

ZG310-570 钢厚大铸件线性聚磁缺陷性质及成因分析

林峰云¹, 杨 军², 徐宝库¹, 付海昌¹, 李兰国¹

(1. 中车大连机车车辆有限公司, 辽宁大连 116021; 2. 大连交通大学材料科学与工程学院, 辽宁大连 116028)

摘要: 针对ZG310-570钢厚大铸件探伤线性聚磁缺陷问题, 采用光学显微镜和扫描电子显微镜对实物制取试样进行了缺陷组织分析和能谱成分检测, 完成了ZG310-570钢厚大铸件探伤线性聚磁问题的缺陷性质及成因分析。

关键词: ZG310-570钢; 厚大铸件; 线性聚磁; 疏松

1 问题的提出

铁道机车车辆用铸钢件不允许存在裂纹缺陷, 而疏松属于一种铸造缺陷, 在铸件上允许有一定程度的存在。实际生产中, 较细小的裂纹和疏松在磁粉探伤仪的作用下, 均呈现有表现相似的线性聚磁反应, 除专业技术人员外, 很难对二者进行准确判别, 甚至有些线性聚磁反应即便是专业技术人员, 单纯依靠探伤仪也很难准确判定其缺陷属性^[1]。铁道机车车辆在检修或平时例检过程中, 只要探伤仪显示出线性聚磁反应, 一般都会直接定性为裂纹, 从而不得不对铸件进行缺陷焊补或排除, 严重者甚至要对产品进行报废处理。

采用ZG310-570钢生产厚大铸件时, 经常会遇到探伤线性聚磁缺陷质量问题, 该线性聚磁缺陷属于裂纹还是疏松, 现场很难界定。本着从严的原则, 现场哪怕是只有不足1 mm长的点线状聚磁, 也要按照裂纹缺陷进行焊补和打磨排除处理。同时, 由于ZG310-570钢铸件精加工后很难进行焊修, 一般都要专门在粗加工后增加一道焊修和去应力回火的焊补处理工序, 以保证缺陷在精加工前能够得到最大程度的处理。尽管如此, 由于缺陷位置、方向及深度的不确定性, 精加工后仍会有部分铸件再次出现线性聚磁而必须进行缺陷打磨排除, 打磨超限时因不能焊修而只能做报废处理, 导致ZG310-570钢厚大铸件的成品率普遍较低。

为给生产中遇到的厚大ZG310-570钢铸件线性聚磁质量问题提供现场处理依据, 有必要对生产过程中遇到的探伤线性聚磁缺陷问题进行定性分析。

2 ZG310-570钢铸造特性分析

从凝固特性上来看, 低碳钢凝固方式趋向逐层凝固, 高碳钢趋向糊状凝固, 含碳量在二者之间的中碳钢(含碳量在0.25%~0.60%)则属于介于层状凝固和糊状凝固之间的中间凝固方式, 并且中碳钢随着含碳量的增加, 糊状凝固倾向逐渐增强^[2]。ZG310-570钢含碳量为0.40%~0.50%, 属于含碳量较高的中碳钢, 凝固温度间隔宽, 具有较强的糊状凝固(体积凝固)倾向, 极易产生疏松缺陷。不同含碳量铸件的凝固方式见图1。

厚大ZG310-570钢铸件加上工艺冒口, 一般来说浇注后的砂箱整体热容量大, 冷却速度慢, 导致糊状凝固(体积凝固)特征更加明显, 实际生产中非常易于产生探伤线性聚磁反应。

作者简介:

林峰云(1963-), 男, 教授级高工, 学士, 研究方向为铸造工艺技术。E-mail: linfengyun1@126.com

中图分类号: TG247

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2021)

01-0113-06

收稿日期:

2020-12-14。

3 线性聚磁试样光学显微镜金相组织分析

在厚大ZG310-570钢铸件上线性聚磁反应较明显的位置处实物制取2块分析样块，依据TB/T 2451—1993和GB/T 6394—2017标准进行了光学显微镜下的金相组织观察，发现试样边缘存在着大块显微疏松组织，结果见表1。0518-1号试样边缘腐蚀前后的金相组织见图2，0518-2号试样边缘腐蚀前后的金相组织见图3。

4 钢线性聚磁试样扫描电镜分析

为对缺陷进行准确性分析，从厚大ZG310-570钢铸件上实物制取3块特征明显的线性聚磁样块，使用附带能谱仪的扫描电镜对缺陷试样进行电子显微金相组织分析及能谱图检测^[3]。

4.1 试样宏观形貌

实物制取的3块线性聚磁缺陷试样，缺陷分布于记

号笔标记部位，用于电镜分析检测，试样见图4。

4.2 电子显微金相组织

4.2.1 1号试样金相组织

由图5所示，在1号试样指定检测区域出现大量异常形态组织，电镜下显示为类似分散疏松组织，同时伴随白色颗粒状组织。

4.2.2 2号试样金相组织

由图6所示，在2号试样指定检测区域出现异常形态组织比较集中，扫描电镜下显示为类似分散疏松组织，同时伴随大量白色颗粒状组织，疑似非金属夹杂物^[4]。

4.2.3 3号试样金相组织

由图7所示，在3号试样指定检测区域出现与1、2号试样相似的异常形态组织，在电镜下白色组织呈现不规则块状组织，疑似非金属夹杂物^[4]。

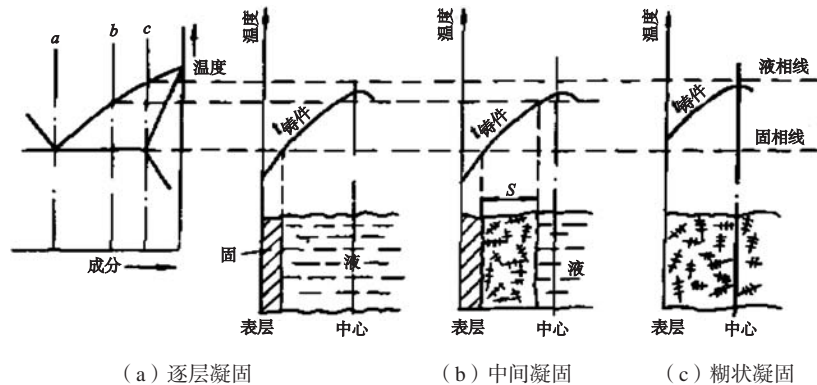


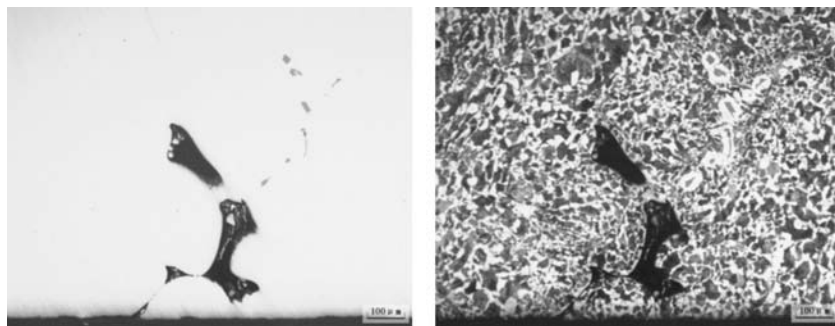
图1 铸件凝固方式

Fig. 1 Casting solidification modes

表1 ZG310-570钢线性聚磁试样金相检测结果

Table 1 Metallographic structure inspection results of ZG310-570 steel linear magnetic sample

试样编号	II型夹杂	III型夹杂		高倍组织	晶粒度/级	备注	倍率
		细系	粗系				
0518-1	1级	2级	2级	珠光体+铁素体	7	合格	100×
0518-2	1级	2级	2级	珠光体+铁素体	7	合格	100×

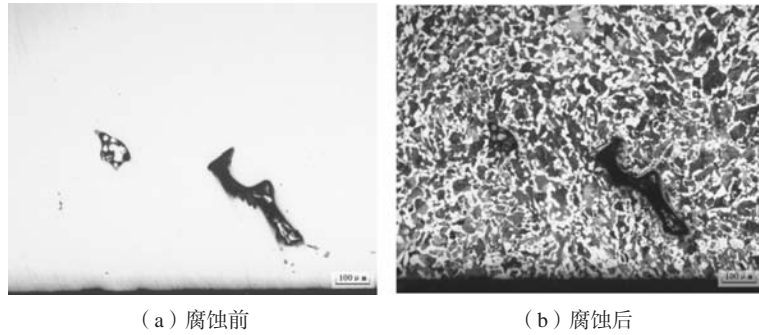


(a) 腐蚀前

(b) 腐蚀后

图2 0518-1号试样边缘腐蚀前后金相组织

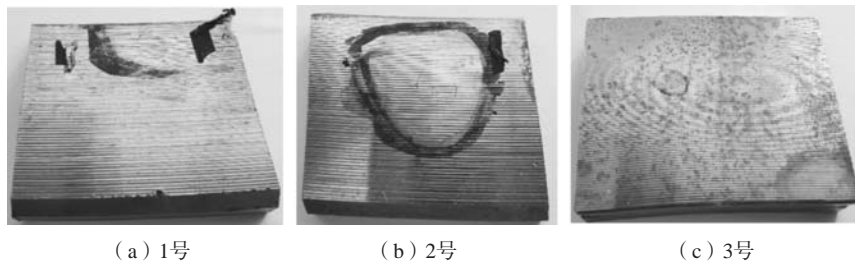
Fig. 2 Metallographic structure of 0518-1 sample edge before and after corrosion



(a) 腐蚀前 (b) 腐蚀后

图3 0518-2号试样边缘腐蚀前后金相组织

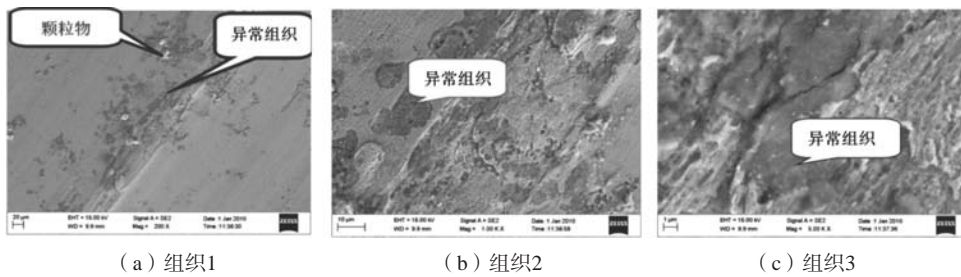
Fig. 3 Metallographic structure of 0518-2 sample edge before and after corrosion



(a) 1号 (b) 2号 (c) 3号

图4 电镜分析检测试样

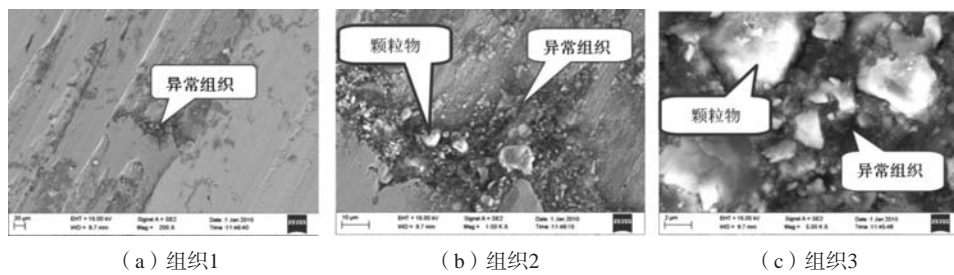
Fig. 4 Samples for SEM metallurgical structure observation and energy spectrum analysis



(a) 组织1 (b) 组织2 (c) 组织3

图5 1号试样显微金相组织

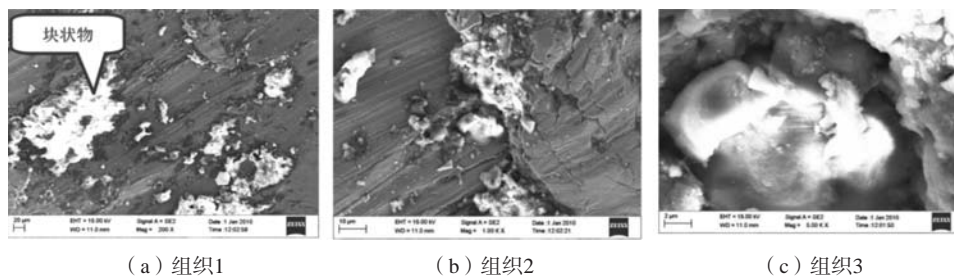
Fig. 5 Metallurgical structure of sample No. 1



(a) 组织1 (b) 组织2 (c) 组织3

图6 2号试样显微金相组织

Fig. 6 Metallurgical structure of sample No. 2



(a) 组织1 (b) 组织2 (c) 组织3

图7 3号试样显微金相组织

Fig. 7 Metallurgical structure of sample No. 3

4.3 能谱扫描

4.3.1 1号试样能谱扫描

1号试样能谱扫描位置见图8，能谱扫描谱图1、谱图2和谱图3见图9，谱图1、谱图2和谱图3的定量分析结果分别见表2、表3和表4。

在谱图1中，氧元素含量极高，说明该区域存在大量氧化物组织，其中Si和Mn量超标，C量偏低，说明该区域组织以O、Si和Mn元素组成物为主。

在谱图2中，以正常基体组织为目标完成能谱扫描，该区域氧元素含量极低，C和Si元素含量在目标范围内，说明本次试样组织元素符合成分规定要求。

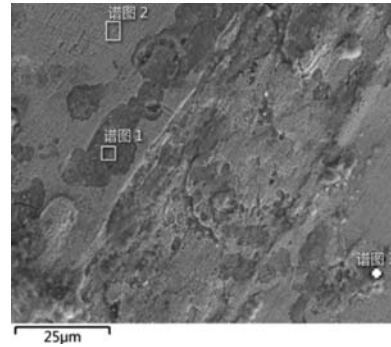


图8 1号试样能谱扫描位置

Fig. 8 Energy spectrum scan positions of sample No. 1

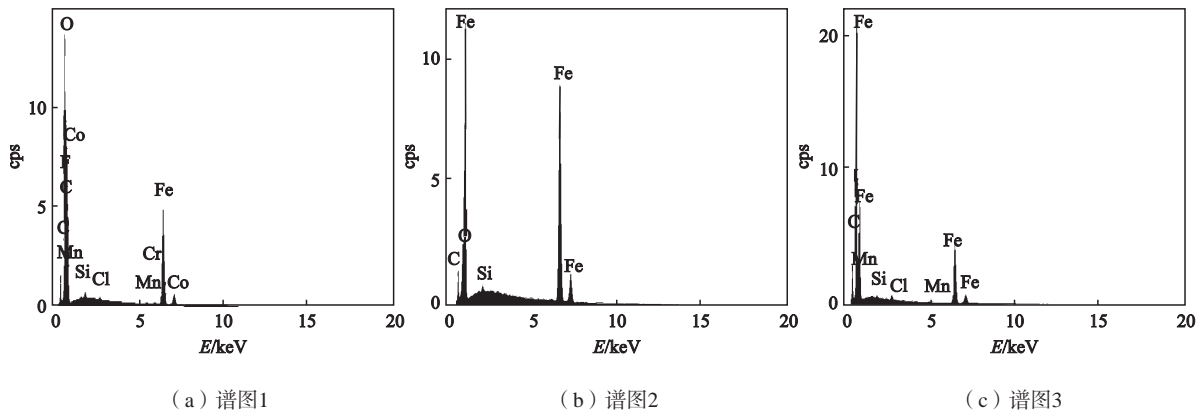


图9 1号试样能谱扫描谱图

Fig. 9 Scanning spectra of sample No. 1

表2 谱图1定量分析结果

Table 2 Quantitative analysis results of spectrum 1

元素	线类型	表观浓度	k比值	$w_B/\%$	$w_B/\%$ Sigma	原子分数/%	标准样品标签
C	K线系	2.36	0.023 62	9.95	0.26	22.70	C Vit
O	K线系	37.67	0.126 76	26.83	0.23	45.94	SiO ₂
Si	K线系	0.42	0.003 30	0.59	0.05	0.58	SiO ₂
Mn	K线系	0.78	0.007 81	1.09	0.12	0.54	Mn

表3 谱图2定量分析结果

Table 3 Quantitative analysis results of spectrum 2

元素	线类型	表观浓度	k比值	$w_B/\%$	$w_B/\%$ Sigma	原子分数/%	标准样品标签
C	K线系	1.35	0.013 50	7.26	0.38	25.26	C Vit
O	K线系	3.32	0.01116	2.70	0.16	7.04	SiO ₂
Si	K线系	0.23	0.001 83	0.38	0.08	0.57	SiO ₂

表4 谱图3定量分析结果

Table 4 Quantitative analysis results of spectrum 3

元素	线类型	表观浓度	k比值	$w_B/\%$	$w_B/\%$ Sigma	原子分数/%	标准样品标签
C	K线系	3.22	0.032 17	12.94	0.29	25.30	C Vit
O	K线系	47.89	0.161 16	36.13	0.26	53.03	SiO ₂
Si	K线系	0.13	0.001 02	0.19	0.05	0.16	SiO ₂
Mn	K线系	0.24	0.002 36	0.35	0.10	0.15	Mn

在谱图3中,氧元素含量极高,说明该区域存在大量氧化物组织,其中Si和Mn量正常,C量严重超高,说明该区域组织以O和C元素组成物为主。

4.3.2 2号试样能谱扫描

2号试样能谱扫描位置见图10。能谱扫描谱图4和谱图5见图11,谱图4和谱图5的定量分析结果分别见表5和表6。

对谱图4中,重点扫描夹杂颗粒成分,结果显示该颗粒以Ca和O为主。

对谱图5中,对图示区域进行面扫描,该区域的O、Al、Si、S和Ca元素超标,说明该区域形成了以氧化物或硫化物为主的夹杂物。

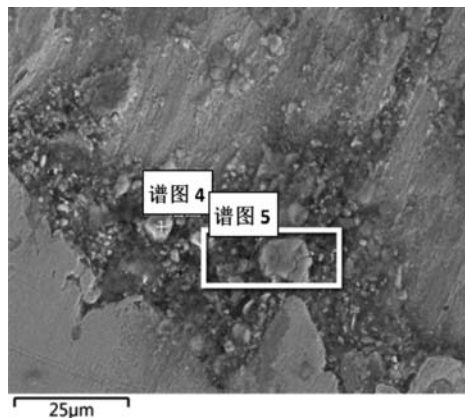


图10 2号试样能谱扫描位置图

Fig. 10 Energy spectrum scan positions of sample No. 2

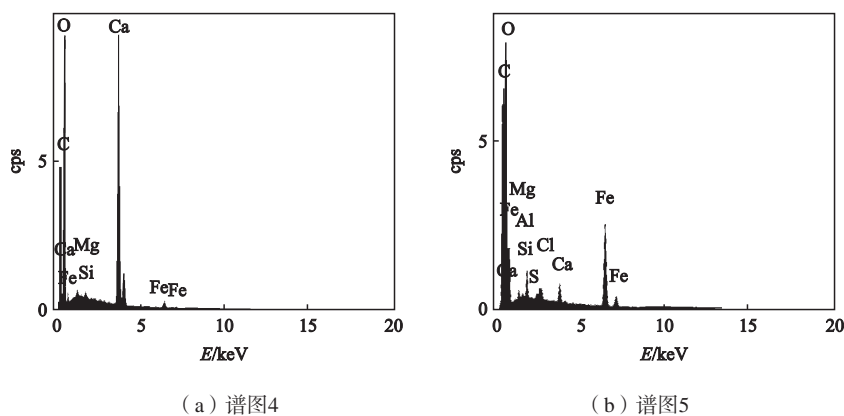


图11 2号试样能谱扫描谱图

Fig. 11 Scanning spectra of sample No. 2

表5 谱图4定量分析结果

Table 5 Quantitative analysis results of spectrum 4

元素	线类型	表观浓度	<i>h</i> 比值	$w_B/\%$	$w_B/\%$ Sigma	原子分数/%	标准样品标签
C	K线系	7.18	0.071 80	14.93	0.30	24.19	C Vit
O	K线系	26.78	0.090 12	47.43	0.39	57.69	SiO ₂
Mg	K线系	0.30	0.001 99	0.38	0.06	0.30	MgO
Si	K线系	0.23	0.001 79	0.25	0.05	0.17	SiO ₂
Ca	K线系	33.18	0.296 43	34.63	0.31	16.81	CaSiO ₃

表6 谱图5定量分析结果

Table 6 Quantitative analysis results of spectrum 5

元素	线类型	表观浓度	<i>h</i> 比值	$w_B/\%$	$w_B/\%$ Sigma	原子分数/%	标准样品标签
C	K线系	12.09	0.120 90	33.12	0.36	53.20	C Vit
O	K线系	28.21	0.094 91	25.97	0.27	31.32	SiO ₂
Mg	K线系	0.47	0.003 10	0.60	0.05	0.48	MgO
Al	K线系	0.14	0.001 00	0.16	0.05	0.11	Al ₂ O ₃
Si	K线系	1.38	0.010 96	1.45	0.06	1.00	SiO ₂
S	K线系	0.29	0.002 49	0.28	0.04	0.17	FeS ₂
Cl	K线系	0.71	0.006 22	0.70	0.05	0.38	NaCl
Ca	K线系	2.55	0.022 79	2.34	0.08	1.13	CaSiO ₃

4.4 电子显微镜扫描结果分析

4.4.1 微观组织形态分析

从1、2、3号试样电子图像可见，缺陷的微观组织放大呈空洞状，呈现较明显的微观孔洞类缺陷的纵切组织形态，从缺陷的边缘形貌来看，明显不属于裂纹缺陷，符合孔洞态铸造显微疏松缺陷组织特征。

4.4.2 夹杂物形态分析

根据电子图像，缺陷位置存在大量的白色颗粒物，该颗粒应为非金属夹杂物。

非金属夹杂物颗粒富集在凝固前沿最终凝固区域的溶质富集区，表明低熔点非金属夹杂物在枝晶间凝固过程中，随着凝固前沿推移，集中在最后凝固区域，呈现枝晶间微观逐层凝固过程中的凝固偏析组织形态，符合疏松类缺陷夹杂物富集于疏松区结晶组织前沿的组织特征^[5]。

4.4.3 组织成分分析

谱图2为正常基体组织，区域氧元素含量极低，

C、Si元素含量均在目标范围内，说明本次试样正常组织元素符合设计要求。

从缺陷组织谱图（除谱图2外）可见，缺陷位置共检测出了C、O、Mg、Al、Si、Ca、Cl、S等共8种成分。其中：①C、O、Si、S、Al为钢中的正常组织成分，含量均在正常组织范围内；②Mg含量极低，为钢中存在的微量元素，含量正常；③Cl为钢中不可能存在的成分，怀疑是试样制取过程受污染所致，从该成分只在一个谱图中发现的情况来看，基本可以肯定；④Ca元素为炉渣成分，应为钢液中混入的微量钢渣未完全上浮而残留在钢液中所致。

5 结论

(1) 线性聚磁缺陷是铸造疏松缺陷，不属于裂纹。

(2) 夹杂物为钢液中的氧化夹杂和微量的炉渣成分夹杂，不属于外来夹杂物。

参考文献:

- [1] 刘仕远. 机车铸钢轮心磁粉检测的常见磁痕[J]. 无损检测, 2017(7): 78.
- [2] 刘鹏飞. 铸件凝固方式和砂型铸造方法[J]. 科技风, 2010(7): 131.
- [3] 冯柳, 彭庆梁. 扫描电镜在金属材料检测中的应用[J]. 世界有色金属, 2020, 16: 208-209.
- [4] 王奕. 钢中非金属夹杂物图像/图谱表征技术[EB/OL]. 中国知网独家网络首发, 2020 [20201211]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=SJGY20201015004&v=FCKPIsegqyne4je8H5Ro289LJ6WQ3zJpDgSeE1QFdPNi%25mmd2F19YS93tRQbF8KgZHWvS>.
- [5] 王文中. 铸件夹杂物的主要来源对比研究[J]. 铸造技术, 2019(5): 485.

Linear Magnetization Defect of Thick and Large ZG310-570 Steel Castings and Cause Analysis

LIN Feng-yun¹, YANG Jun², XU Bao-ku¹, FU Hai-chang¹, LI Lan-guo¹

(1. CRRC Dalian Co., Ltd., Dalian 116021, Liaoning, China; 2. School of Material Science and Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, Liaoning, China)

Abstract:

Since the linear magnetization defect was found in the flaw detection of thick and large ZG310-570 steel castings, the defect structure observation and energy spectrum composition testing were carried out by using optical microscope and scanning electron microscope. On this basis, the defect characteristics and causes were analyzed.

Key words:

ZG310-570 steel; thick and large casting; linear magnetization; porosity