

复杂油管路铸件内腔多余物的预防和控制

朱春雷^{1, 2}, 朱小平^{2, 3}, 仪凡⁴, 吴海龙², 郝圆亮², 郑宗文², 杨武强²

(1. 北京钢研高纳科技股份有限公司, 北京 100081; 2. 河北钢研德凯科技有限公司, 河北保定 072750;
3. 北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100089; 4. 中国航发南方工业有限公司, 湖南株洲 412313)

摘要: 针对熔模铸造和砂型铸造航空发动机复杂油路管路铸件的多余物, 总结了内腔多余物的种类, 分析了每种多余物的形成原因, 评估了多余物的清理难度, 并从铸件毛坯结构设计、工艺设计、工序设计、生产管理等方面提出了多余物的全流程全面预防和控制策略。

关键词: 多余物; 铸件; 内腔; 预防和控制; 全流程

航空航天发动机多余物的危害极为严重^[1]。例如, 操纵系统中如果出现多余物, 将造成操纵系统不到位甚至卡死; 管路内部如果出现多余物, 会造成管路堵塞, 油气流量降低, 严重时油气供应中断, 将导致系统压力过大造成管路破裂或附件爆炸; 滑油系统的多余物不但会堵塞管路, 使管路不能正常供油, 而且多余物还会造成发动机成附件磨损严重, 甚至会造成抱轴、烧坏发动机等故障。国内外均报道了多起因多余物诱发的航空航天发动机故障。因此, 航空航天发动机对多余物是零容忍的, 需要严格预防和控制。

目前, 先进航空航天发动机结构设计越来越复杂, 集成化程度越来越高^[2-3], 这给多余物的预防和控制带来很大的挑战。以航空用涡轴/涡浆发动机的进气机匣和附件传动机匣部件为例, 通常都集成了供油、供气、供水、供线以及附带油箱等功能, 这些油路、气路、水路都附着在部件上。这些复杂油管路的机匣部件通常采用砂型铸造或熔模铸造工艺制造^[4-5]。由于铸造工艺生产流程较长, 在铸件生产、检验和加工过程中均可能产生多余物, 也均需要控制和检测多余物, 这给复杂供油管路铸件的多余物预防和控制增加了难度。

本研究以铸造工艺制备的复杂油管路机匣铸件为对象, 分析复杂油管路铸件内腔多余物的类别、产生原因, 评估其清理难度, 并提出多余物全流程预防和控制策略, 为航空航天用复杂油管路铸件的多余物控制提供参考。

1 多余物的定义及分类

按照GB/T 40539—2021《航天器多余物预防和控制要求》, 多余物是产品中存在的由外部进入或内部产生的与产品规定状态不符的物质^[6]。文献[1]指出, 多余物是指产品在生产过程中, 因机械加工、装配等工作残留在组合金、部件和整机(包括附件、成件)中的一切与产品设计图样、技术条件规定无关的物品。文献[7]指出, 多余物指粘附和残留在航空发动机零组件上一切不需要的多余物质, 特别是内部油路的多余物。本文研究对象为采用砂型铸造或熔模铸造制备的复杂油管路铸件, 其多余物主要出现的位置为复杂型腔或油管路内表面。按照GB/T 40539—2021, 复杂油管路铸件的多余物可分为内生多余物和外来多余物。按照材质, 又可分为金属多余物和非金属多余物, 其中金属多余物主要包括铸瘤、飞边、残留金属芯骨, 非金属多余物主要包括残留陶芯、残留砂芯、残留沙粒、残留锈斑、加工屑末等。按照多余物是否可移动, 可分为固定多余物和移动多余物。此外, 焊瘤也是复杂油管路

作者简介:

朱春雷(1984-), 男, 博士, 主要研究方向为轻质合金熔模精密铸造及砂型铸造工艺开发。电话: 0312-3960700, E-mail: zhuchunleial@163.com

中图分类号: TG245

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2023)07-0891-06

基金项目:

国家科技重大专项(J2019-VIII-0002-0163)。

收稿日期:

2022-04-30 收到初稿,

2022-08-06 收到修订稿。

铸件常见的一种多余物，主要形成于工艺孔或缺陷补焊过程中，难以界定是内生还是外来的，但这种多余

物属于固定的多余物。结合上述分类，本研究的复杂油管路铸件的多余物主要分类见表1。

表1 复杂油管路铸件内腔多余物分类
Table 1 Types of inner reminders in castings with complicated pipelines

多余物种类	来源	材质	是否可动	形成工序	清理难度	清理	检查
铸瘤			固定	浇注	难	补焊前	补焊前
劈缝和飞边	内生	金属	固定	浇注	中	补焊前	补焊前
残留金属芯骨			固定/移动	浇注	中	补焊前	补焊前
残留陶芯			固定	清壳/清砂	中	补焊前	补焊前
残留砂芯			固定	清壳/清砂	中	补焊前	补焊前
残留沙粒或钢丸	外来	非金属	移动	喷砂、抛丸	难	终检前	终检前
加工屑末			移动	机械加工	难	终检前	终检前
超标焊瘤	—	金属	固定	补焊	难	热处理前	热处理前

2 多余物的形成原因

理论上，生产过程的任一环节均可能产生或引入多余物^[7]。为有效预防和控制复杂油管路铸件内腔和管路的多余物，本研究逐一分析每种多余物的形成原因，以为多余物的全流程防控提供参考。

(1) 铸瘤。铸瘤是附着在铸件内腔或管路上一固定金属多余物。铸瘤形成的原因与铸造工艺密切相关。对于熔模铸造工艺，复杂油管路铸件的內腔和管路通常采用陶瓷型芯来实现。若陶芯表皮含有气泡，在浇注过程中，高温金属熔体接触到陶芯时，陶芯内部的气泡受热膨胀，瞬间产生的气压冲破陶芯表皮，金属熔体将进入陶芯内部，待凝固完全后形成金属铸瘤，金属铸瘤尺寸可大可小，与陶芯内的气泡直接相关。此外，对于焙烧不充分或者后续引入水分的陶芯，在高温金属液的热冲击下，陶芯表面也可能形成分散的小空洞，在铸造之后也可能形成尺度相对较小的铸瘤。对于石膏型铸造，在石膏料浆灌注过程中，若料浆中气泡较多，待料浆充型到内腔或管路时，如果内腔和管路没有足够的排气孔，这些气泡在石膏凝固后将保留在石膏型中，尽管后续的高温焙烧（对于铝合金、镁合金铸件，焙烧温度通常超过700℃）可以排除这些气泡，但留下在表面的空洞或者表皮的空洞，在金属充型和凝固后均可能形成金属铸瘤^[9]。对于砂型铸造，其形成原因与熔模铸造的陶芯和石膏型的陶芯类似，但由于砂型只能进行150℃左右的烘烤，砂型内水分更多，浇注过程中发气量更大，如果排气通道设置不合理，在内腔和管路内极易形成金属铸瘤^[10]。由此可见，金属铸瘤类多余物主要形成于浇注过程，但与制芯过程密切相关，主要由陶芯或砂型含有气泡或水分所致。

(2) 劈缝和飞边。劈缝和飞边是一种金属多余

物，通常形成于砂型或陶芯的分型面位置。如果组型过程中，砂型或陶芯尺寸控制不精确，不同砂型或陶芯之间留有间隙，在浇注过程中金属液流入间隙则形成劈缝或飞边。此外，劈缝和飞边的形成还与陶芯有关。如果陶芯强度不够或者结构设计不合理，熔模铸造和石膏型铸造陶芯在型壳焙烧过程中，由于陶芯与型壳、石膏材质不同，高温焙烧过程中易因膨胀系数不匹配而出现陶芯断裂，在浇注过程中，金属液进入断裂缝隙，进而形成飞边。由此可见，劈缝和飞边主要形成于浇注过程中，但与分型面设计以及陶芯设计密切相关。

(3) 残留金属芯骨。复杂油管路铸件的內腔或管路，均需采用陶芯或型芯制备。对于一些薄壁的、直径较小（6 mm以下）、长度较长的型芯，为保证型芯的强度和韧性，通常在制芯过程中埋入金属丝作为芯骨。但对于这些薄壁陶型芯，如果制芯控制不好，芯骨容易偏心而靠近表面，浇注过程中，高温金属液冲击型芯，易出现芯骨漏出，严重时出现移位，在金属液凝固后芯骨进入金属中。在后续清理型砂或陶芯后，金属中的芯骨很难清理，从而形成残留金属芯骨多余物。因此，残留金属芯骨形成于浇注过程中，但与制芯过程密切相关。

(4) 残留陶芯。残留陶芯是一种非金属的多余物，这在采用陶芯的熔模铸造和石膏型铸造铸件中尤为普遍。残留陶芯主要形成于复杂型腔或管路的一些很难清理到的盲孔位置。形成原因有两方面，首先是工艺窗口或工艺孔设计不合理，在陶芯清理时，高压水或喷砂均很难到达这些盲孔位置，进而形成残留陶芯；另外一方面，陶芯强度很高，通过物理冲击或化学溶解等方面也很难清理，由于铝合金和镁合金铸件所需的陶芯强度较低，因而这种现象在铝合金、镁合

金铸件并不常见,但陶芯强度较高的高温合金铸件,例如含有气流通道的单晶叶片,残留陶芯的现象相对常见^[11]。可见,残留陶芯多余物主要形成陶芯清理过程中,但与工艺孔设计和陶芯选材有直接关系。

(5) 残留砂芯。残留砂芯是一种非金属多余物,主要出现砂型铸造铸件中。对于部分长度较长,尤其是出现盲孔的内腔和管路,如果工艺孔位置设计不合理,高压水很难清理砂型;对于部分结合力较强的残留砂型,如果缺少必要的工艺孔,即使后续采用钻头工具也很难清理。因此,残留砂芯主要形成于砂型清理过程中,但与砂型工艺设计密切相关。

(6) 残留砂粒或钢丸。本文所述的残留砂粒或钢丸,主要指喷砂或抛丸残留的,这是一类既可固定也可移动的非金属多余物,主要形成于喷砂过程,也是最容易被忽略的一种多余物。尽管形成过程很简单,但涉及的工序较多,清理难度较大。例如,通常需进行一次喷砂,对于管路结构较复杂的铸件,喷砂后若不能完全吹砂刚玉砂,铸件在荧光渗透检验过程中,荧光液或清洗剂会将砂粒沾到金属表面,在后续热处理过程中,残留的荧光液会与金属表面发生反应,增加了沙粒与表面结合力,使得本是移动的多余物变成了固定的多余物,增加了清理难度。这种现象在铝合金和镁合金铸件的浸渗或者熔液氧化过程中也会形成。

(7) 加工屑末。这是在加工过程中残留在内腔或管路的金属多余物。加工过程中掉入内腔和管路的金属屑末,在切割液的粘附作用下,具有一定的结合力,考虑到铸件在加工前通常均已完成了工艺窗口或者工艺孔的补焊,这时再清理金属屑末,难度极大。因此,加工屑末形成于加工过程,但清理难度极大。

(8) 焊瘤。焊瘤是缺陷和工艺孔补焊过程中形成的一种金属多余物。按照焊接标准要求,工艺孔补焊是允许一定量的下塌。但对于流动性较好的铝合金和镁合金熔体,下塌量可能超过管路截面的1/3,严重时堵塞整个管路。对于敞开的内腔或直径较大的、结构较简单的直管路,可以采用笔磨等工具打磨下塌焊瘤,但对于管路直径较小的、结构复杂的管路,无法通过笔磨打磨下塌焊瘤,因此,这种焊瘤多余物的处理难度极大。可见,焊瘤形成补焊过程,但清理难度极大。

3 多余物的清理难度分析

鉴于多余物的危害性,铸件内腔的多余物是必须清理干净。每种多余物的清理方法不同,多余物的清理难度也各有不同。

(1) 铸瘤。铸瘤多余物与金属铸件结合面积较

大,属于铸件本体的一部分,只能通过合金磨头打磨去除。铸瘤的产生位置通常是随机的,对于复杂油管路铸件,如果铸瘤的位置远离工艺孔,由于牵引合金磨头的导杆通常不能拐弯,磨头很难达到铸瘤的部位,而且由于受到管路结构的限制,即使磨头可以接触到铸瘤,但由于磨头不能定位,旋转磨头打磨时很容易打磨到没有铸瘤的部位,使得无铸瘤区壁厚减薄,而铸瘤区很难被打磨到。目前,专利[12-13]报道了一种柔性铣刀打磨技术,通过柔性弹簧形成柔性刀杆,并牵引铣刀去打磨管路铸瘤,但这种技术尚处于保密和试验阶段,尚未实现工业化生产。可见,金属铸瘤的清理难度极大。

(2) 劈缝和飞边。相对于金属铸瘤,由于与金属铸件本体结合面积相对较小,且劈缝和飞边通常壁厚较薄,这类多余物的清理难度相对较低,但清理之后,容易出现飞边残根。结合零件设计原理,如果飞边残根高度较小(1 mm以内),且残根不会脱落,考虑到较低的残根对管路流量影响不大,这类残根通常可以超差接收。因此,劈缝和飞边的清理难度相对较低。

(3) 残留金属芯骨。残留金属芯骨通常嵌入到铸件本体内部,如果不破坏铸件本体,残留芯骨是无法清理的。因而,这类多余物的清理难度也极大。

(4) 残留陶芯和残留砂芯。对于铸件而言,残留陶芯和残留砂芯,均属于非金属多余物,这类多余物在航空发动机部件中是不允许存在的。考虑到这些残留陶芯和残留砂芯通常位于盲孔位置,如果在铸造之后不能再开工艺孔,这类多余物清理难度也是极大的。对于补焊性能相对较好的铝合金和镁合金机匣铸件,如果能在盲孔附近开工艺孔,将大大降低这类多余物的清理难度。

(5) 残留砂粒或钢丸。残留砂粒或钢丸分为固定砂粒和移动砂粒。以砂粒为例,对于固定砂粒,由于砂粒与铸件本体的结合力比铸瘤和残留陶芯低,清理难度相对较低。但这些残留的沙粒极易出现在盲孔、狭小沟槽、焊缝边缘等位置,如果不能开工艺孔,清理难度也较大。对于移动砂粒,如果管路只有一个进口和一个出口,这种砂粒通过压缩空气即可清理完全,但对于互相串通的复杂油管路结构,移动砂粒很容易从一个管路到其他管路中,清理难度反而增加。但总体来说,相对于金属多余物和残留陶芯,移动砂粒的清理难度相对较低。

(6) 加工屑末。加工屑末多余物与残留砂粒的情况相似,与铸件本体粘连在一起的加工屑末很难清理,移动的屑末相对好清理。其清理难度比残留砂粒高,但远低于铸瘤和残留陶芯。

(7) 焊瘤。焊瘤多余物的性质与铸瘤相似，与铸件的结合面积大，清理难度极大。

综上，金属类的多余物清理难度大于非金属类多余物，固定的多余物清理难度大于移动多余物。按照这个原则，复杂油管路铸件的多余物的清理难度顺序如下：铸瘤~焊瘤>残留芯骨>残留陶芯和砂芯>加工屑末>残留砂粒。

4 多余物的全流程防控措施

关于航空航天领域多余物的防控，多个文献均有报道。这些报道主要从加强生产过程控制^[1, 7]、工装工具应用和管理^[1]、操作人员培训、检验人员培训、质量意识培训等方面来考虑。本文结合熔模铸造和砂型复杂油管路铸件的特点，从毛坯结构及工艺设计、工艺路线优化、生产过程控制、封堵方法优化、检验方法优化等方面，提出了复杂油管路铸件内腔多余物的全流程防控措施。具体如下。

(1) 铸件毛坯结构设计。预防和控制多余物应从

设计方案的源头抓起。铸件毛坯结构设计方面，应全面分析铸件管路和内腔的结构特点，设置必要的工艺窗口或工艺孔，以便于一些盲腔、盲孔部位多余物的清理和检查，见图1；对于一些采用陶芯或砂芯制备的细长管路，需将陶芯打断分割成多个陶芯，以避免陶芯断裂形成劈缝，同时设计必要的芯头作为工艺孔，一方面便于陶芯和砂型在金属液热冲击作用下气孔的排除，另外也便于后续残留陶芯的清理和检查，见图2。毛坯结构设计方面，对于存在多层壁、多根并排管路的铸件，尤为重要。

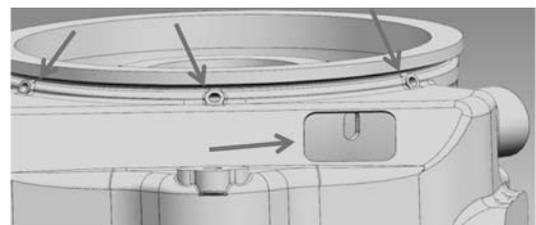


图1 某多层壁铸件工艺窗口和工艺孔
Fig. 1 Process holes and window for casting with multilayer wall



图2 某机匣铸件的大尺寸薄壁砂芯和细长管路的砂芯
Fig. 2 Sand cores of verminous pipeline for the casting with complicated inner structure

(2) 清理和检验工序设计。需结合铸造流程和工序要求设置必要的清理及检查工序，以便于有效避免外来多余物的产生，又便于多余物的检查和清理。同时，需将多余物的检查纳入工艺文件和工艺路线，并严格执行。对于复杂油管路铸件，在铸件的生产过程中至少包含四次多余物的检测。a) 补焊前，确保铸瘤、劈缝和飞边、残留金属芯骨、残留陶芯或砂芯清理干净；b) 补焊后，确保焊瘤多余物得以清理干净；c) 加工基准（通常为加工法兰面和加工管口）后，确保残留加工屑末清理干净；d) 终检入库前，确保喷砂产生的沙粒和喷丸产生的钢丸清理干净。每一步工序必须将所涉及多余物完全清理干净，如果清理不彻底，遗留到后续工序，尤其是补焊后，清理难度显著增加。对于铸造铝合金复杂油管路铸件，如果在热处理后发现多余物，且不得不通过开工艺孔的方式进行清理，所开工艺孔若超过 20 cm^2 ，补焊后则需重新热处理，前工序的多余物清理和检查工作将再次进行一遍，这增加了铸件生产周期。

(3) 陶芯和砂芯制备工艺优化。为避免因陶芯或砂型气泡或干燥不充分引发的铸瘤类多余物，需严格按照陶芯和砂芯的制备工艺进行芯子的焙烧或烘烤，确保水分完全排除。另外，还可采用X射线等仪器进行陶芯气泡的检测，坚决杜绝使用含有气泡的陶芯。

(4) 清理工艺优化。对于残留陶芯或砂型，除常规机械清砂和水力清砂外，还可采用水爆工艺进行清砂^[14]。对于固定的金属类铸瘤或焊瘤多余物，除目前采用开工艺孔打磨外，参照专利报道的柔性铣刀打磨技术，开发适用于不同管径、不同材质的柔性打磨技术，彻底解决铸瘤和焊瘤多余物。对于残留陶芯、砂芯、沙粒或钢丸，采用高压水溶液射流清洗、内腔机械化振动等方法清理非金属类多余物。此外，振动抛磨和磁力抛磨也可用于残留陶芯、砂型的清理。

(5) 封堵工艺优化。如果不进行管路封堵，铸件在终检阶段出现加工屑末和喷砂砂子等多余物。管路封堵的方法包括：普通胶布→铝制胶布→膨胀螺栓+橡胶套等。文献[1]还报道采用堵蜡工艺来防止加工屑末

进入管路，具体措施为：在管路孔口堵上蜡，蜡面低于加工面，在加工后，采用局部加热的方法将蜡熔化去除。封堵工艺是多样化的，需结合本工序的特点采用不同的工艺进行封堵，以规避外来多余物。

(6) 检测方法优化。内腔多余物的检查，除常规的X射线检测外，还应增加内窥镜检测和CT断层扫描^[15]。内窥镜检测时，本单位结合复杂油管路铸件管路数量较多的特点，提出了全面管路地图记录法，以确保每一管路在每一道多余物检验工序得以全面检查，见图3和表2。

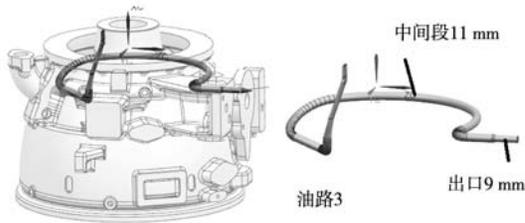


图3 某机匣铸件的一根管路图

Fig. 3 Pipeline map of a casing casting with complicated inner structure

表2 管路多余物检查记录表示例
Table 2 Record table of reminder inspection for the inner pipeline

序号	描述	操作	备注
1	<input type="checkbox"/> 内窥镜 <input type="checkbox"/> 荧光 <input type="checkbox"/> X光底片	<input type="checkbox"/> 已排	<input type="checkbox"/> 没排
	<input type="checkbox"/> 飞边 <input type="checkbox"/> 黑砂 <input type="checkbox"/> 黄砂 <input type="checkbox"/> 坑 <input type="checkbox"/> 裂纹 <input type="checkbox"/> 孔 其他		
2	<input type="checkbox"/> 内窥镜 <input type="checkbox"/> 荧光 <input type="checkbox"/> X光底片	<input type="checkbox"/> 已排	<input type="checkbox"/> 没排
	<input type="checkbox"/> 飞边 <input type="checkbox"/> 黑砂 <input type="checkbox"/> 黄砂 <input type="checkbox"/> 坑 <input type="checkbox"/> 裂纹 <input type="checkbox"/> 孔 其他		

(7) 多余物控制的制度化和常态化。复杂油管路铸件的承制单位应编制多余物预防和控制的管理制度和通用工艺规范，并结合产品的结构特点，在工艺规程中明确各阶段多余物清理和检查的要点，以切实从工艺设计层面实现多余物的全流程管控。

为更清晰理解和掌握复杂油管路的多余物全流程防控措施，将上述措施进行了汇总(图4)。除了本文所述从毛坯结构设计、工序优化设计、工艺优化外，还需进行包括操作和检验人员培训等全面质量管理的贯彻，才能真正实现复杂油管路铸件多余物的全面预防和控制。

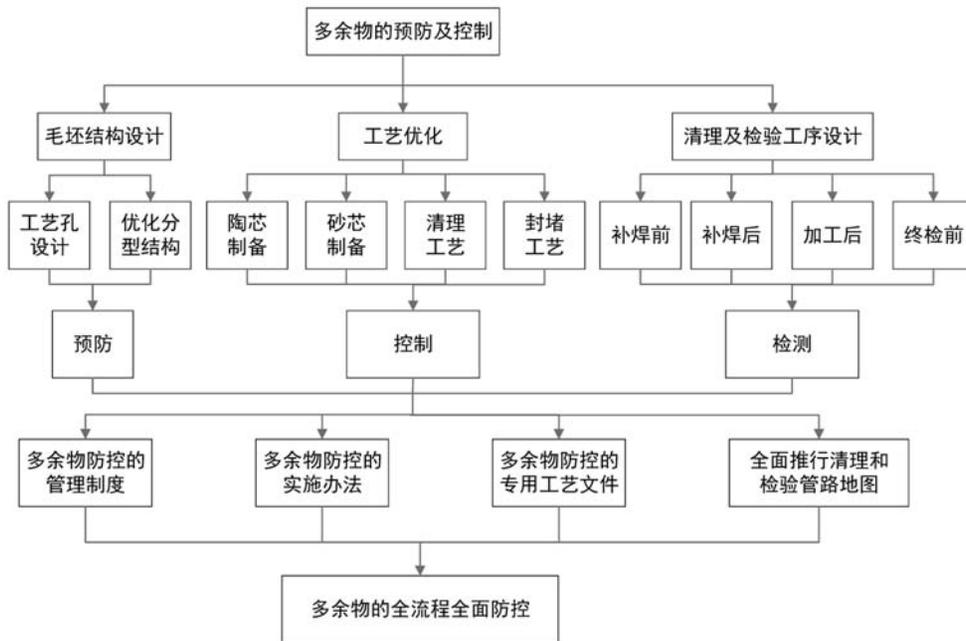


图4 复杂油管路铸件内腔多余物的全面防控策略图

Fig. 4 All-flow prevention and control strategy of inner reminder for the casting with complicated pipeline

5 结束语

航空发动机复杂油路管路铸件内部结构复杂，内腔多余物的预控和控制挑战很大。内腔多余物包括金属和非金属等多种类型。每种多余物形成原因、产生工序以及清理难度不同，其中金属类多余物以及固定的残留陶芯和砂芯清理难度最大。这类铸件内腔多余

物的清理和检查涉及多个工序，需要从铸件毛坯结构设计、工艺设计、清理和检验工序优化、生产过程管理等多个方面考虑，形成全流程的全面防控策略，同时进一步优化多余物的检测方法，才能实现复杂油管路铸件多余物的真正控制。

参考文献:

- [1] 李新. 浅谈发动机多余物控制 [J]. 中国新技术新产品, 2019 (14): 129-130.
- [2] 涂冰怡, 赵明, 商体松, 等. 航空发动机先进结构与关键制造技术 [J]. 航空制造技术, 2014 (7): 53-56.
- [3] 王增强. 高性能航空发动机制造技术及其发展趋势 [J]. 航空制造技术, 2007 (1): 50-55.
- [4] 徐伟业, 陈维平, 金枫, 等. 基于数值模拟和砂型3D打印的机匣整体重力铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2019, 68 (8): 905-910.
- [5] 吴国华. 大型复杂航空发动机镁合金机匣铸件研制 [C]//2020中国铸造活动周论文集, 2020.
- [6] 樊玉婷, 孙明庆, 王秀芝, 等. 运载火箭出厂测试多余物的控制与检测 [J]. 科技资讯, 2015, 13 (30): 84-86.
- [7] 袁牧, 罗刚, 屈美莹. 多余物的过程控制 [J]. 质量与可靠性, 2013 (5): 37-52.
- [8] 叶波, 郑学著, 黄袖清, 等. 航空发动机零件加工内部油路多余物的防止措施 [J]. 航空制造技术, 2015 (20): 90-92.
- [9] 马运, 汤彬, 姚启明, 等. 石膏型熔模精密铸造常见缺陷形成原因及解决方案 [J]. 铸造技术, 2020, 41 (7): 664-666.
- [10] 陈立夏, 陈美德. 呋喃树脂砂铸件缺陷及防止措施 [J]. 铸造, 1990 (7): 39-41.
- [11] 李彪, 姜延春, 苏贵桥, 等. 高温合金空心叶片用氧化铝基陶瓷型芯脱芯研究现状 [J]. 铸造, 2014, 63 (3): 232-236.
- [12] 周鸿博. 一种高强度柔性铣刀: CN205393629U [P]. 2016-07-27.
- [13] 周鸿博. 一种多功能柔性铣刀: CN 204381506U [P]. 2015-06-10.
- [14] 阎荫槐. 铸件落砂清理技术的发展与展望 [J]. 铸造设备与工艺, 2000 (2): 1-7.
- [15] 蒋绍青, 栾传彬, 满月娥, 等. 工业CT在大型复杂机匣检测中的应用 [J]. 无损检测, 2017, 39 (2): 18-21.

Prevention and Control of Inner Reminder in Casting with Complicated Pipeline

ZHU Chun-lei^{1, 2}, ZHU Xiao-ping^{2, 3}, YI Fan⁴, WU Hai-long², HAO Yuan-liang², ZHENG Zong-wen², YANG Wu-qiang²

(1. Gaona Aero Materials Co., Ltd., Beijing 100081, China; 2. DEKAI Intelligent Casting Co., Ltd., Baoding 072750, Hebei, China; 3. School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 4. AECC South Industry Company Limited, Zhuzhou 412313, Hunan, China)

Abstract:

It is very difficult to prevent and control the inner reminder for the casting with complicated pipeline. This paper summarized the types of the reminder in the inner pipeline, and analyzed the causes and evaluated the removal difficulty. Meanwhile, this paper presented the all-flow prevention and control strategy including casting structure design, manufacture process optimization, process-flow improvement and production management. This study was helpful for the prevention and control of reminder for casting with the complicated inner structure.

Key words:

reminder; casting; inner pipeline; prevention and control; all-process