缩和膨胀的相抵作用,使收缩值减小。试样温度分布越不均匀,测得的收缩值波动越大。这就是目前各个研究者提供的铸铁合金收缩值差别较大的原因。试样是一种特殊的铸件。铸件有一定的大小、形状和结构,这是千差万别的,从而影响到实际冷却速度和温度分布的差别,也影响到同一时刻不同部位收缩和膨胀的叠加情况,即石墨化膨胀的利用程度。这样,从收缩与膨胀数量、收缩与膨胀时间进程上产生的差异,就构成同一种合金浇注不同的铸件,对应有不同收缩值的情况。在一般砂型铸造条件下,越是薄小件,收缩值越大,越是要强调补缩;越是厚大件,收缩有减小的趋势,冒口可适当减小或不放冒口,实现小冒口或无冒口铸造。

二、收缩和膨胀的动态叠加

一个铸件各个区域的冷却速度是不同的,薄壁部分比厚壁部分冷却速度大,铸件的棱角边缘比中心冷却速度大。一般工程上测定铸件的冷却曲线,只是被测点一处的冷却、凝固情况,而不能代表整个铸件。就一点而言,收缩在前,膨胀在后,二者是不能相抵的。就铸件整体而言,各个区域进入收缩、膨胀的时间是不同的,有先有后,相互交错、重叠。确切地说,一个铸件在凝固的某一时刻,有些部分正在收缩,有些部分已经进入石墨化膨胀,时间是同时的,铁液是相通的。这时,胀缩就可以叠加相抵,铸件表现出来的收缩值,实际上是胀缩相抵的净结果,其原理如图 1-2 所示。图中 A 为型腔充填开始点,进入型腔的铁液温度随之下下降,发生收缩,收缩量随充填体积增加而增大;同时,受铸型激冷作用,铁液凝固并开始石墨化膨胀。B 为型腔充填完毕,整体温度下降速率达最大值。C 为铸件凝固结束时刻点。D 为石墨化膨胀速率最大值。曲边三角形 ABC 为铸件的总收缩,为液态收缩与凝固收缩之和。曲边三角形 ADC 为铸件的石墨化

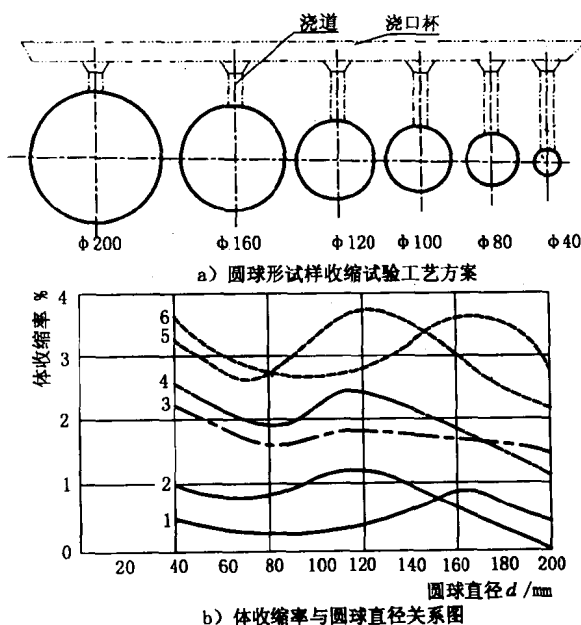


图 1-1 铸铁种类、铸型条件、试样直径对体收缩率的影响

1—灰铸铁、干砂型 2—球墨铸铁、干砂型 3—灰铸铁、水玻璃砂型 4—球墨铸铁、水玻璃砂型 5—灰铸铁、湿砂型 6—球墨铸铁、湿砂型

膨胀。曲边三角形 $AB'P$ 为铸件胀缩相抵的净收缩,称为铸件的表观收缩,是铸件表现出来能被测量到的收缩值。 AC 为铸件凝固时间。 AP 为铸件表观收缩时间,即铸件存在自补不足的差额时间,也是冒口外部补缩时间。 P 为均衡点,对应的时间是铸件收缩量等于膨胀量的时间,此时表观收缩为零,即为冒口补缩终止时间。 AP/AC 为铸件收缩时间分数,由于存在石墨化膨胀,铸铁件收缩时间只占凝固时间的一部分。

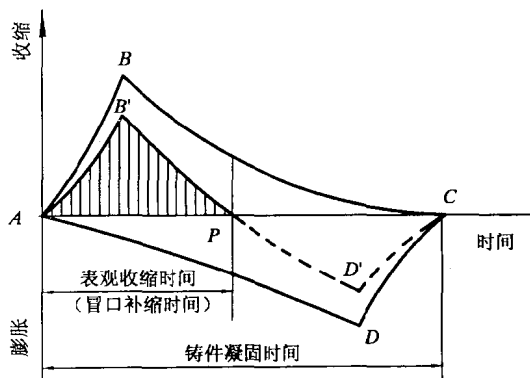


图 1-2 铸铁件收缩与膨胀的叠加

铸铁合金收缩值大,石墨化膨胀量小,则表观收缩值大,均衡点 P 后移,冒口补缩量,补缩时间长。如果铸件无膨胀(如铸钢、白口铸铁、铝铜合金等), P 点和 C 点重合,铸件的凝固时间就是冒口补缩时间。

铸件单位时间的收缩量(称为收缩速度)大,即收缩来的集中,相对石墨化膨胀后移,表观收缩量加大,则必须加强冒口的外部补缩,这相当于小型铸铁件的情况。对于厚大铸铁件,收缩速度小,相对石墨化膨胀提前,有利于胀缩相抵,使均衡点前移,缩短了冒口补缩时间。所以,凡有利于铸件收缩后移和石墨化膨胀提前的因素,都有利于胀缩的早期叠加,使均衡点 P 前移,使冒口尺寸减小。提高铸型刚性,可以提高石墨化膨胀的利用程度,不使型壁外移消耗膨胀量于型腔扩大,也有利于均衡点 P 前移。

由铸件收缩和膨胀的动态叠加图,可以说明同一种合金,浇注不同的铸件,对应应有不同收缩值的原因。

① 铸钢、白口铸铁、铝铜合金铸件,无凝固膨胀,其叠加图如图 1-3a。

这种合金,可以看成是凝固时膨胀量为零。胀缩叠加的结果, P 点和 C 点重合,铸件表观收缩三角形和合金体收缩三角形重合,收缩时间等于凝固时间。冒口设计采用顺序凝固原则,使冒口同时于或晚于铸件凝固。

② 可锻铸铁件,铸态呈白口凝固,无石墨化膨胀。高温退火时,石墨析出产生膨胀,属收缩与膨胀完全分离型,不存在自补缩作用。退火时产生的石墨化膨胀($V_{石}$),只能产生“件壁迁移”,但它也不会增加铸件缩孔、缩松的体积。这是铸铁件液态收缩($V_{液}$)、凝固收缩($V_{凝}$)、石墨化膨胀($V_{石}$)、型壁迁移($V_{型}$) 体积不能简单代数相加的极端例子。由于时间的分离,可锻铸铁的石墨化膨胀 100% 不能用于铸造成形时的补缩,冒口设计采用顺序凝固原则,如图 1-3b。

③ 球墨铸铁小件,属于“集中收缩、骤然膨胀”胀缩部分分离型叠加模式。球化剂中镁、铈等元素阻碍石墨生长,使初生石墨和共晶石墨析出生长的温度下降,石墨生长速度变慢。球墨铸铁共晶反应的过冷度明显地大于普通灰铸铁。石墨生长达到一定的尺寸后,被奥氏体所包围,石墨的进一步生长受到碳在奥氏体中扩散的制约,继续生长受到限制,过冷度进一步加大,必然会产生树枝晶。过冷产生额外的液态收缩和球墨铸铁小件冷却速度大而生成树枝晶的凝固收缩之总和,就加大了球墨铸铁小件的收缩倾向。凝固初期收缩来的集中,石墨化膨胀被延迟。尽管球墨铸铁有较高的碳当量(一般 $CE = 4.3\% \sim 4.7\%$),按计算应该有较大的石墨化膨胀值,但是由于胀缩的分离,石墨化膨胀不能利用于凝固初、中期的补缩,还要靠相对较大的冒口外部补缩,如图 1-3c。

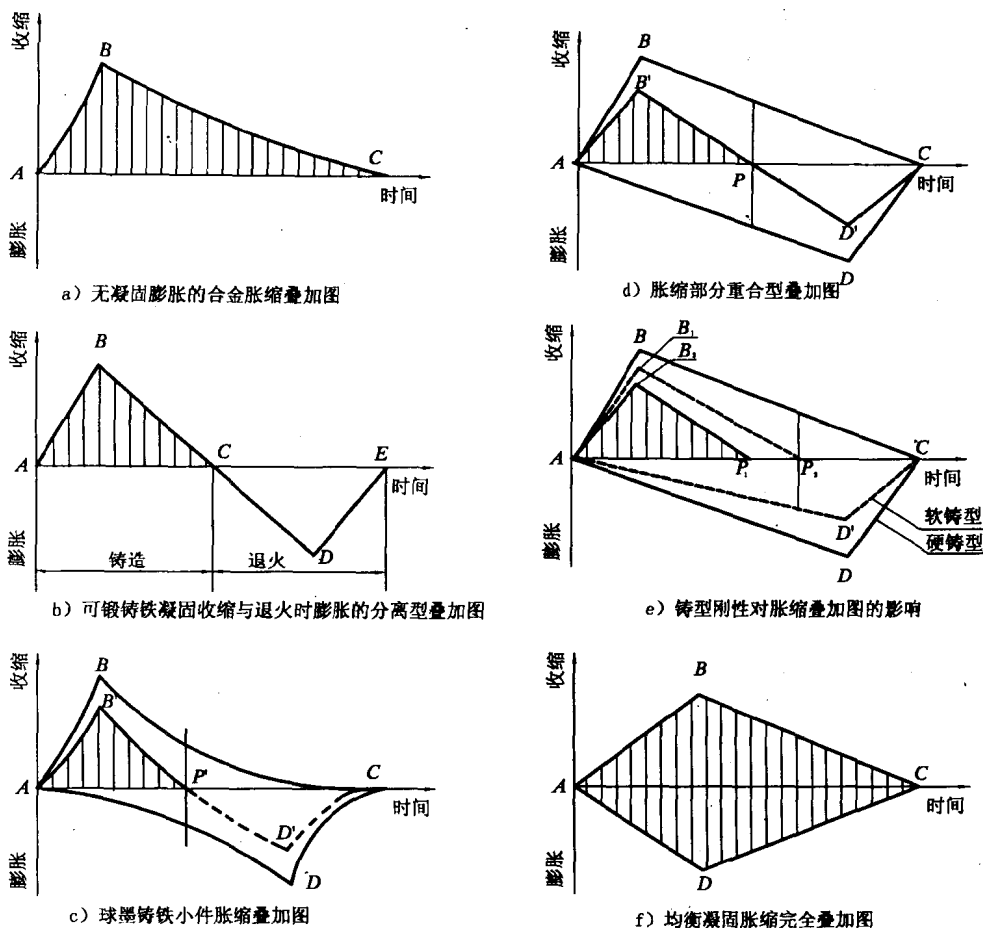


图 1-3 胀缩叠加图的工程应用

由于球墨铸铁小件在表观收缩阶段过多地从冒口中吸入了铁液,当大量石墨化膨胀到来时,所增加的体积补偿了一部分同时的收缩,剩余的部分只能挤压件壁产生型腔扩大。如果在凝固早期冒口补缩不足,就会存在缩孔、缩松缺陷,又有大的型腔扩大现象。这就是球墨铸铁件收缩大、型壁迁移也大的原因。为此,研究球墨铸铁中、小件的冒口补缩技术比追求提高铸型刚性对提高铸件致密性更有效。

球墨铸铁小件要强调冒口的补缩,但冒口也不必要晚于铸件凝固,它的石墨化膨胀利用程度低,也还存在中后期的自补缩作用。

④ 灰铸铁和中、大型球墨铸铁件属胀缩部分重合型,膨胀可以大部分被利用,如图 1-3d 所示。

灰铸铁中片状石墨的生长是不受抑制的共生生长,形核和生长温度之间的差别小。和球墨铸铁相比过冷度小,凝固模式更趋于逐层凝固,石墨化膨胀相对提前,自补缩利用程度高。球墨铸铁中、大件冷却速度较小,收缩分散,石墨化膨胀相对提前,有利于胀缩的早期叠加,可以采用浇口当冒口,或用专设的冒口进行外部补缩。由于补缩时间只占铸件凝固时间的一部分,冒口不必晚于铸件凝固,冒口中用于补缩的体积也是有限的,称有限冒口工艺。

⑤ 提高铸型的刚性,可以提高石墨化膨胀自补缩的利用程度。软的铸型,因为一部分膨胀消耗在型腔扩大上,相对减小了石墨化膨胀的体积,如图 1-3e。铸件表观收缩时间延长(从 AP_1

延长到 AP_2), 所需外部补缩量加大(从曲边三角形 AB_1P_1 加大到 AB_2P_2)。

⑥ 均衡凝固胀缩完全叠加的物理模型。设想有一种铸铁合金成分, 其总收缩量和总石墨化膨胀量相等, 如果能控制在单位时间内的收缩量和膨胀量自始至终按 1:1 的比例进行, 铸件任何时候都不会产生体积亏损和盈余, 石墨化膨胀被 100% 的利用, 如图 1-3f。

均衡凝固胀缩完全叠加, 铸件可以不用冒口, 既不会产生缩孔缩松, 也没有型腔扩大。这种膨胀和收缩按比例进行的模式就是均衡凝固的物理模型。

三、铸铁件有限补缩

铸件冷却、凝固至均衡点 P 之前, 必须靠外部补缩, 用冒口或浇注系统补充铸件本身自补不足的差额。到达均衡点 P 时刻, 在宏观上, 型腔中的铁液不再产生体积亏损, 不管冒口和铸件是否畅通, 铸件都不会再向冒口抽吸铁液, 冒口的补缩作用也就中止了。均衡点 P 之后, 铸件进入内部自补缩阶段, 只要不再发生单位时间收缩大于膨胀的情况, 铸件就不会产生收缩缺陷。铸铁件表观收缩时间只占总凝固时间的一部分, 为此, 铸铁件的冒口不必晚于铸件凝固, 它的补缩量和补缩时间是有限的, 称为有限补缩。按此原则, 铸铁件的冒口在模数上或尺寸上不必要比铸件的大。

四、铸件收缩速度的可变性

以往对铸件收缩特性的研究, 主要注意它的数量的多少, 而对单位时间内收缩的分配——收缩速度研究较少。

很显然, 对于一个薄壁大件, 尽管其收缩量(收缩率和铸件体积的乘积)较大, 但由于壁厚降温快, 收缩来的集中, 收缩速度大, 收缩时间短。在浇注过程中, 后浇入的铁液对先浇入的铁液的补缩(称为后补作用)和浇完之后内浇道短时间的畅通, 就可以实现对铸件的全部补缩, 浇注系统起冒口作用。如果要专设冒口, 应采用大的冒口体和小的冒口颈, 以便和较大的收缩

表 1-1 阀体、曲柄铸件工艺参数

序号	项 目	阀 体	曲 柄
1	铸件轮廓尺寸($l \times b \times h$)/mm	155 × 80 × 80	3125 × 600 × 200
2	铸件重量 G /kg	7.2	2150
3	热节圆直径 d /mm	80	200
4	铸件模数 M /cm	1.57	6
5	浇注温度 t /℃	1360	1310
6	浇注时间 τ /s	12	100
7	铸型种类	湿砂型	干砂型
8	共晶开始时间(热节处) τ /min	9	90
9	共晶终了时间(热节处) τ /min	13	150
10	共晶前降温(热节处) t /℃	220	160
11	共晶前平均降温(热节处) t /℃	24.4	1.8
12	浇注后第一分钟降温(热节处) t /℃	~ 150	~ 5
13	铸件凝固时间(AC) τ /min	13	150
14	铸件收缩时间 ^① (AP) τ /min	5	8
15	铸件收缩时间分数 AP/AC	0.4	0.053
16	冒口重量 G /kg	5(2 件共用)	无冒口
17	工艺出品率 η /%	70	96

① 通过冒口截颈试验及观察浇口盆液面停止下降时间测得。

量、短的收缩时间相适应。

对于厚大的铸铁件,铸件整体冷却缓慢,单位时间降温少,收缩时间长,收缩相对分散,单位时间的收缩容易被同时铸件棱角边缘、细薄部位的石墨析出产生的膨胀所抵消,使铸件整体表现出来的收缩值很小,甚至为零,所以厚大件可以用小冒口或无冒口铸造工艺。

铸件收缩速度主要和铸件的大小、壁厚(模数)有关。在生产条件下测定了34E—63B—100a 液压阀体和抽油机 4561.3.2 曲柄热节处的冷却曲线,计算了收缩速度,观察了铸件收缩时间。其结果如图 1-4 和表 1-1 所示。

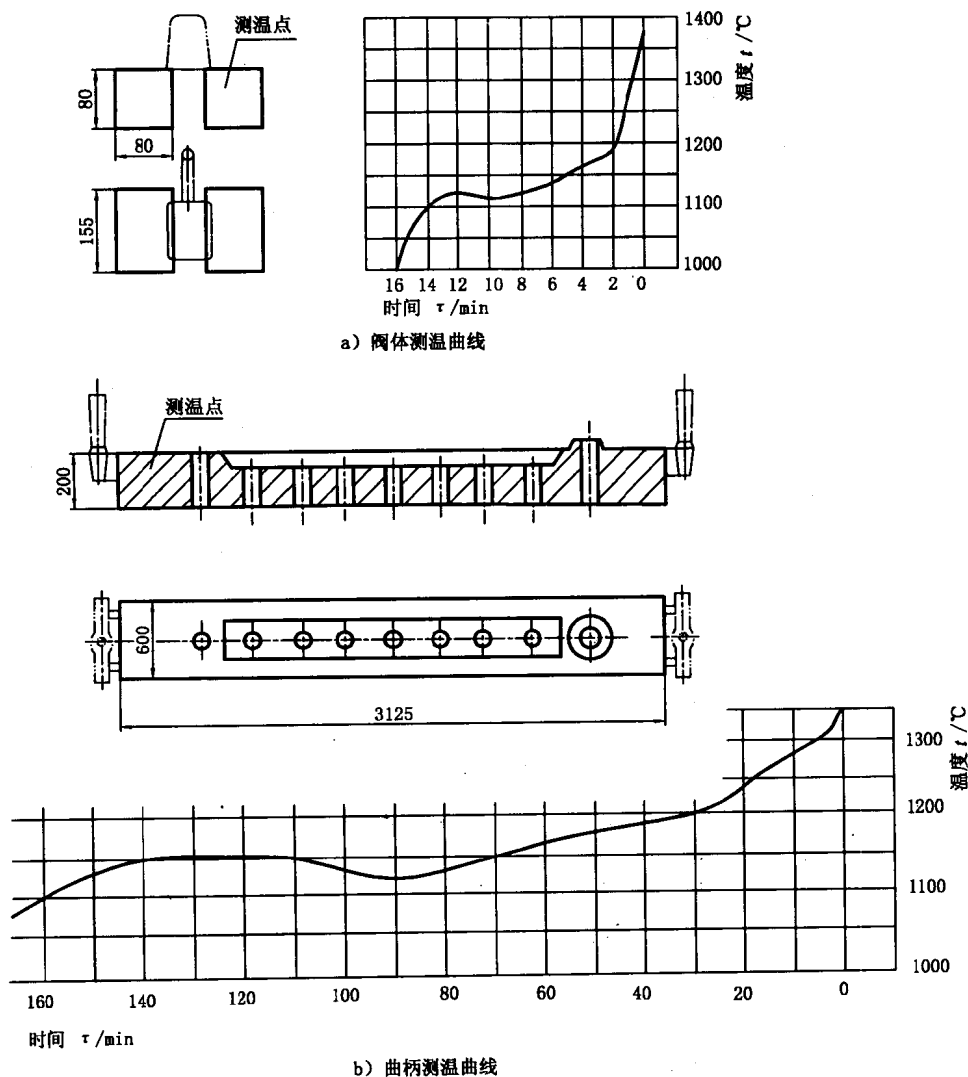


图 1-4 阀体、曲柄铸件热节测温曲线

从图 1-4、表 1-1 可见,厚大的曲柄铸件共晶前单位时间的温降速度平均为 $1.8^{\circ}\text{C}/\text{min}$,而小阀体铸件为 $22.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$,相差 13.5 倍。只考虑铸件热节点的液态收缩,阀体收缩速度也是曲柄的 13.5 倍。

铸铁小件,特别是厚实的小件要强调凝固初期的外部补缩。铸铁大件,特别是厚大件则要充分利用石墨化膨胀的自补缩。认为铸铁件越厚大,冒口也应该按比例放大的冒口设计原则,不符合铸铁件的补缩规律。