

AISI 410SS 钢 $\Phi 200$ mm 锻材轴心晶间裂原因分析与工艺改进

张 军^{1,3} 李造宇^{1,3} 杨 玲² 郑振宇^{1,3} 杨 斌^{1,3} 伍 伟^{1,3}

(1 大冶特殊钢有限公司,黄石 435001;2 湖北省黄石市产品质量监督检验所,黄石 435000;
3 高品质特殊钢湖北省重点实验室,黄石 435001)

摘 要 规格 $\Phi 200$ mm 的 AISI 410SS 钢生产流程为 20 t 电弧炉冶炼 \rightarrow LF \rightarrow VD \rightarrow 3 t 铸锭 \rightarrow 锻造。通过对轴心晶间裂的微观形貌、形成机理进行综合分析,钢液凝固过程中心部位位置冷却慢导致成分偏析而形成的铁素体增加和夹杂物聚集,最终导致锻材轴心晶间裂。通过对成分进行调整,奥氏体形成元素分别由原 0.11C-0.16Ni-0.55Mn 增加至 0.14C-0.45Ni-0.78Mn 和铁素体形成元素由原 12.84Cr-0.46Si-0.20Mo-0.022Nb 减少至 11.81Cr-0.31Si-0.10Mo-0.005Nb,铁素体由 4% 降至 0.5%,轴心晶间裂由 0.5 级降至 0 级

关键词 AISI 410SS 钢 轴心晶间裂 铁素体

Cause Analysis and Process Improvement of Centre Intergranular Crack of $\Phi 200$ mm Forging of Steel AISI 410SS

Zhang Jun^{1,3}, Li Zaoyu^{1,3}, Yang Ling², Zheng Zhenyu^{1,3}, Yang E^{1,3} and Wu Wei^{1,3}

(1 Daye Special Steel Co Ltd, Huangshi 435001; 2 Hubei Huangshi Product Quality Supervision and Inspection Institute, Huangshi 435000; 3 Hubei province Key Laboratory for High Quality Special Steel; Huangshi 435001)

Abstract The production process of $\Phi 200$ mm steel AISI 410SS is 20 t EAF-LF-VD-3 t ingot-forging. Through comprehensive analysis on the micro-morphology and formation mechanism of centre intergranular cracks, it is found that slow cooling of the central part of the liquid steel during solidification results in composition segregation, increasing ferrite formation and inclusion clustering finally led to forgings axis intergranular cracks. By adjusting the composition, increasing austenite-forming elements from original 0.11C-0.16Ni-0.55Mn to 0.14C-0.45Ni-0.78Mn and reducing ferrite-forming elements from original 12.84Cr-0.46Si-0.20Mo-0.022Nb to 11.81Cr-0.31Si-0.10Mo-0.005Nb, the ferrite in steel decreases from original 4% to 0.5% and the axis intergranular crack rating decreases for 0.5 rating to 0.

Material Index Steel AISI 410SS, Axial Intergranular Crack, Ferrite

轴心晶间裂在《GB/T1979-2001 结构钢低倍组织缺陷评级图》中这样描述:轴心晶间裂纹一般出现于高合金不锈钢耐热钢中,如 Cr5Mo、1Cr13、Cr25,有时高合金结构钢如 18Cr2Ni4WA 中也常出现。在酸浸试片上呈三岔或多岔的,曲折、细小,由坯料轴心向各方取向的蜘蛛网形的条纹^[1]。轴心晶间裂不是宏观裂纹,无法通过探伤发现,只能通过传统的酸浸低倍腐蚀进行评级。在很多技术规范中限制了轴心晶间裂的级别或不允许轴心晶间裂的产生^[2,3]。

AISI 410SS 钢与 1Cr13 钢的化学成分类似,在生产过程中同样容易产生轴心晶间裂缺陷。本文通过生产实践过程中对 AISI 410SS 钢轴心晶间裂纹形成原因进行分析,针对形成原因并制定改进措施,最终解决 AISI 410SS 钢轴心晶间裂难题。

1 实验材料及原理分析

1.1 实验材料

实验材料的钢种为 AISI 410SS 钢规格为 $\Phi 200$ mm,其工艺流程:20 t 电弧炉冶炼 \rightarrow LF 精炼 \rightarrow VD 真空脱气 \rightarrow 模铸浇注 3 t 钢锭 \rightarrow 锻造。取 20 mm 试片铣光后进行酸洗,用 50% 的热盐酸进行腐蚀,用清水洗刷吹干后进行评级。试片的中心位置有向四周延伸的多条、曲折、细小的蜘蛛网状条纹(图 1),按照 GB/T1979-2001 标准轴心晶间裂图谱评定为 0.5 级(图 2)。对试片进行解剖分析,切取中心位置取样磨制金相试样并腐蚀,分别采用光学显微镜和扫描电镜观察。在光学显微镜下观察裂纹沿晶界呈网状分布,在扫描电镜下观察裂纹由一个一个小晶粒连接,小晶粒内部有明显的凹陷部位,图 3(a,b)。

1.2 形成原理分析

钢材凝固过程中根据铁碳相图原理, AISI 410SS 钢钢液在凝固过程发生包晶反应: $L + \delta = \gamma$ ^[4]。由于合金含量较高扩散较慢,同时在心部冷

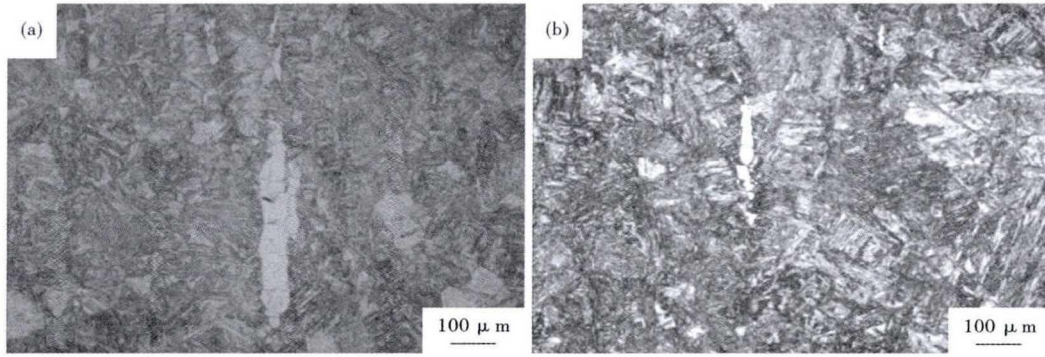


图 1 AISI 410SS 钢成分调整前(a)和调整后(b),铁素体含量
Fig. 1 Ferrite content in steel AISI 410SS before (a) and after (b) composition adjustment

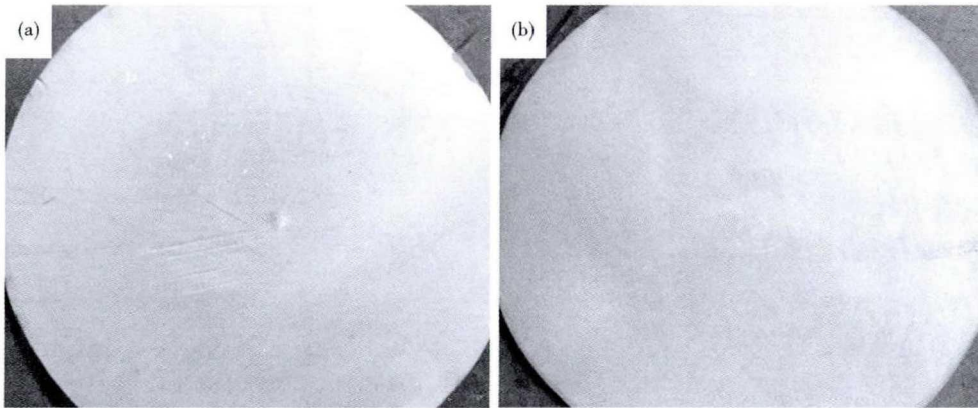


图 2 AISI 410SS 钢成分调整前轴心晶间裂(0.5 级)(a)和调整后轴心晶间裂(0 级)(b)
Fig. 2 Axis intergranular crack (rating 0.5) before composition adjustment (a) and axis intergranular crack (rating 0) after composition adjustment (b), steel AISI 410SS

却速度更慢,凝固过程中特别容易在心部造成成分偏析。成分偏析导致铁素体在心部生成,且夹杂物聚集等多重因素,导致材料在经过酸浸腐蚀后,铁素体被腐蚀剥落出现一串一串的腐蚀小坑,从宏观观察为蛛网状裂纹缺陷。该缺陷无法通过探伤识别,但可以通过酸洗发现,多发生在成分偏析较严重位置,如钢锭头部。

2 工艺改进及结果对比

2.1 工艺改进

通过对 AISI 410SS 钢轴心晶间裂形成原理分析,对钢的化学成分的极限控制避免 δ 铁素体的形成是方法之一。根据化学元素对铁碳相图的影响,提高奥氏体形成元素,降低铁素体形成元素,能有效

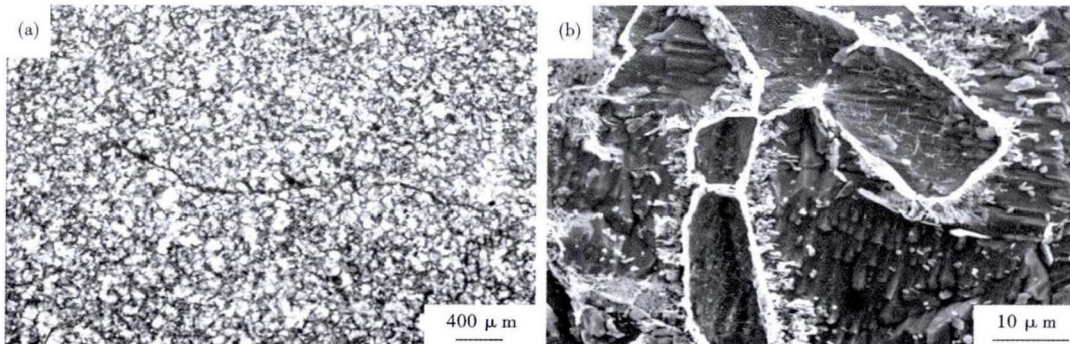


图 3 AISI 410SS 钢轴心晶间裂($\times 25$)(a)和($\times 5000$)(b)
Fig. 3 Axis intergranular crack of steel AISI 410SS, ($\times 25$)(a) and ($\times 5000$)(b)

表 1 AISI 410SS 钢调整前后化学成分
Table 1 Steel AISI 410SS chemical composition before and after adjustment

项目	化学成分/%							实际 Creq	实际 Nieq
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb		
标准	≤0.15	≤1.00	≤1.00	11.50~13.50	≤0.50	≤0.50	-	-	-
调整前成分	0.11	0.46	0.55	12.84	0.16	0.20	0.022	13.74	3.74
调整后成分	0.14	0.31	0.78	11.81	0.45	0.10	0.005	12.38	5.04

注: Creq = Cr% + Mo% + 1.5 × Si% + 0.5 × Nb% ; Nieq = Ni% + 30 × C% + 0.5 × Mo%

表 2 AISI 410SS 钢成分调整前后 Creq/Nieq, 铁素体含量和轴心晶间级别

Table 2 Creq/Nieq, ferrite content and axis intergranular crack rating of steel AISI 410SS before and after adjustment

项目	Creq/ Nieq	铁素体含量/%	轴心晶间裂/级
成分调整前	3.68	4(图 1a)	0.5(图 2a)
成分调整后	2.46	0.5(图 1b)	0(图 2b)

避免铁素体的形成^[5]。根据 Schaeffler 图及对应 Cr、Ni 当量公式调整化学成分。当 Cr 当量/Ni 当量(即 Creq/Nieq)的比值越小,铁素体形成越少。

2.2 试验过程和结果

按照工艺改进方案重新冶炼一炉钢并锻造成形,冶炼和锻造工艺参数不变、生产规格不变,只是对 Cr、Ni 当量计算公式涉及的化学成分进行调整,主要对奥氏体形成元素 C、Mn、Ni 按标准上限控制,铁素体形成元素 Cr、Mo、Si、Nb 按标准下限进行控制^[6]。具体成分见表 1。

成分调整前后通过 Cr 当量/Ni 当量的比值计算由 3.68 减少为 2.46。调整后的材料取试片进行酸浸检测未发现轴心晶间裂,同时对中心部位做高倍检测铁素体含量为 0.5%。成分调整前后结果见表 2。

3 结论

(1)通过对轴心晶间裂试样分析,AISI 410SS 钢

产生轴心晶间裂纹的原因是钢液凝固过程中心部位冷却慢,导致铁素体偏析和夹杂物聚集。试样在酸浸过程中铁素体和夹杂物优先剥落导致形成腐蚀凹坑,宏观观察为网状裂纹。

(2) AISI 410SS 钢通过对成分进行调整,提高奥氏体形成元素 C、Ni、Mn 和降低铁素体形成元素 Cr、Si、Mo、Nb,能够减少铁素体的形成,并消除轴心晶间裂纹。由调整前的 0.5 级降为调整后的 0 级。

参考文献

[1] 袁辛芳,孙时秋. GB/T1979—2001 结构钢低倍组织缺陷评级图介绍[J]. 冶金标准化与质量,2002,40(06):8-13.

[2] 程里,程方. 齿轮轴轴心晶间裂纹的产生与预防[J]. 锻压技术,2005,30(05):11-12.

[3] 牛丙申,郭广林,杨立云. 大型铸钢轧辊轴心晶间裂纹形成的原因及防止措施[J]. 铸造技术,2007,28(11):1533-1535.

[4] 刘子平. 提高连铸 AISI 410SS 钢铸坯低倍质量工艺技术研究[D]. 大连:大连理工大学,2016.

[5] 于海成,韩非,王春英. 浅谈叶片钢中 δ-铁素体含量的控制[J]. 特钢技术,2013,19(4):13-16.

[6] 齐健. AISI 410SS 钢 δ-铁素体含量的控制[J]. 特钢技术,2012,18(1):45-47.

张军(1983-),男,工程师,2006年太原理工大学(本科)毕业,不锈钢产品研究和开发。
Email:zhangjun@citicsteel.com

收稿日期:2020-04-05

欢迎订阅《特殊钢》杂志

全国各地邮局均可订阅(可破订)

邮发代号:38-183

定价:16.00 元/期 96.00 元/年

邮编:435001

地址:湖北省黄石市黄石大道316号、新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社

电话:0714-6297386 6297313 0714-6297888-8010