● 工艺技术 Technology ●

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.12.008

# 中小型船用柴油机预埋主润滑油管道溶蚀机理探讨

孙常奋

(沪东重机有限公司 综合技术所,上海 200129)

**摘 要**:中小型船用柴油机机体主滑油预埋钢管在球墨铸铁机体浇铸过程中,钢管受热温度过高,极易溶蚀。通过测定浇铸过程中钢管及近钢管浇铸液温度变化,探讨了钢管在表面无防护状态下溶蚀机理。结果表明,当钢管升温至600 ℃以上时,碳开始从浇铸液向钢管基体晶界渗透,在晶粒表面形成渗碳体 $Fe_3C$。当钢管温度升至共晶线 1 150 ℃以上,奥氏体表面渗碳体开始熔解,晶粒开始剥蚀,至 1 020 ℃凝固结束,组织停止剥蚀。提出了浇铸过程中通过控制钢管过共晶线以上区域温度及时间可有效减少或避免钢管的溶蚀,并提出相应工艺措施。

**关键词**:预埋钢管;浇铸液;共晶线;剥蚀

**中图分类号**:TG242 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2020)12-1139-03

## Study on Dissolving Erosion Mechanism of Pre-embedded Main lubrication Oil Pipeline during Casting for Small-to-medium Sized Marine Diesel Engine Block

SUN Changfen

(Comprehensive Technology Research Institute of Hudong Heavy Machinery Co., Ltd., Shanghai 200129, China)

**Abstract**: In the casting process of ductile iron, the heat temperature of the steel tubes embedded in the main lubricating oil of the small and medium-sized marine diesel engine block was too high, which main pipes will be melted easily at a high temperature. The corrosion mechanism of steel tubes without surface protection was discussed by measuring the temperature change of the steel tubes and the casting solution near the steel tubes during the filling process. The results show that when the temperature of the steel tube is above 600 ℃, carbon begins to permeate from the casting solution to the grain boundary of the steel tube, forming cementation $Fe_3C$ on the grain surface. When the temperature of the steel tube rises above 1 150 ℃, the austenite surface cementite begins to melt and the grain begins to denudate, and the microstructure stops denudation when the solidification ends at 1 020 ℃. It is proposed that the temperature and time above the eutectic line can effectively reduce or avoid the corrosion of steel tubes during the casting process, and the corresponding technological measures are put forward.

**Key words**: pre-embedded pipe; casting fluid; eutectic line; detaching

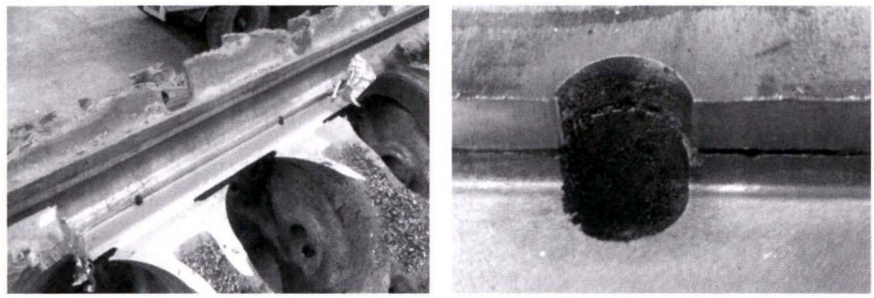
中小型船用柴油机机体主滑油道通常采用预埋钢管设计方案。所用钢管贯穿整个机架,管壁较薄。钢管材料为 20# 无缝钢管,机体为球墨铸铁,钢管表面无防护时,浇铸中极易熔化,往往造成横向管壁熔蚀贯穿。钢管一旦溶蚀,不仅与机体难以熔合,形成间隙,钢管熔穿后管内形成串流,导致产品无法正常使用。在预防上,目前国内通常对钢管表面防护及机体结构优化研究较多[1],对溶蚀机理探讨较少,中小型船用柴油机机体及预埋钢管尺寸大,钢管鉴于环保所限表面常不做防护处理,预埋钢管在浇铸中一旦温度偏高,溶蚀速度极快,在生产中或多或少都存在问题。本文就柴油机机体在高温浇铸过程中预埋的主滑油道钢管溶蚀机理进行了微观探讨,提出球墨铸铁高温碳原子沿钢管晶界的快速扩散与熔解时钢管快速溶蚀的主要原因,在此基础上提出了可量化的控制措施。

## 1 试验材料及工艺

以本公司某中小型船用柴油机机体为例,机体选用 QT500-17 球墨铸铁,钢管用 20#,壁厚 10 mm,其化学成分列于表 1。图 1 为机体与钢管的结构解剖图和溶蚀间隙。

**收稿日期**:2020-07-17

**作者简介**:孙常奋(1965-),浙江宁波人,高级工程师,工程硕士.主要从事金属材料方面的工作.电话:13601838731,E-mail:dt_SUN@126.com



(a)结构解剖图　(b)溶蚀间隙

图 1 机体与钢管的结构解剖图和溶蚀间隙

Fig.1 Cross section of engine block and pipeline and the gap between engine block body and pipeline

**表 1 机体与钢管的化学成分 $w$(%)**

**Tab.1 Chemical composition of the engine block and the pipe**

| | 牌号 | C | Si | Mn | S | P | Cu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 机体 | QT500-17 | 3.4 | 2.2 | 0.31 | 0.012 | 0.020 | 0.10 |
| 钢管 | 20# | 0.21 | 0.21 | 0.66 | 0.005 | 0.011 | 0.10 |

机体浇铸前砂箱预热至 200 ℃，浇铸温度 1 430 ℃，在机体近钢管 10 mm 及对应钢管内壁预置热电偶，浇铸过程测得近钢管浇铸液及钢管温度变化如图 2 所示。

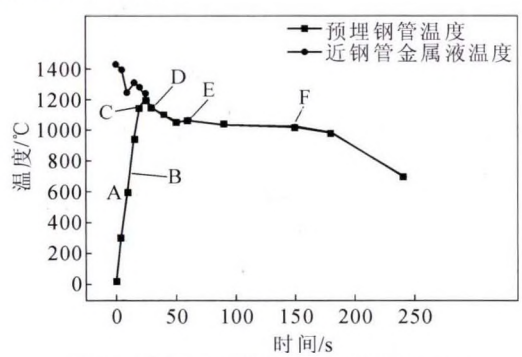



图 2 机体及预埋钢管浇铸中温度变化

Fig.2 The temperature variation of the engine block and the pre-embedded pipe during casting

## 2 钢管溶蚀分析

### 2.1 浇铸过程钢管溶蚀分析

分析图 2，可以看出，浇铸 10 s 后浇铸液温度急剧下降并在高温区形成低点后出现拐点，温度回升，此时，钢管温度从常温(O 点)升高至 600 ℃(A 点)，钢管表面浇铸液中的高浓度碳开始向钢管内部扩散。碳既向金属中的铁素体扩散，同时又急速沿晶界渗透。碳沿晶界渗透速度远大于其在铁素体中的扩散速度，晶界的碳与钢管机体组织铁素体晶粒表面生成渗碳体 $Fe_3C$。随着钢管温度继续上升，温度超过共析温度 720 ℃(B 点)，机体组织转变成奥氏体，晶界高浓度碳向组织内部扩散。当浇铸 25 s，温度超过共晶线 1 150 ℃(C 点至 D 点)，奥氏体表面渗碳体开始熔解，钢管组织中的原奥氏体晶粒开始剥蚀。于 40 s 钢管与金属液温度重合，同步降温。金属液至 1 060 ℃开始凝固(E 点)，1 020 ℃凝固结束(F 点)，钢管中原组织停止剥蚀。DE、EF 区，随着温度降低及球形石墨不断生成及长大，液相中的碳含量急剧降低，碳在奥氏体表面形成渗碳体后不再分解。至 F 点凝固后，铸件机体形成铁素体+石墨或珠光体+石墨。近钢管铸件组织中的碳不再向钢管组织渗透[2-5]。

因此，钢管升温至 600 ℃以上，碳开始从浇铸液向钢管机体晶界渗透，在晶粒表面形成渗碳体 $Fe_3C$。当钢管温度升至共晶线 1 150 ℃以上，奥氏体表面渗碳体开始熔解。

### 2.2 碳在组织界面形成渗碳体 $Fe_3C$ 形成溶蚀机理

钢管升温至 600 ℃以上，碳开始从浇铸液向钢管机体晶界渗透，渗碳体与铁素体间的晶体学取向关系为 $(001)\,Fe_3C\,//\,(211)\alpha$，$[100]\,Fe_3C//\,[0\bar{1}1]\alpha$，$[010]\,Fe_3C\,//\alpha$，$[\bar{1}\bar{1}1]\,Fe_3C$ // 渗碳体能在铁素体晶体表面上形核并生长[6-8]。当钢管温度升至共晶线 1 150 ℃以上，奥氏体表面渗碳体开始分解出游离 C 与 Fe，晶体表面渗碳体 $Fe_3C$ 熔解。分离出的 C 继续吸附于奥氏体晶粒表面，继续形成渗碳体 $Fe_3C$，分离出的 Fe 熔入高碳浇铸液中。高温下，渗碳体 $Fe_3C$ 继续分解—碳吸附—形成 $Fe_3C$，随着奥氏体晶粒表面 Fe 不断溶蚀，晶粒最终剥离机体熔入高碳浇铸液中(见图 3)。钢管在高温区 C-D 时间越久，内部晶粒剥蚀越严重。

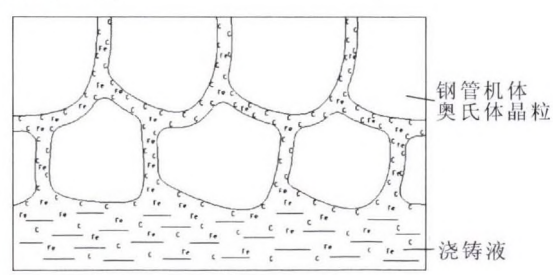



图 3 钢管组织熔蚀机理示意图

Fig.3 Schematic dissolving erosion mechanism of pipe steel structure

## 3　改进措施

### 3.1　控制 CD 区

预埋钢管的溶蚀与其在超过共晶线 1 150 ℃(CD 区)有关，温度超过 CD 线越高，在 CD 区停留时间越长，钢管溶蚀越严重。浇铸工艺中，产品吨位越大、钢管部位铸件壁厚越大、凝固冷却中钢管部位热节的形成是造成温度超 CD 线越高，在 CD 区停留时间越长的主要原因。因此，提高预埋钢管内部支撑导热性，避免钢管部位铸件冷却过程中的热节可有效降低钢管溶蚀，同时在机架设计中应控制近钢管铸件结构厚度。

### 3.2　控制 BC 区

降低钢管升温速度可有效降低超 CD 线温度。提高预埋钢管内部支撑导热性，机架设计中应控制近钢管铸件结构厚度是有效的措施。

### 3.3　效果

预埋钢管机体(机体型号按重量分类)浇注溶蚀质量统计对比如图 4 所示。

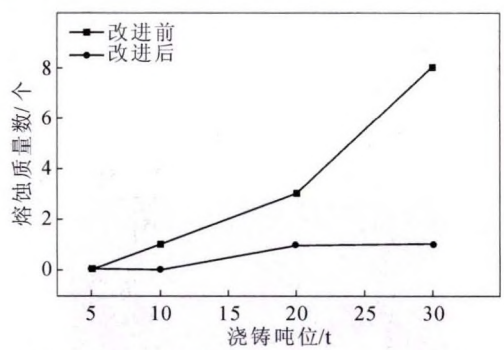



图 4　改进前后预埋钢管浇铸溶蚀情况比较

Fig.4　Comparison of dissolving erosion of pre-embedded pipes before and after improvement

## 4　结论

中小型船用柴油机机体主滑油预埋钢管在球墨铸铁机体浇铸过程中，钢管受热温度过高，极易溶蚀。本文通过测定浇铸过程中钢管及近钢管浇铸液温度变化，探讨了钢管在表面无防护状态下溶蚀机理。当钢管升温至 600 ℃以上，碳开始从浇铸液向钢管机体晶界渗透，在晶粒表面形成渗碳体 $Fe_3C$。当钢管温度升至共晶线 1 150 ℃以上，奥氏体表面渗碳体开始熔解，晶粒开始剥蚀，至 1 020 ℃凝固结束，组织停止剥蚀。本文提出浇铸过程中通过控制钢管过共晶线以上区域温度及时间可有效减少或避免钢管的溶蚀，并提出相应工艺措施，提高预埋钢管内部支撑导热性，避免钢管部位铸件冷却过程中的热节可有效降低钢管溶蚀，同时在机架设计中应控制近钢管铸件结构厚度。

**参考文献：**

[1]　刘爱军，张万钰. 浅议机体预埋钢管的铸造工艺设计及改进[J]. 中国铸造装备与技术，2019, 54(5): 55-58.

[2]　李育洛，高占勇，李瑞红，等. 埋管铸造成形油道孔的工艺试验[J]. 铸造，2019, 68 (2): 198-202.

[3]　闫世兴，董世运，徐滨士，等. 灰铸铁表面激光熔覆 NiCuFeBSi 合金层中碳扩散形式研究 [J]. 稀有金属材料与工程，2014, 43 (9): 2182-2186.

[4]　张清双，程璐，刘洪涛. 炼油装置用阀门高温腐蚀损伤机理的分析与研究[J]. 阀门，2016(2): 23-26, 45.

[5]　符俊华. 矿山机械零件的腐蚀破坏 [J]. 化工矿物与加工，1999 (8): 18-19.

[6]　熊辉辉. 钢中碳化物析出及其界面行为的第一性原理研究[D]. 上海：上海大学，2018.

[7]　高宏适. 碳化物相界面析出现象及其在钢铁材料中的应用[J]. 世界金属导报，2019(1): 1-145.

[8]　胡赓祥，蔡珣，戎咏华. 材料科学基础[M]. 上海交通大学出版社，2010.

**《铸件均衡凝固技术及应用实例》**

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共 8 章：1、铸铁件均衡凝固与有限补缩；2、铸铁件冒口补缩设计及应用；3、压边浇冒口系统；4、浇注系统大孔出流理论与设计；5、铸件均衡凝固工艺；6、铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺；7、浇注系统当冒口补缩设计方法；8、铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书 320 页，特快专递邮购价 280 元。

邮购咨询：李巧凤 029-83222071，技术咨询：13609155628