

员在培训中接触的设备与实际工作环境一致；可以引入虚拟仿真技术辅助教学，借助模拟不同操作失误场景帮助学员直观理解错误操作的影响，提高培训的互动性和实效性。依靠上述措施的协同施行，培训资源可更精准地匹配技术应用需求，为提升培训质量提供坚实保障^[4]。

4.3 提升培训人员能力

针对参训人员知识背景存在差异的情况，要设计出分层递进的理论教学内容，系统地补充免疫学基础原理、胶体金标记技术特性以及分析化学基本概念，以此帮助他们建立起技术认知框架，理解操作步骤背后所蕴含的科学逻辑，防止出现机械执行流程的现象。实操训练要聚焦于标准化操作规范，采用分步演示与反复练习相结合的办法，强化样本前处理过程中的离心速度控制、样本稀释比例调节等关键操作；加样环节着重训练微量液体移取时手法的稳定性；结果判读阶段则结合颜色变化原理解讲判读标准，培养人员对弱阳性、假阳性结果的辨识能力。要依靠明确技术应用价值来激发学习动机，强调胶体金快检在食品安全风险防控方面的实际作用，引导人员从被动接受培训转变为主动探索技术要点；同时建立学习反馈机制，鼓励人员在训练中提出操作疑问，借助师生互动深化理解。知识转化能力的提升依赖于场景化训练，模拟不同基质样本、不同检测项目的操作场景，指导人员依据样本特性调整前处理方法，根据检测目标优化反应条件，培养其灵活适配实际检测需求的能力，保证培训内容可有效地迁移至工作实践。凭借系统实施上述措施，人员可逐步构建起完整的技术应用能力体系，为胶体金快检技术的规范应用提供人力保障。

4.4 完善培训管理体系

首先要构建标准化培训框架，依靠制定统一的培训大纲以及考核规范，清晰地明确理论教学和实操训练的核心模块以及学时分配情况。以此保证不同地区、机构的培训内容可覆盖技术原理、操作流程、质量控制等关键要素，防止因为培训内容存在差异而致使操作人员技术水平出现参差不齐的状况。在培训实施过程当中，要规范师资资质认证以及培训组织流程，明确讲师需要有的专业背景与实践经验，设定实操训练的最低时长以及耗材用量标准，借助流程标准化来保障培训质量的稳定性。其次，培训效果评估要突破传统单一考核模式，构建多维度评估体系。理论考核应当侧重于对技术原理与关键控制点的理解程度，而不是机械记忆；

实操考核需要模拟实际检测场景，设置样本前处理、加样操作、结果判读等完整流程，评估操作人员在规范操作以及问题应对方面的综合能力。评估周期要延伸至培训结束后的实际工作阶段，借助跟踪学员独立开展检测的质量数据，分析操作规范性与结果一致性，将短期考核与长期表现相结合，全面反映培训成效。评估结果要及时反馈至培训设计环节，用于优化课程内容与教学方法。要建立长效跟踪指导机制，需要建立学员技术档案，记录培训过程、考核结果以及后续工作表现，为个性化指导提供依据；定期组织复训与技术交流，针对实际应用中出现的共性问题开展专题培训，帮助学员更新知识与技能；搭建线上技术支持平台，由专业团队提供实时答疑服务，解决学员在独立操作中遇到的技术难题，避免因问题积累影响技术应用效果。依靠持续互动与支持，保证培训内容可有效转化为实际操作能力。最后，要强化培训质量控制要求，在培训目标设定中明确质量意识培养的关键性，将检测记录规范性、结果溯源要求、异常结果处理流程等内容纳入必修模块；考核环节要增设质量控制专项评估，检验学员对检测数据可靠性的把控能力，比如记录完整性、结果复核及时性等。培训管理部门要定期开展培训质量巡查，检查培训机构是否严格落实质量控制教学要求，保证学员在培训阶段即养成规范操作与质量优先的工作习惯。

5 结语

食品安全胶体金快检技术培训痛点具有多维度特征，需通过系统性对策协同解决。优化培训技术可强化原理与实操融合，强化资源建设能夯实教学基础，提升人员能力是核心目标，完善管理体系为长效保障。上述对策的实施有助于提升培训质量，增强检测人员技术应用能力，推动胶体金快检技术在基层规范落地，为食品安全风险早发现、早防控提供技术支撑，助力构建多层次、高效率的食品安全检测网络。

参考文献

- [1] 傅骏青,程玲云,杨振东,等. 玉米粉(渣)中伏马菌素胶体金快检产品评价与应用[J].食品工业,2023,44(10):292-296.
- [2] 叶雅真,骆和东. 商品化腐霉利胶体金快速检测试剂盒的质量评价[J].福建分析测试,2022,31(03):58-62.
- [3] 叶雅真,骆和东. 商品化甲氧苄啶胶体金快检试剂盒检测效果评价与分析[J].食品安全导刊,2022,(07):96-98.
- [4] 叶雅真,骆和东. 克百威快检试剂盒质量评价样品的分析[J].食品安全导刊,2022,(05):92-94.

Analysis and quality improvement of non-layered flaw detection for medium thick pipeline steel plates

Kong Ya

SD Steel Rizhao Co.,Ltd.,Rizhao, Shandong, 276805, China

Abstract

Pipeline steel has high requirements for non-destructive testing. In the case of high-sensitivity testing, it is easy for point like defects to occur at 1/4 of the steel plate thickness. It is believed that this defect morphology is caused by Ca-AL-O inclusions with large differences in acoustic impedance of the steel substrate. By optimizing the Ca treatment process during smelting, the significant reduction and spheroidization of Ca-AL-O inclusions have been effectively achieved, which improves product safety.

Keywords

acoustic impedance; Ca-AL-O inclusions; Ca treatment process; spheroidizing

中厚管线钢板非分层探伤不合分析及质量提升

孔雅

山东钢铁集团日照有限公司, 中国 · 山东 日照 276805

摘 要

管线钢探伤要求较高, 高灵敏度探伤情况下, 容易在钢板厚度1/4处出现点状探伤不合, 认为此缺陷形态是由于钢基体声阻抗差别较大的Ca-AL-O系夹杂物引起的, 通过优化冶炼过程中的Ca处理工艺有效实现了Ca-AL-O系夹杂物的大幅减少及球化, 使得产品安全性得到提升。

关键词

声阻抗; Ca-AL-O系夹杂物; Ca处理工艺; 球化

1 引言

管线钢是只指用于制造输送石油、天然气等管道所用的一类具有特殊要求的钢种, 近年来, 由于油气田开发的重点正在向边远地区转移, 管线钢也多在高寒、地质地貌复杂的地区服役, 对产品的安全性能要求更为严格。随着国内外各大管线重点工程对钢管焊缝区域探伤验收标准不断加严, 如国家管网、中石油、中石化等客户在钢管施工环焊过程采用的探伤设备越来越先进, 目前主流采用 TOFD+ 相控阵超灵敏探伤手段, 对焊缝区域验收标准大幅提高, 倒逼管厂对钢板的探伤验收标准异常严格, 对钢板纵向两边及横向两端内部质量要求大幅提升, 主要体现为钢板此区域在采用高灵敏度 $\phi 6\text{mm}+10\text{dB}$ 探伤时下不允许存在超过其当量的缺陷波幅, 此标准较为严格, 钢板在探伤扫查过程中很容易出现超标信号, 通过信号显示, 缺陷多为钢板厚度 1/4 处的非分层缺陷, 从而产生质量改判, 增加生产成本。

2 探伤不合分析

2.1 探伤波形显示情况

钢板采用双晶直探头探伤, 相关设备参数及验收标准如表 1 所示:

表 1 设备参数及验收标准

设备型号	探头型号	校验标准	判定灵敏度	验收标准
友联 PXUT-330N	5P 20FG 10Z	ISO 10893-9	$\phi 6\text{mm}+10\text{dB}$	单点超当量不合格

14.3mm 厚 X70M 钢板探伤扫查过程出现多处超标波幅信号, 起波位置位于距离钢板上表面 3.5mm 深度处 (约为钢板厚度 1/4 处), 为点状缺陷引起的不连续信号^[1], 示波屏显示如下图 1 所示:



图 1 缺陷显示

【作者简介】孔雅 (1986–), 女, 硕士, 工程师, 从事中厚板工艺及产品研发研究。

2.2 缺陷微观分析

探伤不合位置通过微观形态分析,确定引起探伤不合的主要原因为长条状缺陷,通过其

形貌观察确定其为夹杂物,长度约为 576 μm ,夹杂物的形态很大程度上取决于钢材压缩变形程度,因此,只有在,箱似程度变形的试样坯制备的截面上才可能进行测量结果的比较。用于测量夹杂物含量试样的抛光面面积约为

200mm $\times$ 20 mm $\times$ 10 m),并平行于钢材纵轴,位于钢材外表面到中心的中间位置。

此夹杂物长度方向上为大多数没有变形,带角的,形态比小(一般 <3),黑色或带蓝色的颗粒,沿轧制方向排成一行,对探伤不合位置经 EDS 光谱分析,夹杂物内部含有较多的 O、Al、Ca 元素,为 B 类夹杂,根据 ASTM E45 标准判定为 2.5 级。

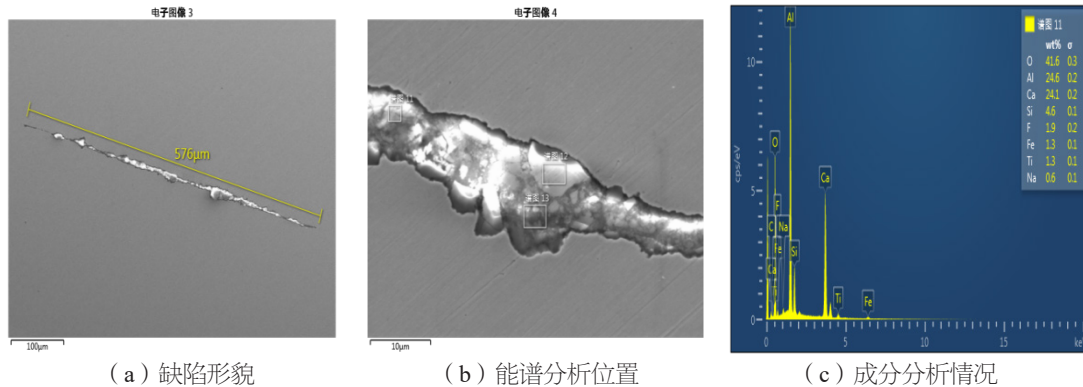


图 2 缺陷 EDS 检测情况

超声检测主要是基于超声波在工件中的传播特性,如声波在通过材料时能量会损失,在遇到声阻抗不同的两种介质分界面时会发生反射等。声源产生的脉冲波进入到工件中 --- 超声波在工作中以一定方向和速度向前传播 -- 遇到两侧声阻抗有差异的界面时部分声波被反射:检测设备接收和显示 -- 分析声波幅度和位置等信息^[2],评估缺陷是否存在或存在缺陷的大小、位置等。两侧声阻抗有差异的界面可能是材料中某种缺陷(不连续),如裂纹、气孔、夹等,也可能是工件的外表面。声波反射的程度取决于界面两侧声阻抗差异的大小、入射角以及界面的面积等。通过测量入射声波和接收声波之间声传播的时间,可以得知反射点距入射点的距离。

当入射波达到钢基体和夹杂物界面时,理想状态下界面上声压反射率如下所示:

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (2-1)$$

Z_2 : Ca-AL-O 系夹杂物声阻抗

Z_1 : 钢基体声阻抗

可以看出,当声阻抗差别比较大的时,声压反射率越高,反射信号越高,示波屏上反射信号越高,声阻抗公式如 2-2 所示:

$$Z = \rho \sqrt{\frac{E}{1+\sigma}} \quad (2-2)$$

ρ : 介质密度

E : 介质杨氏弹性模量

σ : 介质泊松比,所有固体的泊松比均在 0-0.5 之间。

Ca-AL-O 系夹杂物属于硬质夹杂物,其密度和弹性模量较钢基体而言差别较大,由公式(2-2)可知,硬质夹杂和钢基体声阻抗差别较大,再由公式(1-1)所示可得,当超声波入射到钢基体和 Ca-AL-O 系夹杂物分界面时,声压反射率较大,示波屏上反射信号较高。值得一提的是,钢板卷管后,特别焊缝区域在高温重熔及快速冷却焊缝区域伴随着内应力的产生,在硬质夹杂物缺陷位置容易形成缝隙或裂纹^[3]。

2.3 夹杂物产生过程

在冶炼和浇注过程中产生或混入与基体无任何联系、独立存在的氧化物、硫化物、氮化物等,经加工或热处理后仍不能消除的非金属相统称为非金属夹杂物,简称为夹杂物。Fe、Mn、Cr、Al、Ti 等虽然属于金属元素,但它们与 O、S、N 等形成化合物后失去金属的性质,因此这些非金属夹杂物的存在破坏了基体连续性,严重地降低钢的力学性能。若钢中的非金属夹杂物呈网状分布时,则显著降低钢的性及冲击韧性;若非金属夹杂物经轧制变形伸长,会引起钢的性能出现明显的各向异性。另外,非金属夹杂物在钢中起着缺口和应力集中的作用,往往是裂纹的优先形成位置。

钢中的夹杂物主要来源是:钢液凝固过程中,O、S、N 与钢液之间的平衡随着温度降低而移动,导致 O、S、N 的各种化合物的平衡常数相应增大,因此形成各种非金属化合物。除个别情况下利用弥散分布的非金属化合物作为形核质点(如 AlN),或者钉扎质点(如 Nb、V、Ti 的碳、氮化物)以阻止晶粒长大之外,钢中非金属夹杂物通常被认为是有害的,需要通过各种措施使其含量尽可能降低。但不管炼钢技术怎样改进,钢中总还会有一定量非金属夹杂物。现代工程

技术的发展对钢材质量的要求日益严格,有时即使钢中杂质元素的含量已经很低,但所形成的夹杂物仍然影响钢的性能。虽然可以采用提高钢的洁净度的办法来尽量降低形成夹杂物的氧、硫等非金属元素含量,但由于工艺上的困难和经济上不可取,不能无限制地降低非金属杂质含量,所以需要了解夹杂物的变化及其与钢性能的关系,从而科学地控制钢中夹杂物的类型、含量、分布、形态等,达到提高钢材质量的目的。

铝脱氧的钢中存在的氧化铝夹杂物多数熔点很高,在连铸温度下呈固态,很容易在中间包水口处聚积引起堵塞。而残留在钢中的 A12O₃ 夹杂物与钢的基体相比呈硬脆性,在轧制过程中很容易破碎并且延轧制方向连续分布,从而造成严重的缺陷。向铝脱氧的钢液中喂入硅钙线,就能够改变铝氧化物夹杂的形态。钙是强脱氧剂,且沸点低,进入钢液后很快成为蒸汽,在上浮过程中与钢中氧作用生成钙的氧化物。根据钢液中 Ca 含量的多少,生成 CaO·3A12O₃(熔点 1850℃)、CaO·2A12O₃(熔点 1750℃)、CaO·A12O₃(熔点 1600℃) 熔点 1600℃ 和 12CaO·7A12O₃(熔点 1415℃)。CaO 和 A12O₃ 生成中间相较多,应控制钢中钙含量,避免生成中间相 CA₆、CA₂、CA,而生成液相 12CaO·7A12O₃,有利于夹杂物上浮,12CaO·7A12O₃ 熔点很低(1415℃),而且密度小,在钢液中集聚上浮排入炉渣,就可以使大量的这类脱氧产物在进入中间包之前从钢液中上浮去除,不仅可以减轻中间包水口堵塞问题,保证连铸顺利进行,改善钢液的浇铸性能,并且可以增加钢的清洁度、改善钢水质量。

探伤不合位置夹杂物为 Ca-Al-O 系夹杂物,冶炼过程中的 Ca 处理工艺尤其关键,RH 破空后实行合适的精准钙处理工艺,Ca 处理的主要目的是生成生成液相 12CaO·7A12O₃,有利于夹杂物上浮和球化。如果 Ca 处理不充分,容易产生高熔点的 CaO·3A1₂O₃、CaO·2A1₂O₃ 等,此类夹杂物不容易去除且高温下容易聚集长大,对产品质量不利;反之,如果过分 Ca 处理,蒸汽上浮过程中形成的过量 CaO 可能会与炉衬发生化学反应产生 Ca-Mg 系夹杂物,此类夹杂物熔点高且容易长大,对产品质量不利。因此合理的 Ca 处理工艺可有效减少 Ca-Al-O 系夹杂物的产生,提升产品内部质量^[4]。

3 改进措施

对比不同厂家供钙线质量,通过实践对比固定供货厂家并形成稳定的检验机制,提升钙线产品质量,钙线软硬适中,提升喂线效果。

精准控制喂钙线时机,RH 破空后后调节底吹流量至软吹流量(渣面微动不裸露),将钢包车开至喂线位,使用喂丝机喂入纯钙线,确保钙线喂入钢水,不能盘在渣面。

优化 Ca 处理工艺,在确保钙线喂入钢水前提下,喂线

速度控制在 100-140m/min,目标速度按照 120m/min 控制,喂线效果以铸机中包试样检验的钙含量符合 10-30ppm 控制,根据实际钙的收得率情况可适当调整钙线量。

4 实施后效果

措施实施后,效果显著,钢水纯净度水平得到明显提升,且钢中的夹杂物形态及分布发生了明显变化,通过微观分析可以看出,钢板中 Ca-Al-O 系夹杂物尺寸和形态发生了明显变化,如图 3 所示:夹杂物发生了明显的球化,且尺寸较小,均不超过 30um。

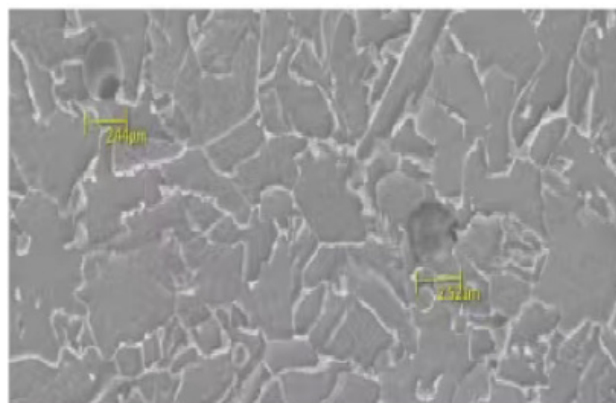


图 3 优化 Ca 处理后钢板中 Ca-Al-O 系夹杂物形态

根据本文 2.1 所示探伤验收标准进行钢板验收,探伤合格率由原来的 92% 提升至 99.5%,

在减少质量改判的同时,提升了客户满意度水平。

5 结语

长条状 Ca-AL-O 系夹杂物属于硬质夹杂物,其声阻抗和钢基体声阻抗差别较大,探伤时容易产生较高的缺陷波幅,且在钢板卷管及焊接过程中在此缺陷处容易引起应力集中导致裂纹产生,钢种应尽量避免。

真空结束后调节底吹流量至软吹流量(渣面微动不裸露),破空后喂入纯钙线,喂线速度 100-140m/min,铸机钙含量按照 10-30ppm 控制,有助于 Ca-AL-O 系夹杂物去除及有效球化,提升产品质量。

通过措施的有效实施,Ca-AL-O 系夹杂物发生了明显的球化,且尺寸较小,均不超过 30um,探伤合格率也由原来的 92% 提升至 99.5%。

参考文献

- [1] 李强等. 管线钢钙处理工艺优化[J]. 炼钢, 2019 (05)
- [2] 郑辉等. 超声检测[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2008: 32-34.
- [3] 孔祥磊, 刘干, 王杨, 等. 基于中薄板坯 X90 管线钢卷板的研发[J]. 轧钢, 2024, 41(06): 30-36+53.
- [4] 杨子江, 李国鹏, 张光磊, 等. X70 级管线钢板型控制技术应用实践[J]. 宽厚板, 2022, 28(06): 23-25+37.