

铸钢件表面质量的工艺优化与过程控制

黄 辉

中国铁路哈尔滨局集团有限公司齐齐哈尔机车车辆监造项目部 黑龙江 齐齐哈尔 161002

【摘要】：铸钢件的表面质量是决定其商品化程度、使用寿命及制造成本的关键因素。本文基于铸钢件生产的全流程，系统性地探讨了提升表面质量的综合策略。文章首先阐述了铸钢件表面质量的评定方法，随后从工艺性评审、铸造工艺设计、原材料选用及现场操作精细化四个维度，深入分析了影响表面质量的核心要素与控制要点。研究表明，提升铸钢件表面质量是一项系统工程，需将结构优化、工艺创新、材料科学与精益管理相结合，方能实现从源头预防到过程控制的全面质量提升。

【关键词】：铸钢件；表面质量；工艺设计；原材料；现场操作；质量控制

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.029

1 引言

在高端装备制造制造业中，铸钢件作为核心基础部件，其性能与可靠性直接关系到整个系统的安全与效率。其中，表面质量不仅是铸件的“脸面”，更是其内在质量的外在体现。一个表面粗糙、缺陷丛生的铸件，不仅影响美观和装配，更可能成为应力集中点，诱发疲劳裂纹，大幅缩短产品使用寿命，甚至引发安全事故。因此，如何系统性地提升铸钢件的表面质量，已成为铸造企业提升核心竞争力、实现可持续发展的核心议题。

然而，铸钢件表面质量的提升并非单一环节的技术攻关，而是一个贯穿于产品设计、工艺规划、材料选择、生产制造及后续处理全链条的复杂系统工程。许多企业在实践中往往“头痛医头、脚痛医脚”，缺乏系统性的思维框架，导致质量改进效果不佳，成本居高不下。本文旨在打破这种碎片化的改进模式，构建一个从宏观到微观、从设计到执行的全流程质量控制框架，为铸造行业同仁提供一套兼具理论指导性与实践操作性的综合解决方案。

2 铸钢件表面质量的评定体系

在探讨提升策略之前，必须首先建立科学、统一的评定体系。没有准确的测量，就没有有效的改进。铸钢件表面质量的评定主要围绕三个维度展开：表面粗糙度、表面与近表面缺陷、以及内腔质量。

2.1 表面粗糙度评定

表面粗糙度是衡量毛坯铸件表面质量的重要指标，通常用轮廓算术平均偏差 Ra（单位 μm ）进行分级。在实际生产中，最常用且高效的方法是采用比较样块法，依据 GB/T 6060.1 或国际 SCRACA 标准进行目视或触觉比对。评定时，需确保被检表面与样块均洁净，并在光线明亮的环境下进行。其核心原则是：占被检表面总面积不小于 80% 的部分所达到的最粗表面粗糙度等级，即为该铸件的最终评定等级。

2.2 表面与近表面缺陷检查

此项检查主要依赖肉眼或低倍放大镜，识别暴露在铸件表面的宏观缺陷，如粘砂、夹砂、气孔、裂纹等。同样，企业也

可自制典型缺陷样块，如褶皱缺陷样块，用于快速比对和判定缺陷等级。检查前，铸件需经抛（喷）丸处理，以真实暴露缺陷，并依据缺陷所处的关键或非关键部位，评定其是否合格。

2.3 内腔质量检验

对于内腔复杂的铸件，其内部质量同样不容忽视。检验项目包括内腔形状尺寸、表面粗糙度、各类铸造缺陷（如粘砂、错芯、渣气孔等）以及内腔清洁度。常用的检查方法包括干检查法（锤击、解剖）、汽油检查法等，以确保内腔无残留砂芯、杂物，满足使用要求。

3 源头预防：铸件工艺性评审与结构优化

“好的结构是高质量的基础”。许多表面缺陷的根源，在于铸件结构设计本身存在的工艺性缺陷。因此，在产品阶段就进行深入的工艺性评审，是成本最低、效果最显著的质量提升途径。

3.1 壁厚设计的合理性

合理的壁厚是保证充型完整、防止缺陷的前提。壁厚过厚，易导致粘砂、缩松；壁厚过薄，则易出现浇不足、冷隔。设计时应参考砂型铸钢件的最小壁厚推荐值，并结合铸件重量、材质和浇注温度综合确定。

3.2 壁的连接方式设计

多壁连接处是热节和应力集中的高发区，极易产生裂纹、变形和粘砂。设计时应优先选用 L 形连接，避免 V 形、Y 形等锐角连接（如图 1 所示）。当壁厚不等时，必须采用圆滑过渡，严禁突变。通过优化连接设计，可有效分散热量与应力，从根源上预防缺陷。

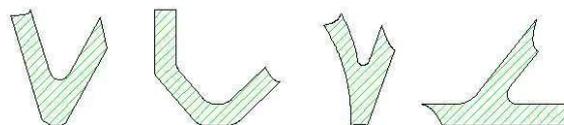


图 1 V 形连接和 Y 形连接

3.3 加强筋的合理应用

设置加强筋是提高结构刚度、防止变形的有效手段，但设计不当也会引入新的问题。应避免多条筋交叉，筋与壁、筋与筋的连接处需有圆角，且不妨碍起模与清砂。筋的布置应着眼于分散热节，而非制造新的热源。

4 核心环节：铸造工艺设计的精细化

工艺设计是连接产品蓝图与合格铸件的桥梁，其合理性直接决定了铸件表面质量的成败。

4.1 造型与制芯工艺的选择

不同的造型、制芯方法及型砂工艺（图2所示），对铸件表面质量有着决定性影响。机器造型、制芯因其紧实率高、型腔表面光滑，通常能获得更优的表面质量。例如，树脂砂工艺生产的铸件表面光洁度普遍优于水玻璃砂，但若控制不当，树脂砂发气量大可能导致气孔缺陷，而水玻璃砂则易出现表面粘砂（图3所示）。因此，必须根据产品要求，选择最适合的工艺组合。

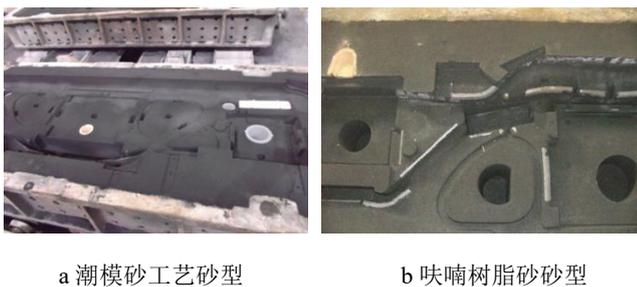


图2 不同型砂工艺生产的砂型表面状态



图3 不同型砂工艺生产的铸钢件缺陷状态

4.2 浇注系统与冒口的设计

浇注系统是钢液的“血管”，其设计关乎充型的平稳性、排渣的顺畅性和温度场的合理性。设计时应遵循“平稳、连续、无涡流、少冲击”的原则。内浇道的设置尤为关键，应避免直冲型壁和砂芯，力求沿型壁注入，并开设在非重要加工面上，便于清理。冒口则应兼顾补缩与集渣排气功能，并优先设置在加工面上，以减少对非加工面的影响。

4.3 分型面与冷铁的优化

分型面的选择应力求简单、平直，以减少错型偏差和清理难度。冷铁作为调节局部冷却速度的重要工具，其设计需谨慎。

外冷铁厚度通常为壁厚的0.5-0.7倍，且不宜超过80-100mm，厚壁处可考虑使用内冷铁或特种砂。冷铁的放置需稳固，并设计斜度或抓砂爪，防止在浇注过程中移位。

5 物质基础：适用原材料的选用与控制

“没有合格的原材料，就生产不出合格的产品”。原材料是铸件质量的物质基础，其稳定性与适用性至关重要。

5.1 造型材料的质量控制

原砂的粒度、SiO₂含量、含泥量、微粉含量等指标，直接影响型砂的强度、透气性和耐火度，必须根据铸件特点（如壁厚、材质）制定严格的内控标准并批次检测。黏结剂及附加物的性能，如强度、硬化时间、发气量等，需与环境温湿度动态匹配，避免因季节变化导致型砂性能波动。涂料作为最后一道防线，其渗透性、悬浮性、抗粘砂性及发气性是关键，需确保其能形成一层均匀、致密、牢固的保护层。图4为符合铸钢件表面要求的涂料生产的铸钢件，图5为同一铸钢件采用不同质量要求的涂料生产的铸钢件。



图4 符合铸钢件表面要求的涂料生产的铸钢件

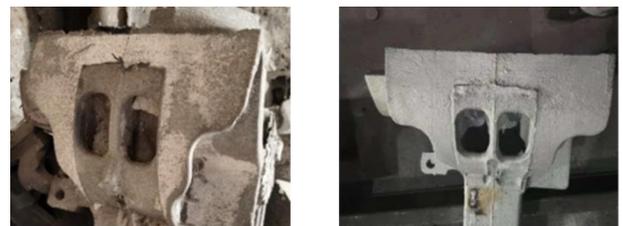


图5 同一铸钢件采用不同质量要求的涂料生产的铸钢件

5.2 冶炼与清理材料

冶炼工序的废钢、铁合金、耐火材料等，决定了钢水的纯净度。耐火材料需具备足够的耐火度、强度和清洁度，以防外来夹杂物进入钢水。清理工序的钢丸、焊补材料等，也需符合标准，避免在后续处理中对铸件表面造成二次损伤。

6 执行保障：现场操作的精细化与标准化

再完美的设计，若没有精准的现场执行，也无法转化为高质量的产品。现场操作是质量控制的最后一道，也是最关键的一道防线。

6.1 造型与下芯过程的控制

造型前，需对模型、芯盒等工装进行点检，确保其完好、

清洁、定位准确。填砂要均匀，紧实要到位，特别是边角和薄弱部位。起模时机和方式至关重要，需待型芯充分硬化后平稳起模，防止拉伤。下芯是高风险环节，必须确保砂芯完好、位置准确、固定稳固，并彻底清理型腔内的浮砂，防止产生砂眼、掉砂等缺陷。

6.2 浇注与开箱的规范操作

浇注过程对温度和速度的控制极为敏感。浇注温度过高易导致粘砂、裂纹；过低则易产生冷隔、浇不足。浇注速度应遵循“慢-快-慢”的原则，确保钢液平稳上升，充分排气。开箱（落砂）时间必须严格控制，铸件应在砂型内冷却至 250-450℃ 方可落砂，过早开箱极易引发变形和裂纹。

6.3 缺陷修复与表面防护

对于不可避免的缺陷，焊修是主要的补救手段。焊修前必须将缺陷彻底清除，并进行适当的预热，以防止焊接裂纹。焊后需进行打磨和无损检测，确保修复质量(如图 6 所示)。最后，通过抛丸、喷漆等表面处理和防护措施，提升最终外观，并防止在运输和储存过程中发生锈蚀和磕碰（如图 7 所示）。



图 6 铸钢件焊后打磨和焊后质量检测



图 7 铸钢件运输时磕伤和漆膜划伤

7 结论

铸钢件表面质量的提升，绝非一蹴而就的“特效药”，而是一场需要“严、韧、细、实、稳”的持久战。它要求我们必须建立系统思维，将质量控制贯穿于产品生命周期的每一个环节。从源头的设计优化，到核心的工艺创新，再到坚实的材料保障和精细的现场执行，环环相扣，缺一不可。唯有如此，才能在激烈的市场竞争中，以卓越的品质铸就企业的品牌与未来。

参考文献：

- [1] 张伯明.铸造生产的质量控制与检验[M].化学工业出版社,2011.
- [2] GB/T 6060.1-2018,表面粗糙度比较样块第 1 部分:铸造表面[S].
- [3] GB/T 15056,铸造表面粗糙度评定方法[S].
- [4] 中国机械工程学会铸造分会.铸造手册(第 5 卷):铸造工艺[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [5] 李魁盛,侯福生.铸造工艺设计原理[M].北京:机械工业出版社,2018.
- [6] 张伯明,樊自田.铸造涂料[M].北京:化学工业出版社, 2010.
- [7] 谢华生,李元元.铸钢件缺陷分析与对策[J].铸造技术, 2020,41(5):1023-1028.