

火箭发动机零件热处理质量精细化管理实践

■ 张志正, 张文, 杨立合

摘要: 介绍了火箭发动机零件热处理质量精细化管理的背景及意义, 结合热处理实践和对质量管理工作的思考, 引入精细化管理理念, 建立了发动机零件热处理质量精细化管理模式, 提出了具体对策和措施, 以推动型号产品全面质量管理的纵深发展。

关键词: 热处理; 质量; 精细化; 管理

航天军工企业质量管理体系越来越完善, 各类质量管理制度对航天产品质量控制措施越来越细, 但是低层次质量问题时有发生。随着近年来型号产品的增加, 我所发动机零件热处理质量问题也面临严峻考验。本文旨在总结热处理质量管理经验, 将日本丰田公司“精益生产”的一些理念应用到发动机零件热处理质量管理中, 探索建立精细化管理模式, 为发动机全面质量管理水平的提升提供参考。

一、精细化管理模式的建立

1. 精细化管理的发展及导入

精细化管理的概念最早来自于弗雷德里克·W·泰勒的科学管理思想, 其立足点是如何把事情做细, 把工具发挥到极致。第二次世界大战后, 随着世界经济的复苏, 对企业经营管理的精细化要求越来越高, 质量管理理念也得到了加强和重视, 1947年, W·

爱德华兹·戴明访问日本之后, 提出“为质量而管理”的观点。随着质量管理理念的普及, 1978年丰田公司出版《丰田生产方式》一书, 提出基于“准时化和自动化”为标志的丰田生产方式, 也叫精益生产。到2004年, 由于全面导入精细化管理, 丰田公司的汽车销售额一举超过了美国三大汽车巨头的总值。精细化管理已经成为优秀企业成败的关键。

开展火箭发动机零件热处理质量精细化管理就是要建立权责分明、关注细节、程序严谨、精益求精、准确到位的管理理念, 将热处理质量管理流程化, 责任具体化。在发动机生产中, 热处理是消除零部件加工残余应力和改善材料力学性能的重要手段, 是保证其质量和使用性能的基础。热处理是整个火箭发动机生产中质量控制难度最大的工艺, 原因就是热处理过程中工件温度和内部微观组织变化无法直接观测, 热处理前后工序中的每个细节都影响到最终的热处理质量。

2. 发动机零件热处理质量精细化管理思路

ISO 9000系列标准中着重指出“人、机、料、法、环”五个因素在过程控制中的重要作用, 主要是从发动机产品质量控制横向因素考虑。质量管理是一项系统工程, 结合我所发动机生产的现状, 热处理质量精细化管理主要从纵向因素考虑。梳理热处理工序及其上游环节质量管理薄弱点, 按照“重过程、严考核”的原则, 建立热处理质量精细化管理模式, 确定精细化控制点及控制指标或质量隐患防范、过程监督检查与分析等质量评价, 层层分解、细化落实, 确保热处理零件全过程质量处于受控状态。

3. 精细化管理模式建立

热处理质量精细化管理模式的系统模块之间关系如图1所示。主要包括管控模块、精细化检点和精细化管理评价体系三大部分, 各管控模块下设立具体的精细化检点, 热处理零件的质量

根据各检点评价指标进行考核评价,评价结果指导精细化管理模式持续改进、不断完善。

突出精细化的特点,按照前期预测、过程监控、后期评价的原则,以发动机零件生产流程为导向,热处理工序及其上游环节质量管控为系统主要管控模块,主要包括热处理零件设计的工艺性、零件原材料质量、热处理前加工质量、工艺文件、热处理过程5个模块,每个模块结合生产实际设立了精细化检点,如图2所示。

二、精细化管理实践与探索

1. 热处理零件设计

设计是零件质量精细化控制的第一步,直接影响产品的质量特性、制造难易程度和使用寿命。零件在设计过程中重点考虑必须保证零件满足发动机服役条件所要求的使用性能,并在热处理过程中不因设计因素出废品,即热处理工艺性。这就要求对零件的结构、材料的选择、热加工变形量等都应该在设计时考虑到位。目前主要问题是,设计、工艺脱节,热处理工艺性考虑不够充分;设计环节零件的材料选择过于依赖各类标准,与实际生产脱节;发动机薄壁壳体零件或复杂结构零件热变形考虑不到位。

热处理零件设计过程的精细化控制措施如下:

(1) 工艺提前介入设计环节,设计的热处理零件图样工艺会签率达到100%。

(2) 在选择零件原材料时,

设计人员应考虑零件的工作状态、使用性能,结合材料性能,通过科学计算,来选择材料,保证材料综合利用率达90%以上。

(3) 遵循热处理零件结构形状设计的基本原则,即:避免应力集中、厚薄突变、锐角换成圆弧。综合考虑确定圆度、圆跳动量等几何公差。

2. 零件原材料质量

优质的材料是热处理质量控制的基本保证,材料本身存在各种缺陷和问题,就可能在热处理时被扩大或引发新的热处理问题,从而影响零件热处理质量。

存在的主要问题是,原材料的复验不及时,有时落后于零件投产下料;下料时随意代换原材料,包括材料、规格、标准的代换;原材料存放现场的一些小批量余料标识不清楚,这都造成热处理质量隐患。

热处理零件原材料质量的精细化管理措施如下:

(1) 投产下料前应进行100%复验,复验合格后方可进行下料,并做好记录。

(2) 材料存放现场,物料需定置分类、标识清楚;对下料位置、料坯标记有明确规定,转

运过程中严格办理交接手续,谨防混料。

(3) 原材料的代换,必须经设计、工艺部门评审和验证,并办理相关手续。

3. 热处理前的加工

发动机某些零部件的生产较为复杂,在热处理前往往会涉及锻造、焊接等热加工,以及旋压、机加工等冷加工。这些工序的质量对零件热处理性能有很大影响,并有可能成为热处理失败的直接原因。如锻件的内部裂纹在淬火时引起淬火裂纹,零件机加工时进给量大,会影响加工应力存在的大小,进而影响零件热处理变形量。存在的主要问题是,锻件、冲压件等外协,存在不可控因素,质量隐患多;发动机壳体等薄壁零件表面质量加工缺陷时有发生,存在隐患;焊接应力、强力旋压的变形应力消除不及时、不彻底。

热处理零件前期加工质量的精细化管理措施如下:

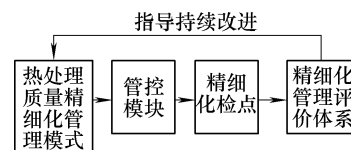


图1 精细化管理模式闭环系统

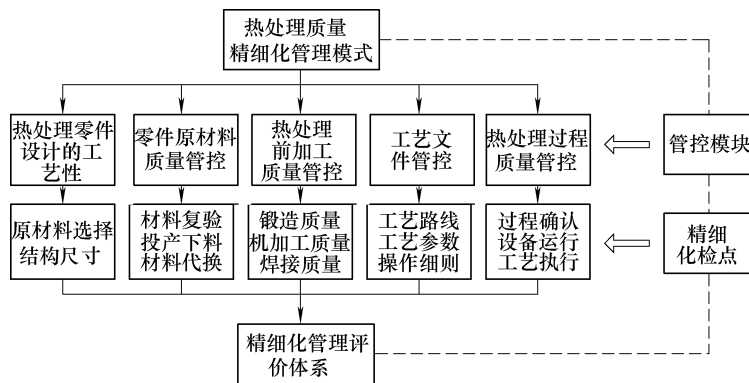


图2 精细化模块及检点设置

(1) 外协锻件、冲压件等毛坯必须按相关锻件标准进行100%复验,必要时进行超标准检验。

(2) 零件热处理前各工序加工质量,按照各工序具体要求进行100%自检和专检;热处理入炉前,再次进行100%自检。

(3) 焊接件必须经过焊缝无损检测,焊接完成后8h内进行消除焊接应力。大变形加工后的零件按规定时间及时退火消除加工应力。

4. 热处理工艺文件

由热处理工艺人员依据设计图样及相关技术要求编制的热处理工艺文件,其质量对生产过程中零件的质量起着关键作用。存在的主要问题是,热处理工艺文件中零件信息、工艺参数等不全,存在低级问题;热处理工艺路线安排不合理,一些热处理工艺参数不够准确;热处理作业指导书、热处理工艺细则等指导文件不够详细,或要求不明确。

热处理工艺文件的精细化管理措施如下:

(1) 加强工艺文件的签审,编制、校对、审核、批准人员技术职务逐级提高,确保工艺文件准确、完整。

(2) 新工艺路线必须100%经过试验验证,主要工艺参数的选择有严格的理论依据。其他参数如装炉量、加热次数、淬火冷却介质温度确定应有理有据。

(3) 工艺操作细则覆盖热处理的全过程,从零件清洗装夹,到热处理加工中的控制,再到最后零件的检验,每一步都有

详细指导和规定。

5. 热处理实施过程

零件整个热处理过程直接影响着热处理质量,热处理设备、具体操作执行情况、热处理变形控制都应进行监督和检验。目前存在的主要问题是,整个热处理过程缺乏监管,热处理特殊过程确认不重视;热处理设备运行情况的监控不够重视;过程控制过于依靠人,过于重结果,但操作者素质、能力不同,结果就可能不同;对热处理过程关注不够,过程记录不认真。

热处理过程精细化管理措施如下:

(1) 涉及热处理特殊过程确认的零件,进行“人、机、料、法、环”的确认,确认过程要求相关部门人员全程参与,能力符合要求后再进行生产。

(2) 定期对热处理加热设备的炉温均匀度、控温精度等进行校检,加热过程中时刻关注设备运行情况,避免设备不稳定造成的热处理质量问题。

(3) 对现场工艺文件执行情况做好记录,现场记录实施表格化管理,做到程序清晰,内容和记录完整、可追溯。质量部门派驻专职热处理质管人员,负责热处理过程监督、检查,并做好生产记录。

三、精细化管理评价

基于精细化管理要求,遵循精细化管理指标选择原则,组织发动机有关设计、工艺等专家,以及相关物资、外协、生产技术骨干等人员,总结实际管理经

验,运用头脑风暴法确定精细化管理指标,并根据经验总结的各指标对热处理零件质量影响程度,分别赋予各项指标相应的权重,建立一个具有两级指标的评价体系,如表1所示。

基于此认定标准,定期组织相关专业人员深入设计、工艺、物料间及车间等,通过现场走访和资料查看,进行现场精细化打分评价。通过每次评价,总结先进经验并完善改进各环节管理措施。

四、实践效果

我所从2014年开始逐步实施发动机生产制造精细化管理以来,每季度组织相关发动机设计、工艺、检验及质量等专业人员或管理人员共8人,按照评价体系进行现场评价打分,去掉最高分和最低分,求平均值,统计了近三年精细化打分评价情况,如表2所示。

对实施精细化管理近三年发动机燃烧室壳体、喷管壳体等复杂结构零件和一般简单零件的合格率进行了统计,如表3所示。

从以上统计数据可以看出,我所发动机零件热处理精细化管理取得了一定的成效,热处理质量问题明显减少,热处理零件质量合格率明显提高,总结起来,可归纳以下几点:

(1) 探索并不断完善了发动机零件热处理质量管理新模式,明确规范了热处理上下游各环节质量管控的内容,精细化管理效果明显。

(2) 通过组织零件热处理质量专项检查,梳理质量问题60余项,分析确认原因、总结防范措施,有效地控制了热处理质量

问题的发生。 格率达到95%以上，大幅提升了发动机型号生产质量。

(3) 易发性热处理质量问题数量逐年下降，简单零件热处理质量一次合格率达到100%，复杂结构零件热处理质量一次合

五、结语

火箭发动机零件热处理质量

表1 精细化管理指标权重及认定标准

一级指标	权重	二级指标	权重	评分认定标准
零件设计	15	材料选择	8	设计选材经济合理，工艺性好
		结构尺寸	7	结构合理，便于后续加工
零件原材料	10	采购及复验	3	原材料采购入所有质量证明，及时复验且合格
		摆放与标识	2	物料定置、分类、标识清楚
		投产下料	3	所下材料复验合格，标记清楚，转接手续齐全
		原材料代换	2	无随意代换材料，如需代换应有评审手续
零件前期加工质量	20	锻造质量	5	锻造工艺参数合理、锻件按相关标准复验合格
		机加工质量	5	机加工零件机构合理、表面质量合格
		焊接质量	5	焊接件在规定时间内及时去应力退火，焊缝检验合格
		其他加工	5	热处理前其他工序质量检验合格
工艺文件	25	工艺方法	6	工艺方法正确，路线合理
		工艺参数	4	主要工艺参数规定清楚、精确
		工艺签审	3	工艺文件签审准确、完整
		零件信息	3	零件信息完整、准确
		操作细则	9	操作细则全面、详细
热处理过程	30	过程确认	4	过程确认全面，记录准确完整
		设备运行	3	热处理设备完好，定期检查、日常校检
		工艺纪律	8	无违反纪律行为，操作规范
		过程监控	5	现场生产记录完整、清晰
		生产记录	4	记录完整、准确、清楚，无更改
		热处理变形	6	零件变形控制方法经评审、试验、合理

表2 近三年各季度精细化管理评价情况

一级指标	各季度及各指标平均得分									
	2014年（各季度）				2015年（各季度）				2016年（各季度）	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
零件设计	11.2	11.8	12.6	12.2	12.8	12.2	13.1	14.5	14.0	14.2
零件原材料	8.5	9.2	9.0	9.5	9.5	9.6	9.7	9.3	9.6	9.5
零件前期质量	18.0	18.7	19.2	19.0	18.9	19.6	19.2	19.5	19.6	20
工艺文件	22.1	22.2	23.6	23.6	22.5	24.0	23.8	24.4	24.8	24.6
热处理过程	26.3	27.6	27.5	28.8	28.6	28.4	29.3	28.8	28.7	29.2
总计	86.1	89.5	91.9	93.1	92.3	93.8	95.1	96.5	96.7	97.5

表3 近三年热处理零件合格率统计

零件类型	年份及零件合格率（%）		
	2014年	2015年	2016年1~6月
复杂零件	90.7	92.6	95.0
简单零件	93.1	96.7	100

精细化管理作为航天产品质量管理新的实践，是一项系统工程，需加强从设计、工艺、原材料以及生产过程各个环节的精细化管理，并坚持完善具体措施的落实。另外，还需要质量管理部门高度重视，根据火箭发动机质量管理需求进行科学调研部署，持续优化管理模式，不断夯实质量管理基础，借助标准化建设、质量评审等活动，提升质量精细化管理水平。

参考文献

[1] 王海龙，马洪炯，马鑫，等.航天企业精细化质量管理的思考[J].质量与可靠性，2014，170（2）：30-33.

[2] 马容忠，周国华.浅谈热处理质量控制环节存在的问题[J].化工装备问题与对策，2013（1）：45-48.

[3] 刘杰.热处理质量控制及应用[J].金属加工（热加工），2014（1）：45-46.

[4] 袁牧，段述苍，吕征.固体火箭发动机金属件热处理质量控制[J].质量与可靠性，2014，173（5）：31-34.

作者简介：张志正、张文、杨立合，西安长峰机电研究所。张志正，工程师，主要从事火箭发动机热处理工艺工作，研究领域：金属材料热处理。

MW 20161008