

汽车用冷轧低合金高强钢HC340LA的开发生产

尹翠兰

(山东钢铁集团有限公司 钢铁研究院, 山东 济南 250101)

摘要:从炼钢、热轧、冷轧、罩式退火、精整等生产工序进行控制与优化,分析了工艺参数对HC340LA钢力学性能和金相组织的影响,成功研发了罩式退火工艺下的汽车用冷轧低合金高强钢HC340LA,并实现了订单生产,产品各项力学性能指标均达到标准要求且有较大富余量。

关键词:低合金高强钢;HC340LA钢;冷轧;罩式退火;力学性能;金相组织

中图分类号: TG142.33

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2016)05-0001-02

1 前言

汽车用低合金高强度钢是以低C-Mn系或Si-Mn系为基础,通过添加微合金元素并结合先进的生产工艺,使其具有较高的强度和塑性,满足汽车制造对强度、塑性和韧性以及其他方面的要求^[1]。冷轧低合金高强度钢HC340LA,作为Nb-Ti微合金化高强度冲压用冷轧薄板,主要是在低碳钢中,除Si、Mn固溶强化外,通过单一或复合添加Nb、Ti、V等微合金元素,使其与C、N等元素形成碳化物、氮化物粒子并在铁素体基体上析出强化,同时通过微合金元素的细化晶粒作用,从而获得较高的强度。由于HC340LA钢具有良好的焊接性能和足够的强度及冲压性能,广泛应用于汽车的A柱上部加强件、内侧B柱、车门槛加长件、左右纵梁外板和底盘座椅部件等领域,发展前景广阔。为此,山钢钢铁研究院通过分析HC340LA钢的技术要求,采用传统的冶炼连铸、热连轧、酸洗、可逆冷轧、罩式退火、平整等生产工序,优化合金体系设计与生产过程控制,成功开发了汽车用冷轧低合金高强钢HC340LA。

2 技术要求与工艺流程

汽车用冷轧低合金高强钢HC340LA参考DIN EN 10268:2006标准的“冷成形用的高屈服强度的冷轧平板钢”,其熔炼分析的化学成分和交货状态下的力学性能应符合表1、表2规定。

表1 HC340LA钢化学成分(质量分数)要求 %

C	Si	Mn	P	S	Al _T	Ti	Nb
≤0.1	≤0.5	≤1.1	≤0.025	≤0.025	≥0.015	≤0.15	≤0.09

HC340LA钢开发生产工艺流程:铁水预处理→转炉冶炼→LF精炼→板坯连铸→热连轧(粗轧+热

收稿日期:2016-05-16

作者简介:尹翠兰,女,1985年生,2007年毕业于江西理工大学金属材料工程专业。现为山东钢铁集团有限公司钢铁研究院工程师,从事冷轧汽车用钢的技术研发工作。

表2 HC340LA钢力学性能要求

$R_{p0.2}$ /MPa	R_m /MPa	A_{50} /%	试样方向
340~420	410~510	≥21	横向
320~410	400~500	≥22	纵向

卷箱+精轧+层流冷却)→酸洗→单机架可逆冷轧→罩式退火→平整→拉矫→卷取包装→入库。

3 工序控制与分析

3.1 炼钢连铸

1)铁水深度脱硫,要求扒渣干净。2)顶底复吹转炉冶炼,转炉吹炼降C、除P;采用硅铝复合脱氧控制 Al_2O_3 夹杂物的形成量;采用含铝粉的改质剂对大包渣改质以降低渣的氧化性。3)LF精炼中加入石灰脱硫,喂入钙线对夹杂物进行变性处理,喂入钛线进行合金化处理并对成分微调,静吹10 min利于夹杂物上浮。4)连铸时采取低过热度浇注(过热度控制在+15~30℃)和全程保护浇注(碱性覆盖剂和包晶钢保护渣),稳定浇铸阶段拉速控制在1.1~1.3 m/min。5)铸坯尺寸:175 mm×1 270 mm×11 800 mm。6)铸坯质量:连铸坯低倍中心偏析C类0.5级,内部质量良好,满足质量要求。7)成分控制:最终成分控制良好,基本元素和Nb、Ti合金元素含量均在设计范围内。

3.2 热连轧

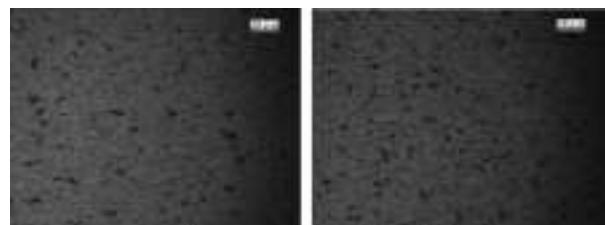
1)力学性能:HC340LA热轧卷的力学性能如表3所示,可以看出,热轧卷取温度低的钢卷,其屈服强度和抗拉强度高、伸长率低、屈强比低。

表3 两支HC340LA热轧卷的力学性能

热轧号	热轧后规格/mm	卷取温度/℃	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	A_{50} /%	屈强比
1500945501	4.00×1 260	640	471	498	34	0.95
1500945602	3.75×1 260	620	495	540	32	0.92

2)金相组织:HC340LA热轧卷的金相组织如图1所示。相组成为铁素体+珠光体(少量),晶粒度10~11.5级,未见明显夹杂物。在铁素体晶内和晶

界有一定数量的碳化物析出,主要强化机理为细晶强化和析出强化。由金相图可看出,强度较高的钢组织中珠光体与析出碳化物含量相对较多。



a 1500945501 b 1500945602

图1 两支HC340LA热轧卷的金相组织

3)外观质量:热轧后钢卷边部未见裂纹、麻坑等缺陷,整个钢卷表面也未见氧化铁皮压入、辊印、划痕等缺陷;板型质量与卷曲质量较好,未出现浪形与错层等缺陷。

3.3 酸洗与冷轧

1)力学性能:酸洗后HC340LA冷硬卷性能指标见表4。由表4可看出,冷轧总压下率大的钢卷,其屈服强度和抗拉强度高、伸长率低。

表4 两支HC340LA冷硬卷的力学性能

冷轧号	冷轧后规格/mm	总压下率/%	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	$A_{50}/\%$	屈服比
T150817901	1.8×1 250	55.0	667	688	2.8	0.97
T150817802	1.0×1 250	73.3	850	871	1.1	0.98

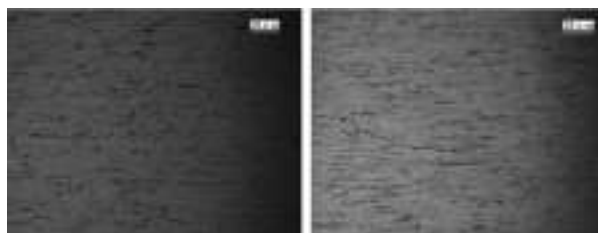
2)金相组织:酸洗后HC340LA冷硬卷金相组织如图2所示。相组成为铁素体+珠光体(少量),晶粒纤维状组织和部分饼形晶粒,未见明显夹杂物。冷轧总压下率大的钢卷,其纤维状越细长。

表5 两支HC340LA退火卷的力学性能

钢卷号	规格/mm	退火温度/℃	保温时间/h	精整延伸率/%	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	$A_{50}/\%$	屈服比
T150817901	1.8×1 250	680	8.0	0.6	365	440	34	0.83
T150817802	1.0×1 250	680	7.5	0.8	360	465	33	0.77

由表5可看出,罩式退火保温时间短、精整延伸率大,其抗拉强度高、屈服比低,屈服强度与伸长率变化不大。研究表明:屈服强度与位错开动相关,抗拉强度与晶粒大小相关,从数据看与变化规律是一致的,并且伸长率指标比标准高出许多,有利于后续加工的冲压变形。

3)金相组织:罩式退火与精整后HC340LA钢卷金相组织如图3所示,相组成为铁素体+极少量弥散分布的细小珠光体。由于碳含量少($<0.1\%$),最终组织几乎全为铁素体,在铁素体晶内和晶界有少量的碳化物析出。其强化机制主要是微合金元素的细晶强化与析出强化。晶粒呈等轴晶状且晶粒大小较均匀,未见明显夹杂物。由图3可看出,冷轧总压下率大、保温时间短的钢卷,其晶粒相对细小,卷号T150817901的钢卷晶粒度约10~10.5级(图3a),T150817802的晶粒度约11~11.5级(图3b)。



a T150817901 b T150817802

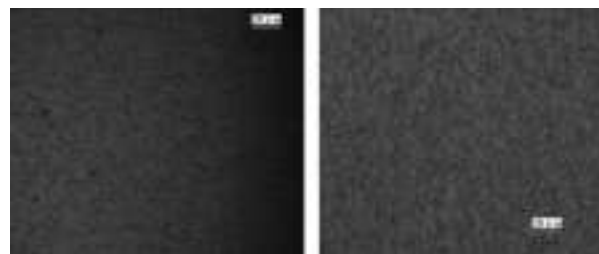
图2 两支HC340LA冷硬卷的金相组织

3)外观质量:酸洗切边和卷取质量良好;冷轧后边部、表面和板形质量良好,冷轧后存在一定的宽展量(+3~7 mm),轧制道次越多宽度量越大。

3.4 罩式退火与精整

1)罩式退火工艺:加热和保温过程完成了变形金属的回复和再结晶,获得无变形的等轴体晶粒,实现冷轧板的强度和硬度降低,塑性和韧性提高;改进退火冷轧和热点温度,适时保温获得完全再结晶的铁素体基体,缓慢加热有利于获得接近平衡态的退火组织和性能;全氢罩式退火炉的还原性气氛,保证了退火过程中基本不脱碳且有利于去除表面油污氧化膜等,获得光亮表面;采用3段式冷却,避免连退快冷导致的较大带钢内应力,有利于改善板形质量。析出和固溶是微合金化元素的两种存在形式,析出物通过晶粒细化和析出强化实现强度的提高,其根本的机理是阻止奥氏体晶粒长大,延迟热变形过程中的再结晶,改变再结晶动力学^[2]。

2)力学性能:罩式退火与精整后HC340LA钢卷的性能指标见表5。



a T150817901 b T150817802

图3 两支HC340LA退火卷的金相组织

4 结 语

采用传统的冶炼连铸、热连轧、酸洗、可逆冷轧、罩式退火、平整等生产工序,通过优化合金体系设计与生产过程控制,分析工艺参数对产品性能的影响,成功开发了汽车用冷轧低合金高强钢HC340LA并实现了订单生产,各项力学性能指标均达到标准要求且有较大富余量。通过(下转第4页)

表1 不同中间坯厚度对应的精轧速度

成品厚度/mm	中间坯厚度/mm	轧制速度/(m·s ⁻¹)
3.50~4.00	28~30	7.0
3.00~3.45	28~30	7.5
2.75~2.95	28~30	8.0
2.50~2.70	26~27	8.5
2.20~2.45	25~26	9.0

会变大。此外,铁在铁素体区的自扩散系数比在奥氏体区中高一个数量级^[3],即同一温度下处于铁素体状态的晶粒的长大要容易的多。因此为促进铁素体晶粒长大,要尽可能使 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变发生在高温区域并给予铁素体在高温区成长的时间。轧后缓慢冷却提高 A_{33} 温度,使相变发生在相对高温区,利于铁素体晶粒长大。

基于以上原理,层流冷却采用后段冷却方式,卷取温度设定为 $(620 \pm 20)^\circ\text{C}$ 。

3 优化效果

通过对生产工艺的优化改进,期间为保障终轧温度对轧制速度进行了微调,SPHC钢种冷轧基板性能明显优化,表2为工艺稳定后1个月内实测的

力学性能。

表2 SPHC钢种冷轧基板工艺改进后实测力学性能

R_m/MPa			$R_{0.2}/\text{MPa}$			$R_{0.2}/R_m$		
最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
321	380	353	231	287	270	0.72	0.8	0.77

从表2可以看出,生产工艺改进后,SPHC钢种冷轧基板屈服强度及屈强比明显下降。金相观察到基板的晶粒度8.5~10.0级,平均9级,达到了预期的效果。SPHC钢种冷轧基板生产实践表明,通过提高其加热温度和终轧温度可以起到粗化晶粒的作用。随着轧后弛豫时间的增加,铁素体形核率降低,铁素体晶粒尺寸逐渐增大。轧后缓慢冷却提高了 A_{33} 温度,使相变发生在相对高温区,有利于铁素体晶粒的长大。但为进一步提升性能,生产工艺仍需进一步改进。

参考文献:

- [1] 张明如,梁皖伦.低碳钢奥氏体未再结晶临界温度 T_m 的实验测量[J].马钢科研,1999(1):19-21.
- [2] 于庆波,孙莹,刘相华,等.热轧后停留时间对带钢屈强比影响的研究[J].钢铁,2006,41(1):66-69.
- [3] 王有铭,李曼云,韦光.钢材的控轧轧制和控制冷却[M].北京:冶金工业出版社,1999.

Production Practice of Optimizing the Mechanical Properties of SPHC Sheet Steel for Cold Rolling

CHEN Yan, WANG Dehou, LI Qing

(Shandong Taishan Iron and Steel Group Co., Ltd., Laiwu 271100, China)

Abstract: For the problem of higher yield strength and higher yield ratio of SPHC sheet steel for cold rolling, analyses showed that the grain fineness of the substrate is higher grade. By optimizing the heating temperature and time in the furnace, controlling final finish rolling temperature, adopting posterior segment cooling after rolling laminar cooling and taking other process optimization measures, the yield strength was reduced from 310 MPa to 270 MPa, the yield ratio was reduced from 0.81 to 0.77, the grain fineness was reduced from 10.5-11.0 to 8.5-10.0, and the properties of steel strip is stable.

Key words: SPHC steel; sheet steel for cold rolling; yield strength; yield ratio; TMCP; relaxation

(上接第2页)了汽车用户的推广应用且得到认可,促进了山东钢铁冷轧产品的结构调整。

参考文献:

- [1] 王娜,崔勇,刘晓峰.冷轧工艺对低合金高强度钢CR340LA力学

性能的影响研究[J].钢铁研究学报,2012(S1):47-51.

- [2] 刘再旺,刘李斌,尉冬,等.340 MPa级HSLA钢汽车板的开发及组织性能研究[C]//第八届(2111)中国钢铁年会论文集,2011.

Development and Application of Cold Rolled Low Alloy High Strength Steel HC340LA for Automobile

YIN Cuilan

(The Iron and Steel Research Institute of Shandong Iron and Steel Group Co., Ltd., Jinan 250101, China)

Abstract: The production processes were controlled and optimized from steelmaking, hot rolling, cold rolling, batch annealing and finishing. The effects of process parameters on mechanical properties and microstructure of HC340LA was analyzed. The cold-rolled high strength low alloy steel used in automobile for HC340LA was developed successfully under the batch annealing processing, and the order production was realized. All mechanical performance indexes were up to the standard requirements and there was a larger surplus capacity.

Key words: low alloy high strength steel; HC340LA steel; cold rolling; batch annealing; mechanical property; microstructure