

低合金高强钢 HC500LA 性能波动分析

张秀飞, 张奇, 路璐, 宋冉臣

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 针对稀土钢板材厂小批量试制的 HC500LA 钢强度波动大、合格率低的现象, 进行了原因分析, 确定了组织异常和两条连退线的炉区长度差异是造成强度波动的主要原因。通过优化成分, 减少了再结晶不完全造成的显微组织异常和强度波动。对两条连退产线进行了差异化的退火温度和钢带速度设计, 钢带的强度波动现象明显改善, 性能合格率从 87.8% 提高到 98.2%。

关键词: HC500LA; 组织异常; 性能波动

中图分类号: TG142.33

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2023)05-0042-04

Analysis on Performance Fluctuation of Low Alloy High Strength Steel HC500LA

Zhang Xiu-fei, Zhang Qi, Lu Lu, Song Ran-chen

(Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: The main causes for strength fluctuation are determined to be abnormal microstructure and length differences of furnace area in the two continuous annealing production lines by analyzing the causes aiming at the problems of great strength fluctuation and low qualified rate for HC500LA steel with small batch trial production of Rare Earth Steel Plate Plant. The abnormal microstructure and strength fluctuation caused by incomplete recrystallization are reduced by optimizing the compositions. The design of differentiated annealing temperature and speed of steel strip for the two continuous annealing production lines is carried out so that the strength fluctuation of steel strip is significantly improved and qualification rate of performances is increased from 87.8% to 98.2%.

Key words: HC500LA; abnormal microstructure; performance fluctuation

冷轧低合金高强钢 HC260LA ~ HC550LA 主要应用在汽车行业, 随着汽车轻量化发展, 高强钢的开发日益受到重视, 其产量逐年攀升。该品种系列添加少量的铌、钒、钛等合金, 综合应用固溶、析出、细晶等多种复合强化手段, 实现了高强度^[1]。随着合金元素的增加和强度的升高, 产品强度波动范围增大, 屈服强度 420 MPa 级别以上产品波动更为明显。该系列

产品性能要求严格, 屈服强度和抗拉强度均有范围要求, 严格的指标要求和性能波动产生矛盾, 容易发生产品性能不合格现象, 影响交货和用户使用。针对该现象, 技术人员分析了影响 HC500LA 产品(简称 HC500LA)性能波动的主要因素, 制定了相应改进措施, 并开展试验验证, 提高了产品性能稳定性和合格率, 同时降低合金成本, 提高产品综合盈利能力。

1 技术要求

包钢供货的 HC500LA 执行企标 Q/BG 822 的

技术指标要求,标准规定产品可添加的化学元素有碳、硅、锰、铌、钒、钛等元素,具体见表 1,力学性能要求见表 2。

表 1 HC500LA 化学成分要求(质量分数)

C	Si	Mn	P	S	Al _i	Ti + Nb + V
≤0.10	≤0.60	≤1.80	≤0.025	≤0.025	≥0.015	≤0.22

表 2 HC500LA 力学性能

牌号	屈服强度 $R_{p0.2}/\text{MPa}$	抗拉强度 R_m/MPa	断后延伸率 $A_{80}/\%$
HC500LA	500 ~ 620	550 ~ 710	≥13

2 存在问题

随着低合金高强度钢 HC500LA 的订单量逐渐增

长,生产规格的扩展,屈服强度与抗拉强度波动大、稳定性差等问题也逐渐显现,供货初期一次检验性能合格率为 87.8%,影响交货期和用户满意度。不合格现象主要表现为屈服强度存在超出上限或下限现象,分布见图 1。为形成该产品的稳定供货能力,技术人员需分析导致强度波动大的原因,开展质量攻关。

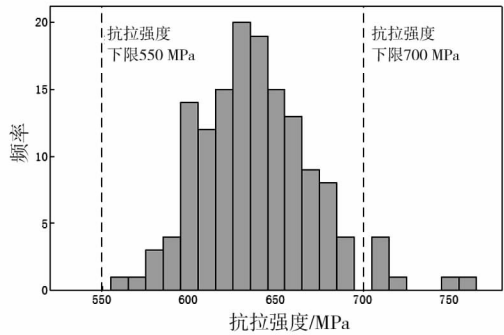
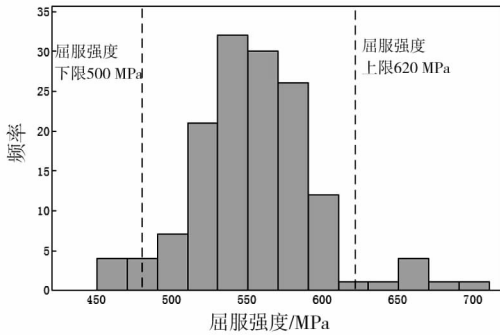


图 1 HC500LA 试制前期强度分布

3 原因分析

冷轧低合金高强度钢 HC500LA 在包钢稀土钢板材厂生产,主要工艺流程包括炼钢、连铸、热轧、酸轧、连退等。就小批量试制期间 HC500LA 强度波动大的问题进行了分析,主要发现下列问题。

3.1 1#连退线、2#连退线炉区长度存在差异

相同退火工艺下,采用厚度 1.5 mm 同成分 HC500LA 冷硬卷在连退 1#线和连退 2#线开展试制,力学性能见表 3。2#线生产 HC500LA 的屈服强度比 1#线高约 40 MPa。经过酸轧冷变形后的冷硬钢带主要采用再结晶退火,通过再结晶退火可以消除钢带冷变形后的加工硬化,发生了回复、再结晶、晶粒长大三个过程。在不同的温度退火后,强度和硬度会降低,内部组织中位错密度和空位浓度会降低,

在冷变形时被拉长的晶粒重新长为等轴状^[2]。经分析,强度有差异的主要原因是两条连退线的长度不同,1#线长度为 2 406 m,产品设计以宽幅、软钢为主,2#线长度为 2 075 m,产品设计以窄幅、高强度钢为主,产品在炉内的温度曲线见图 2。HC500LA 属于高强度钢,订单规格包含不同宽度,因组产需要,在两条连退线均有生产,如采用相同的退火工艺,因钢带在连退 1#线的加热时间高于连退 2#线,晶粒相对长大,细晶强化效果弱化,会导致连退 1#线生产的 HC500LA 的强度低于连退 2#线。为消除同一产品在两条产线的强度差异,在保证正常生产节奏的前提下,两条连退线的退火工艺进行差异化设计,即在连退 1#线设定较低的退火温度,补偿因炉区长导致的加热时间长、晶粒长大、细晶强化效果弱化的问题。

表 3 1.5 mm HC500LA 连退工艺及力学性能

连退产线	退火温度 / $^{\circ}\text{C}$	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率 /%
2#线	791	593	675	13
	791	588	672	14
1#线	797	537	624	16.5
	799	557	649	16.5

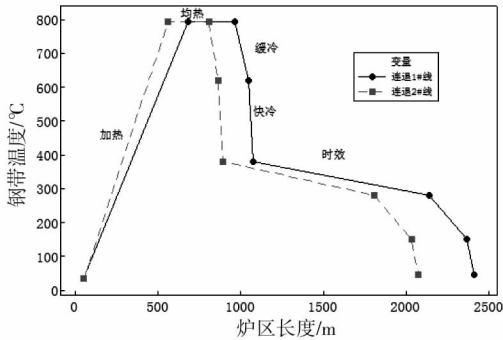
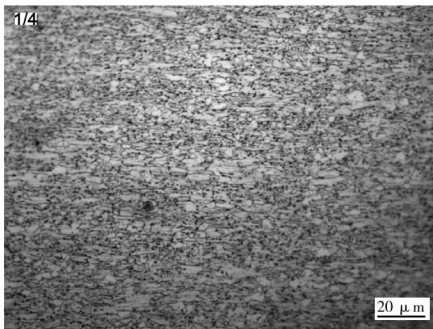
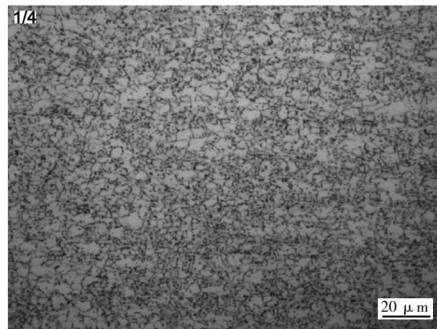


图 2 两条连退线长度差异



(a) 屈服强度645 MPa



(b) 屈服强度560 MPa

图 3 HC500LA 组织形貌

3.2 退火组织均匀性需改善

晶粒的尺寸和均匀性是影响强度的重要因素,对于低合金高强钢,期望得到细小的等轴状晶粒,有利于钢带的强度及塑性稳定。观察 HC500LA 的显微组织(图 3),发现屈服强度异常(645 MPa)高的钢卷存在部分片层状或长条状的晶粒,晶粒形貌异常。屈服强度正常(560 MPa)的钢卷晶粒呈等轴状。低合金高强钢系列产品中,屈服强度不大于 380 MPa 低级别产品未发现明显的强度波动和组织异常。随着低合金高强钢强度级别的升高,碳含量没有明显变化,主要强化元素锰、铌、钛等元素的含量增加。鉴于钛的碳化物 TiC 属于晶内析出物,理论上对晶粒的长大影响不大,初步分析可能是锰、铌元素含量高导致了冷硬组织再结晶相对困难^[3],出现长条状的异常组织。为改善异常组织,计划对成分进行优化调整,即降低锰、铌元素的含量,提高钛元素的含量补偿强度损失。

3.3 屈强比需微调

标准规定 HC500LA 的屈服强度为 500 ~ 620 MPa,中值为 560 MPa,抗拉强度为 550 ~ 700 MPa,中值为 625 MPa,最佳的屈强比应该为 0.90。经统计,小批量试制期间 HC500LA 的屈强比为 0.86,屈强比偏低现象会导致在屈服强度合格的情况下,抗拉强度可能超出上限,减少了强度可控范围,容易导致性能不合格。因此需要微调 HC500LA 屈强比,提高至接近 0.90。根据开发前期钢种开发的经验,通过细化晶粒和 TiC 析出强化可提高屈强比,添加碳、锰元素会降低屈强比。提高 HC500LA 屈强比,可选择降低锰元素的含量,提高钛元素的含量。

4 主要改进措施及效果

根据 HC500LA 强度波动原因的分析结果,主要优化了成分,并制定了两条连退线的差异化退火工艺,具体如下。

(1)成分优化。优化 HC500LA 成分的主要目的,一是降低对冷硬组织再结晶不利元素的含量,避免出现片层状或条带状组织,改善成品组织的均匀性;二是在现有产品性能的基础上提高产品屈强比。在原设计成分的基础上,经过多次试验,进行了如下调整:锰含量降低 0.30 个百分点,铌含量降低 0.03 个百分点,钛含量增加 0.04 个百分点。优化成分的同时降低合金成本超过 100 元/t。

(2) 两条连退线差异化退火工艺。因两条连退线炉区长度不同,相同退火温度下,连退 1[#]线生产的 HC500LA 强度明显低于连退 2[#]线。市场订单规格范围宽窄不一,在一条线集中排产会产生大量的过渡材,增加生产成本。为使两条连退线生产的 HC500LA 性能趋于一致,减少强度波动引起的性能

不合格现象,制定了差异化的退火工艺。经过调试,不同厚度规格 HC500LA 钢带在连退 1[#]线和连退 2[#]线的退火温度、速度见图 4,连退 1[#]线退火温度比连退 2[#]线低 15 ~ 20 °C,钢带速度的制定依据两条产线的正常节奏,退线 1[#]线的钢带运行速度高约 15 m/min。

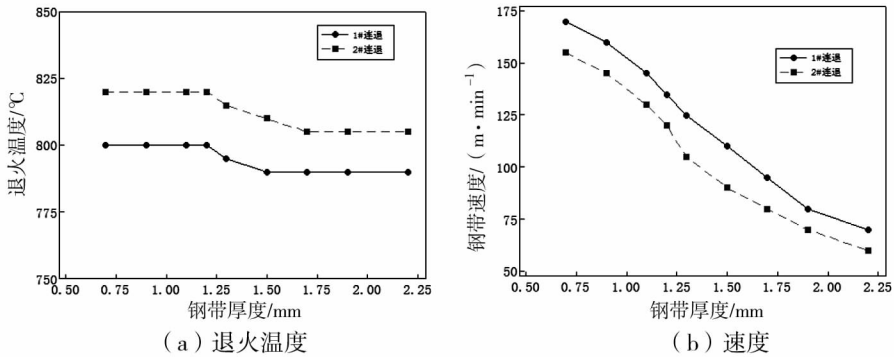


图 4 HC500LA 在两条连退线的退火工艺

通过应用上述措施,HC500LA 显微组织得到改善,未发现再结晶状态不好的片层状或长条状的晶粒。两条连退线生产的 HC500LA 强度趋于一致,屈

强比从 0.86 提高到 0.89,接近标准指标要求的最佳屈强比,性能合格率从 87.8% 提高到 98.2%。工艺优化后批量生产的 HC500LA 性能分布见图 5。

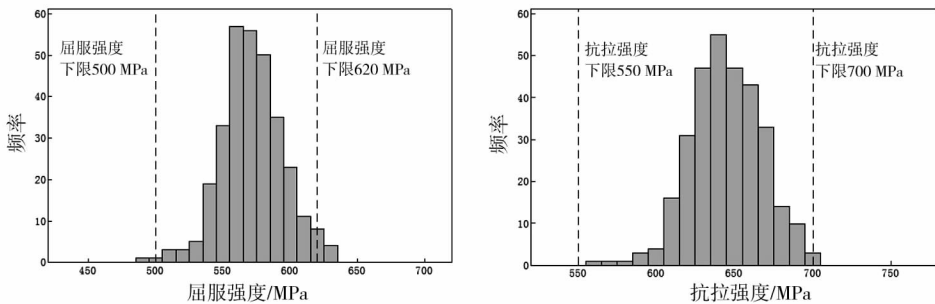


图 5 工艺优化后批量生产的 HC500LA 性能分布

5 结束语

经分析,低合金高强度钢 HC500LA 试制初期存在强度波动较大现象,与不同连退线的炉区长度差异、退火组织均匀性不好、屈强比控制不佳等因素有关。为提高强度的稳定性,可根据两条连退线炉区长度不同,制定差异化的退火工艺。合金含量对强度稳定性也有一定的影响,降低锰和铌含量,增加钛含量,可改善退火组织及性能的稳定性。

参 考 文 献

- [1] 刘清梅,封矫洁. 汽车轻量化条件下先进高强度钢的发展及现状[J]. 轧钢,2020,37(4):65-70.
- [2] 付威际,古兵平,单凯军,等. 退火温度对 CSP 基板冷轧冲压板再结晶温度和组织的影响[J]. 热加工工艺,2008,37(8):42-43.
- [3] Kan K B, Kwon O, Lee W B, et al. Effect of Precipitation on the Recrystallization Behavior of a Nb Containing Steel[J]. Scripta Materialia, 1997,36(11):1303-1308.