



ZHUJIAN

WANJIU GONGCHENG JIQI YINGYONG

铸件挽救工程 及其应用

● 钱翰城 主 编

● 赵建华 徐锦锋 夏伯才 副主编



化学工业出版社

铸件挽救工程 及其应用

钱翰城 主 编

赵建华 徐锦锋 夏伯才 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

铸件挽救工程及其应用/钱翰城主编. —北京: 化学工业出版社, 2011.9
ISBN 978-7-122-11974-2

I. 铸… II. 钱… III. 铸件缺陷-修正 IV. TG246

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 152032 号

责任编辑: 刘丽宏
责任校对: 周梦华

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 29¼ 字数 803 千字 2011 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 128.00 元

版权所有 违者必究



前言

铸件挽救工程 (Salvage Engineering for Castings) 是 20 世纪 70 年代在国外发展起来的一个新技术领域, 它是指对带有缺陷的铸件毛坯、在制品及模具等进行修复使之成为合格品的技术。众所周知, 市场竞争的两个主要因素是质量及价格, 如何保证质量又以最低的成本进行生产就构成了大规模工业生产的主题。一方面, 将不良品代替良品就不能保证质量; 另一方面, 随意废弃不良品而不进行挽救又将增加成本。挽救工程即是将这一矛盾统一的手段。它既保证了产品的质量, 又降低了生产成本。因此, 目前已受到国内外的普遍重视。据 2010 年统计, 我国铸件年产量约 3600 万吨, 约占世界铸件总产量的 43.2%, 如果平均不良品率按 10% 计算, 则我国铸件不良品年总量约为 360 万吨, 损失巨大。发展铸件挽救工程技术, 对我国铸造行业节能减排、绿色化生产、提高企业经济效益及增强市场竞争力具有重要意义。

事实上, 也可以这样来认识铸件挽救工程的重要性。在人类社会中, 无论你是否采取措施, 先天性缺陷、疾病及意外损伤总是不可避免的, 因此就出现了医疗技术。在铸造工程中也完全一样。因此铸件挽救工程事实上就是铸件医疗技术。当然, 在工程中更重视的是其挽救的质量及价值。

本书是为推动铸件挽救工程技术在我国发展而编著的, 其内容包括传统技术与新技术两个方面, 其中也有编著者的成果。由于编写时间仓促, 因此自感不足, 谨请同仁批评。

全书由重庆大学钱翰城主编。共分 14 章, 其中第 1 章由钱翰城、中国工程物理研究院夏伯才编写; 第 2、6、13 章由西安理工大学徐锦锋、翟秋亚编写; 第 3 章由重庆大学赵建华编写, 第 4 章由钱翰城、夏伯才、赵建华编写; 第 5 章由成都大光热喷涂材料有限公司王多、江波编写; 第 7 章由重庆大学李俊、赵建华、重庆远上机械有限公司钱东航编写; 第 8 章由夏伯才、钱翰城编写; 第 9 章由广州富通激光技术有限公司冯荣元、成都太科光电技术有限责任公司赵智亮编写; 第 10 章由南车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司刘晋华编写; 第 11 章由赵建华、钱翰城编写; 第 12 章由重庆永利浸渗设备机械公司黄强、黄渝醴编写; 第 14 章由赵建华编写。全书由钱翰城终审定稿。

在编写过程中, 应该特别提出并感谢下列三位同仁, 即赵建华博士、徐锦锋博士和夏伯才博士, 他们三人承担了主要的编著工作, 付出了巨大的劳动, 为本书的顺利完成奠定了基础; 同时要感谢其他编著者, 他们在本行业内卓有建树, 有他们的参与, 才使我们有机会分享他们在相关领域的真知灼见。

钱翰城

目录

第1章 绪论	1
1.1 铸件挽救工程的定义及其意义	1
1.1.1 铸件缺陷	1
1.1.2 缺陷铸件的挽救	2
1.2 铸件挽救工程技术分类	3
1.2.1 表面缺陷挽救技术	3
1.2.2 内部缺陷挽救技术	4
1.3 铸件挽救决策及经济性分析	4
1.3.1 决策模型	5
1.3.2 示例分析	6
1.4 常用铸件材料的焊接性能	7
1.4.1 铸钢件	7
1.4.2 铸铁件	8
1.4.3 有色合金铸件	10
参考文献	10
第2章 铸件电弧熔焊修复	11
2.1 电弧熔焊修复原理	11
2.1.1 焊接电弧的物理基础	11
2.1.2 焊接电弧产热	13
2.1.3 焊接电弧的热效率	14
2.1.4 焊件的加热及热能分布	15
2.1.5 焊接温度场	16
2.1.6 焊接电弧力及影响焊接电弧稳定性的因素	16
2.1.7 熔焊修复的冶金过程	21
2.1.8 熔焊区组织与性能	22
2.2 电弧熔焊修复设备	23
2.2.1 电弧焊设备	23
2.2.2 埋弧焊设备	25
2.2.3 TIG 焊设备	27
2.2.4 熔化极氩弧焊设备	34
2.2.5 CO ₂ 气体保护电弧焊设备	36
2.2.6 丝极电渣焊设备	42
2.3 电弧焊修复用焊接材料	42
2.3.1 焊条电弧焊用焊接材料	42

2.3.2	埋弧焊用焊接材料	44
2.3.3	TIG 焊用焊接材料	46
2.3.4	熔化极氩弧焊用焊接材料	49
2.3.5	电渣焊用焊接材料	51
2.4	电弧熔焊修复工艺	53
2.4.1	焊条电弧焊修复工艺	53
2.4.2	埋弧焊工艺	54
2.4.3	TIG 焊工艺	60
2.4.4	熔化极氩弧焊工艺	63
2.4.5	CO ₂ 气体保护电弧焊工艺	65
2.4.6	电渣焊工艺	68
2.5	电弧熔焊修复实例	69
2.5.1	柴油机曲轴裂纹的电弧焊修复	69
2.5.2	磨煤机变速箱高速轴断裂后的电弧焊修复	71
2.5.3	双螺旋分级机空心轴裂纹的电弧焊修复	72
2.5.4	轧制机齿轮轴的电弧焊修复	73
2.5.5	20g 钢蒸汽锅炉上锅筒埋弧焊工艺实例	74
2.5.6	1035 工业纯铝卧式储罐手工 TIG 焊工艺实例	75
2.5.7	6351-T4 铝合金管熔化极氩弧焊工艺实例	76
2.5.8	鳍片管的半自动 CO ₂ 气体保护焊工艺实例	76
2.5.9	电站锅炉筒体纵缝丝极电渣焊工艺实例	77
	参考文献	78

第3章 铸件气焊修复 80

3.1	气焊修复原理	80
3.2	氧-乙炔气焊修复设备及焊材	81
3.2.1	气焊修复用设备	81
3.2.2	气焊修复材料的选用	86
3.3	氧-乙炔气焊修复工艺方法	88
3.3.1	气体火焰的选择	88
3.3.2	气焊修复工艺参数	89
3.3.3	常用材料的气焊修复	91
3.4	气焊修复实例	98
3.4.1	滑动轴承及轴瓦的气焊修复	98
3.4.2	变速箱体孔类铸造缺陷的气焊修复	99
3.4.3	汽车油底壳裂纹的气焊修复	100
	参考文献	102

第4章 铸件溶解扩散焊修复 103

4.1	溶解扩散焊原理	103
4.2	溶解扩散焊装备	106
4.3	溶解扩散焊材料	107

4.3.1 镍基自熔合金粉末	108
4.3.2 钴基自熔合金粉末	109
4.3.3 铁基自熔合金粉末	110
4.4 溶解扩散焊操作工艺	111
4.5 溶解扩散焊热过程	113
4.5.1 焊补过程温度场的数值模拟	113
4.5.2 温度场的实测结果	115
4.5.3 加热过程对基材组织的影响	117
4.5.4 冷却过程对焊补后基材组织的影响	117
4.5.5 加热功率对基材组织的影响	118
4.5.6 焊材对基材组织的影响	118
4.6 质量检验	119
4.6.1 焊补后硬度的检验	119
4.6.2 溶解扩散焊界面结合强度的测试	119
4.7 溶解扩散焊可能产生的问题及预防	119
4.8 溶解扩散焊的应用实例	120
参考文献	120

第5章 铸件热喷涂修复 122

5.1 热喷涂技术概述	122
5.1.1 喷焊技术	122
5.1.2 喷涂技术	123
5.2 常用的热喷涂材料的性能及使用方法	126
5.3 常用的铸件热喷修复方法	127
5.3.1 工艺要点	128
5.3.2 铸件表面制备	128
5.3.3 喷焊工艺	128
5.4 铸件上的表面强化	129
参考文献	130

第6章 铸件钎焊修复 131

6.1 钎焊修复基本原理	131
6.1.1 钎料的润湿与铺展	131
6.1.2 液态钎料与母材的相互作用	134
6.2 钎焊修复设备	139
6.2.1 烙铁钎焊	139
6.2.2 火焰钎焊	140
6.2.3 感应钎焊	141
6.2.4 电阻钎焊	142
6.3 钎料	142
6.3.1 对钎料的基本要求	142
6.3.2 钎料的分类	143

6.3.3	钎料的型号与牌号	143
6.3.4	常用钎料的成分与性能	144
6.3.5	钎料的选择	147
6.4	钎焊修复工艺方法	148
6.4.1	焊前准备	148
6.4.2	钎焊工艺	150
6.4.3	焊后处理	151
6.5	钎焊修复实例	152
6.5.1	碳钢和低合金钢的钎焊修复	152
6.5.2	不锈钢及耐热合金的钎焊修复	154
6.5.3	铸铁的钎焊修复	156
6.5.4	铝及其合金的钎焊修复	158
6.5.5	铜及铜合金的钎焊修复	161
6.5.6	高温合金钎焊修复	162
6.5.7	镁及其合金的钎焊修复	165
6.5.8	钛及其合金的钎焊修复	165
6.5.9	钼及其合金的钎焊	166
	参考文献	166

第7章 铸件刷镀修复 167

7.1	刷镀原理及其工艺特点	167
7.2	刷镀设备	168
7.2.1	刷镀电源	168
7.2.2	刷镀笔	168
7.2.3	刷镀笔的安装、使用与保管	172
7.2.4	刷镀辅助工具和辅助材料	173
7.2.5	新型刷镀设备	174
7.3	刷镀溶液	174
7.3.1	刷镀预处理溶液	174
7.3.2	刷镀金属溶液	175
7.3.3	退镀液、钝化液及阳极氧化溶液	176
7.3.4	刷镀溶液的配制	176
7.3.5	刷镀溶液的使用	176
7.3.6	刷镀溶液用量的估算	177
7.4	刷镀工艺和规范	177
7.4.1	刷镀工艺	177
7.4.2	刷镀工艺的有关参数	178
7.4.3	刷镀手工操作注意事项	179
7.5	刷镀层的组织和性能	181
7.5.1	刷镀层与基体金属的结合力	181
7.5.2	刷镀层的金相组织	181
7.5.3	刷镀层的硬度	181

7.5.4 刷镀层的耐磨性能	182
7.5.5 刷镀层的应力测试	182
7.5.6 刷镀层对基体金属疲劳强度的影响	182
7.6 刷镀应用实例	182
7.6.1 刷镀在汽车维修中的应用	182
7.6.2 刷镀在矿山大型设备维修中的应用	183
7.6.3 刷镀在模具上的应用	183
7.6.4 刷镀在电力行业中的应用	184
7.6.5 刷镀在冶金机械中的应用	184
7.6.6 刷镀在飞机结构维修中的应用	185
7.6.7 刷镀在船舶修理中的应用	185
参考文献	185

第8章 铸件电火花微弧堆焊修复 187

8.1 电火花微弧堆焊原理	187
8.1.1 技术原理	187
8.1.2 堆焊过程	188
8.1.3 技术特点	188
8.2 设备与焊材	191
8.2.1 电火花微弧堆焊设备	191
8.2.2 设备技术参数	192
8.2.3 设备操作	194
8.2.4 堆焊焊材	195
8.3 工艺方法	196
8.3.1 工艺参数	196
8.3.2 堆焊层特性	197
8.4 应用实例	203
8.4.1 轴承座孔磨损表面的修复	204
8.4.2 35CrMoA 汽轮发电机转子磨损表面的修复	204
8.4.3 HT250 机床导轨面缺陷的焊补	204
8.4.4 HT250 发动机缸体渗漏缺陷焊补	204
8.4.5 QT40-4 阀体气孔、砂眼缺陷的焊补	205
8.4.6 ZL101 发动机缸体焊补	205
参考文献	205

第9章 铸件激光修复 207

9.1 原理概述	207
9.2 激光修复材料	207
9.2.1 自熔性合金粉末	207
9.2.2 陶瓷粉末	212
9.2.3 复合粉末	212
9.2.4 其他金属体系材料	212

9.2.5 稀土在激光熔覆中的应用	213
9.3 激光修复工艺	213
9.3.1 激光熔覆的布粉	213
9.3.2 激光熔覆工艺参数	213
9.3.3 过渡层的组织	214
9.3.4 激光熔覆件的力学性能	215
9.3.5 激光熔覆缺陷	216
9.4 激光修复装备	218
9.4.1 气体光源激光修复设备	218
9.4.2 固体光源激光修复设备	220
9.4.3 新型激光修复设备	221
参考文献	227

第10章 铸件冷焊粘接修复 229

10.1 概述	229
10.2 粘接技术	229
10.2.1 粘接基本原理	229
10.2.2 胶黏剂的组成	231
10.2.3 胶黏剂的分类	232
10.2.4 胶黏剂的选用	234
10.2.5 粘接接头的设计	239
10.2.6 粘接工艺	242
10.2.7 常见粘接缺陷及解决方法	256
10.2.8 粘接技术修复铸件实例	257
10.3 表面粘涂技术	267
10.3.1 表面粘涂技术维修应用范围	267
10.3.2 表面粘涂技术的发展	269
10.3.3 表面粘涂胶黏剂的组成	271
10.3.4 表面粘涂胶黏剂的种类	271
10.3.5 表面粘涂层的主要性能	272
10.3.6 表面粘涂工艺	273
10.3.7 表面粘涂技术修复铸件实例	276
10.4 密封固持技术	290
10.4.1 密封固持技术概述	290
10.4.2 密封固持剂的分类	291
10.4.3 密封胶的特性	291
10.4.4 密封胶的选用	291
10.4.5 锁固密封工艺	292
10.4.6 密封固持技术修复铸件实例	301
参考文献	303

第11章 铸件组织及性能不合格的修复 304

11.1 常见铸造材料组织及性能要求	304
11.1.1 铸铁	304
11.1.2 铸钢	306
11.1.3 铸造铝合金	307
11.1.4 铸造镁合金	310
11.2 铸铁组织及性能不合格的挽救	312
11.3 铸钢组织及性能不合格的挽救	314
11.4 铸造铝合金组织及性能不合格的挽救	315
11.5 铸造镁合金组织及性能不合格的挽救	316
11.5.1 镁合金热处理的主要方式	316
11.5.2 镁合金组织及性能不合格缺陷及挽救	316
参考文献	317

第12章 铸件渗漏缺陷的修复 318

12.1 浸渗技术的作用和应用范围	318
12.2 浸渗设备	319
12.3 浸渗剂的种类和特征	323
12.3.1 浸渗剂应具备的性能	323
12.3.2 浸渗剂的分类	323
12.3.3 无机浸渗剂	324
12.3.4 有机浸渗剂	326
12.3.5 聚脂类浸渗剂	331
12.4 浸渗方法及浸渗工艺流程	332
12.4.1 浸渗方法	332
12.4.2 真空加压浸渗工艺流程	333
参考文献	335

第13章 铸件挽救工程实例 336

13.1 箱、壳体类铸件修复	336
13.1.1 壳体件的修复	336
13.1.2 箱体的修复	341
13.1.3 应用举例	343
13.2 液压件的修复	347
13.2.1 齿轮泵的修复	347
13.2.2 叶片泵的修复	349
13.2.3 柱塞泵的修复	350
13.2.4 液压缸的修复	352
13.2.5 阀的修复	355
13.2.6 应用举例	356
13.3 轴类零件的修复	360
13.3.1 一般轴类零件的修复及应用实例	360
13.3.2 花键轴和机床主轴的修复及应用实例	365

13.3.3 曲轴修复工艺	367
13.4 模具的修复	373
13.4.1 常用模具修复方法的基本原理及特点	373
13.4.2 典型模具的修复	376
13.4.3 应用实例	377
13.5 已加工铸件的修复	379
13.5.1 常用铸件的修补方法	380
13.5.2 应用举例	383
13.6 机床导轨的修复	386
13.6.1 机床导轨的刮研修复	386
13.6.2 导轨的机械加工修理	390
13.6.3 导轨表面局部损伤的修复	392
13.6.4 导轨的粘镶板修复与粘贴软带修复	392
13.6.5 应用举例	393
参考文献	398

第14章 修复铸件的检验 399

14.1 力学性能检验	399
14.1.1 强度和延伸性能的检验	399
14.1.2 硬度的检验	404
14.1.3 冲击韧性检验	407
14.2 探伤检验	408
14.2.1 射线探伤检验	408
14.2.2 超声波探伤检验	412
14.2.3 磁粉和渗透探伤检验	415
14.3 密封性检验	422
14.3.1 检漏方法的分类	422
14.3.2 对检漏方法的要求	424
14.3.3 压力检漏法	424
14.3.4 真空检漏法	430
14.3.5 其他检漏法	431
14.4 残余应力检验	431
14.4.1 X射线法测应力	432
14.4.2 磁性法测应力	437
14.4.3 超声波法测应力	437
14.4.4 其他方法测残余应力	439
14.5 金相组织检验	444
14.5.1 主要金相检验设备	444
14.5.2 铸件焊补区组织形态及金相检验	445
14.5.3 现代物理冶金分析技术	449
14.5.4 无损金相检验	452
参考文献	454

第1章

绪论

1.1 铸件挽救工程的定义及其意义



铸件挽救工程 (Castings Salvage Engineering) 是指对有缺陷的铸件毛坯、在制品、模具及已损坏铸件等进行修复,使之成为合格品或恢复其使用功能的技术。它是集物理、化学、材料冶金、化工及机械电子等各类基础及应用基础学科知识而形成的一门综合性应用技术。之所以称其为挽救工程,是因为在这些具有缺陷的铸件中,还包括渗漏、组织及性能不合格等不良品,而这些缺陷并不属于修复这一“外科”手术的内容,因此用挽救一词来表达更全面、合适。

1.1.1 铸件缺陷

铸件生产工艺复杂,出现缺陷在所难免。在铸件质量分等通则 (JB/JQ 82001—90) 中,将铸件分为“合格品”、“一等品”和“优等品”三个等级,等级以外的铸件称为不合格品。对合格品要求“质量达到标准规定,铸件生产过程质量稳定,用户评价铸件能满足使用性能”,有一项不达标即为不合格。

不合格品可分为废品、次品、返修品和回用品 (回炉料)。

废品是指不符合规定要求而不能正常使用的产品,或是铸件缺陷无法修复或修复费用太高,经济上不合算的不合格品。在铸造生产中废品还分为外废 (件) 与内废 (件)。外废是指铸造车间以外的场所 (例如机械加工车间等) 检验出来的废品。内废则是指在铸造车间内,由铸造工作者自己检查出来的废品。

次品是指存在缺陷但不影响产品主要性能,如外观有少量砂眼等。造成次品也不一定是由于有了铸件缺陷,机械损伤或加工差错也可能导致次品。

返修品是指在技术上可以修复,并在经济上值得修复的不合格产品,如气缸盖等需要承压的铸件发生渗漏时,在真空处理后,用浸渗剂加压填充缺陷,减少内废率。

回用品一般作为工业废料回收其残值,而回用品一般由本企业作为熔化炉料回收,再次投入本企业的生产。

所以,广义上只要生产中质量得不到有效保证,铸件质量特性未达到分等标准,就是有缺陷的铸件。但是,一般情况下,铸件缺陷是指铸件上可检测出的、铸造名词术语 GB/T 5611—1998 中规定的全部名目,包含有尺寸与重量超差、外观质量低、内部质量不健全、材质不符合验收技术条件及其他疵病等。

铸件缺陷中,有些是不可消除的,如疏松导致的铸件致密度低和残余应力,但大部分缺陷

是可消除的,是具体的、可以检测出来的,应及时有效地予以修复。

上述是针对铸件生产车间或铸造厂的铸件生产过程而言的。除此之外,铸件在加工中会出现尺寸超差或碰伤,在使用过程中可能出现局部磨损或刮伤缺陷,对于诸如模具类的制造周期长、附加值高的产品,也属于修复范围。还有一部分耐磨件、耐热、耐蚀等特种铸件,在使用过程中经磨损后尺寸超差,亦需要进行修复。

1.1.2 缺陷铸件的挽救

所谓铸件缺陷挽救工程是针对在技术上可以挽救并在经济上可行的不合格品而言的,包括两部分内容,一部分是铸件表面缺陷,如缩孔、缩松、表面缺损或尺寸不合格等外观缺陷,这部分缺陷可以进行修复;另一部分是缩孔、缩松等内部缺陷导致的渗漏等缺陷,这部分缺陷较复杂,一部分可以用打磨等加工方法将缺陷暴露,再加以修复,还可以用真空等方法对其进行补救,属于挽救工程的“内科”。以上统称为挽救。通过对这部分缺陷铸件的挽救,可以使废品率降低。在正规生产车间,修复是铸件最终检查站的后续工序。铸件修复后再经热处理、打磨清理、表面涂漆、入库。返回修复必须追加一定数量的原材料、人工、能源和设备使用费用,才能使这些返修品成为合格产品。返修费用是返修材料、人工和能源动力消耗之和。

从宏观上看,随着铸造业的发展,我国铸件产量逐年增长,2010年已达到3500万吨,占世界铸件产量的35%以上,估计大致产值在2000亿元到2500亿元之间,占到国民生产总值的0.6%~0.8%左右。但同时也应该看到,铸件生产工艺过程复杂,难免会出现一定数量的不良品,一般在2%~20%之间。按国年产铸件约3500万吨,平均废品率为10%,则每年报废铸件350万吨左右,损失甚为可观。此外,有一部分铸件缺陷是在后续加工过程中发现的,如机床床身导轨面等,常常在加工过程中出现较小的气孔、缩孔及缩松等缺陷,此时铸件已经增值,弃之则损失更大,而且不利于工厂及时完成生产任务。

众所周知,产品的竞争力包含着两个主要因素,即质量及成本(价格)。不合格品的增加,势必增加成本,降低竞争能力。如果将不合格品代替合格品,又将降低产品质量,丧失竞争能力,而挽救工程正是将质量与成本进行统一的措施。为了实现高质量低成本生产,目前工业发达国家的制造业均已引入修复技术与工艺,将一切能进行挽救的铸件(或零件)进行修复,在保证质量的前提下尽量降低成本。

在我国,缺陷铸件挽救技术已开始受到普遍重视,其首要原因是,目前我国制造业已进入市场竞争机制,生产成本已构成对产品竞争的威胁,在进入世界市场的大循环后,产品的成本将对市场竞争起十分重要的作用。挽救工程的引入,无疑可以提高产品的竞争能力。实际上,人们无论如何注意产品质量,也将不可避免出现不合格品。生产中一旦出现了不合格品就应尽一切方法进行挽救,而不是随意抛弃浪费。

当然,铸件缺陷的挽救涉及到铸件的寿命和工作可靠性,而可靠性是产品的重要质量特性。修复件的可靠性是否能与非修复件一致是人们担心的问题,故对修复工艺、修复质量给予了高度重视。经验证明,如果修复质量无保证,哪怕在修复区存在1%的“缺陷”,也会在产品使用中发生问题,造成物质上及工厂信誉上的重大损失。因此,必须对修复质量进行严格控制,保证修复的可靠性。

实施铸件缺陷修复时应从以下三方面考虑:一是修复可靠性,按照部件设计、质量控制要求是否允许修复以及允许修复缺陷部位、大小和数量等,也就是要回答缺陷是否允许修复的问题;二是修复可行性,现有修复技术是否能够实现缺陷修复,要回答能否修复的问题;三是修复经济性,修复的成本是否低廉,即要回答缺陷是否值得修复的问题。只有对允许修复的缺陷在经济上值得时,才选择合适的技术对缺陷实施修复。所以,关键的问题是要使修复件的性能达到产品的要求,保证铸件的寿命和工作可靠性。当然,目前尚没有一种技术能适用于所有的

情况，因而发展针对不同的材质、不同产品要求的专用挽救技术就显得十分必要。

总体上说，理想的铸件缺陷挽救技术应满足的要求如下。

- ① 修复部位的强度与母材相当，以保证使用性能。
- ② 修复区热影响区的硬度与母材相当，以保证加工性能及使用性能。
- ③ 外观色泽与母材基本相近。
- ④ 修复后工件的形变量应控制在一定范围内。
- ⑤ 工作效益高。
- ⑥ 具有经济性。
- ⑦ 劳动条件好，无环境污染。

迄今为止，尚没有一种技术能满足上述全部条件，实际上也难以找到一种万能的技术，一般是针对不同情况选用合适的技术。

1.2 铸件挽救工程技术分类

铸件缺陷种类繁多，形貌各异，在 GB/T 5611—1998《铸造术语》中将铸造缺陷分为八类 100 余种。从缺陷产生的时间上，可以把铸件缺陷划分为两类。一类是铸造过程中产生的缺陷，如气孔、缩孔、缩松、砂眼、缺肉及裂纹等，它们是在铸件生产和后续加工过程中发现的；另一类是在后续加工过程和使用中因尺寸超差、局部损伤、磨损及缺损而导致尺寸不合格等缺陷。

从缺陷铸件挽救的角度，按缺陷在铸件上出现的位置，可以把铸件缺陷分为表面缺陷和内部缺陷两大类，其挽救技术也对应地分为表面缺陷挽救技术和内部缺陷挽救技术两大类。

1.2.1 表面缺陷挽救技术

铸件表面缺陷挽救技术实质是对缺陷部位进行充填，它要求充填后达到一定的强度和硬度，同时要考虑色泽的一致性，根据修复部位的重要程度，使用情况等不同，可选择不同的修复方法。主要的修复方法如表 1-1 所示。

表 1-1 铸件表面缺陷挽救技术

连接机理	填充材料类型	填充材料/基材反应特征	相应的工艺	特 点
物理化学作用	金属	液相(熔体)/液相(熔体)反应	各类熔焊工艺,如电弧焊、气焊、激光焊、粒子束焊及激光熔敷等	连接强度高,但改变焊区及热影响区的组织工件形变大
	金属	液相(熔体)/固相(固体)反应	溶解扩散焊、喷焊、高中温钎焊、液相过渡焊及电火花微弧堆焊	连接强度高→中,焊区及热影响区组织改变小,工件形变大→中
	金属	固相/固相反应	扩散连接如大气、真空或保护性气氛下扩散焊,循环相变连接工艺	连接强度中→低,不改变连接区组织,工件形变小
	金属	液相(溶液)/固相化学沉积	电镀、刷镀	连接强度较低,工件不形变
物理化学-机械联合作用	金属	液相(熔体)/固相反应	等离子及火焰喷涂,低温钎焊	连接强度较低,工件基本不形变或形变小
	非金属+金属或非金属	液相(溶液或胶体)/固相反应	粘接	连接强度低,工件不形变
机械作用	金属	固相/固相反应	铆接与镶嵌	连接强度高→中→低,机械连接

应该说明,上述对修复方法的分类不是绝对的,例如物理化学反应与物理化学-机械反应直至机械结合之间并无严格的界限,但有一点是肯定的,从熔焊→溶解扩散焊→扩散焊→喷涂及刷镀工艺的反应层逐渐浅化,因而连接强度亦逐渐降低。另外,即使是机械镶嵌结合时,随着结合面的贴近亦将逐渐显现出原子之间的物理化学作用。

1.2.2 内部缺陷挽救技术

内部缺陷主要是指存在于铸件内部的各类缺陷,包括缩孔、缩松、组织疏松、组织不合格及内部气孔等。这类缺陷常常导致力学性能不合格、加工报废以及渗漏等弊病。特别是汽车发动机缸体、缸盖以及阀门类铸件,常需进行耐压试验,渗漏问题就显得比较突出。

针对上述缺陷,其相应的修复方法主要有以下三种。

(1) **浸渗修复** 按照铸件渗漏的情况可采用局部浸渗及整体浸渗。

局部浸渗法常用于已知特定部位渗漏的工件,只需对该部位进行处理即可修复,工艺较简单,浸渗剂耗量小,尤其是在一些大型装备或不易拆卸的固定设备修复上。局部浸渗法常用涂刷法、注射法、浸涂法以及局部加压浸渗等方法,是浸渗毛细管封闭,从而达到防漏的目的。

整体浸渗法是将工件整体浸入浸渗液中,在常压、加压、真空、真空加压等情况下对渗漏毛细管进行封闭而达到防漏的目的。

(2) **内部气孔修复** 内部气孔与外部气孔无严格界限。例如,皮下气孔可以看作外部气孔,在抛光或粗加工后即已暴露,有些内部气孔在精加工后暴露,有些事精加工后亦未暴露,但用超声波或射线探伤时可发现气孔的存在,若影响其使用性能或力学性能时需加以修复,对暴露的气孔一般较易处理,前面已经谈到,对内部气孔,则必须用工具将其暴露,然后进行修复。

(3) **组织不合格修复** 组织不合格主要包括金相组织不合格、石墨组织粗大、偏析及反白口等,此类缺陷重在预防,一旦出现,也可通过热处理等方法加以解决。

1.3 铸件挽救决策及经济性分析



铸件挽救是将带有缺陷的铸件、毛坯,在制品及模具等进行修复使之成为合格品或恢复其使用性能。在铸造生产过程中,由于工艺的复杂性,将不可避免地出现一定数量的不良品。对于模具而言,除在加工过程中造成的报废外,在使用过程中也常出现局部磨损或损伤,必须加以挽救。

对铸件实施挽救时,必须考虑两个问题,首先是技术上可否挽救,其次是是否有挽救的经济价值。前者是挽救的技术可行性,后者是经济可行性,即挽救工程的经济决策问题。

在实际生产过程中,对于不良品或重要工装模具,经常采取全部不挽救或全部挽救的简单处理方式。从质量经济的角度来看,产品的合格率为100%并不是最经济的。因此,不良品是否挽救,以及挽救数量如何确定,是一个必须解决的问题,它直接关系到企业的利润和经济效益。

这样,要有效的实施铸件挽救工程,就必须研究最经济的挽救方式。挽救主要受到产品的挽救费用、企业或工序的生产能力、新生产与挽救生产的相互关系等因素的制约,要想从挽救中获得利益,必须对这些因素进行综合研究。

下面从经济的角度对挽救中涉及的相关因素进行综合分析,帮助决策者进行挽救经济分析,实现最经济挽救,提高企业的经济效益和利润。

1.3.1 决策模型

(1) **生产能力状态** 企业的生产受到企业自身的生产能力和市场需求的制约,理想的状况是,生产中不出现废品且达到供需平衡,而供需失衡是难免的。这时,从生产者的角度来看,生产能力可分为生产能力不足、过剩和中间三种状态。当生产能力处于不足状态时,不论对不良品挽救与否,工序的最大合格品产量均小于市场最大需求或平衡需求,企业的生产不受市场的制约。当生产能力处于过剩状态时,不论对不良品挽救与否,正规作业时间内能生产出的合格品数量大于市场需求。当生产能力处于中间状态时,若用正规作业时间进行生产和挽救,生产能力处于不足状态;若增加一定的加班作业时间进行生产和挽救,生产能力则有可能处于过剩状态。只有当正规作业时间内生产能力处于不足状态,才考虑加班作业,否则,便会给企业带来损失。

定义如表 1-2 所示的符号,并假设不良品在技术上是可挽救的,且仅考虑一次挽救。

表 1-2 基本符号

名 称	正规作业		加班作业	
	新生产	挽救生产	新生产	挽救生产
生产单位产品所需时间	t	t'	t_1	t'_1
单位产品的可变费用	A	A'	A_1	A'_1
产品不良品率	p	p'	p_1	p'_1
产量	X_1	X_2	X_3	X_4
最大可能作业时间	T		T_1	
单位时间分摊的不变费用	B		B_1	
市场最大或平均需求量	M			
单位合格产品的销售价格	S			
单位废品回用收益	R			
总利润	J			

要实现经济的挽救,管理决策者应确定正规作业和加班作业时新生产产量和挽救数量,并在生产能力和市场需求等条件的约束下,使利润达到最大。因此,可转化为一个规划问题,即将利润最大作为目标函数,同时刻划出企业或工序生产能力和市场约束。这样,就可以确定不良品是否挽救以及挽救数量,决定是否安排加班作业。整个生产计划可由正规作业和加班作业中各自的新生产产量和挽救数量来确定。

(2) **目标函数** 根据表 1-2 定义的符号,容易得到,新生产 X_1 件产品可得到的合格产品数为: $(1-p)X_1$, 可得到的销售收入为 $(1-p)X_1S$, 需要花费的不变费用和可变费用分别为 $(tX_1+t'X_2)B$ 和 AX_1 。因而,新生产 X_1 件产品的利润为 $(1-p)X_1S-AX_1-(tX_1+t'X_2)B$; 相似,挽救 X_2 件不良品的利润为 $(1-p')X_2S+p'X_2R-A'X_2$ 。这样,新生产 X_1 件产品的同时挽救 X_2 件产品的总利润为: $[(1-p)S-A]X_1+[(1-p')S+p'R-A']X_2-(tX_1+t'X_2)B$ 。

同理,可以得到加班作业时的利润: $[(1-p_1)S-A']X_3+[(1-p'_1)S+p'_1R-A'_1]X_4-(t_1X_3+t'_1X_4)B_1$ 。

我们的目的是,寻求在特定的生产能力和市场需求约束下,使总利润 J 达到最大值,即

$$J_{\max}=[(1-p)S-A-tB]X_1+[(1-p')S+p'R-A'-t'B]X_2+[(1-p')S-A'-t_1B_1]X_3+[(1-p'_1)S+p'_1R-A'_1-t'_1B_1]X_4$$