DOI: 10.3969/j.issn.1000-6826.2023.01.1301

冷轧 HC340LA 钢带全流程质量的研究与分析

Research and Analysis on the Quality of Cold Rolled HC340LA Steel Strip in the Whole Process

供稿|康华伟，尹翠兰 / KANG Huawei, YIN Cuilan

内容导读

随着汽车轻量化的快速发展，冷轧低合金高强钢 HC340LA 在汽车结构与加强件上的应用越来越广泛，对钢种的性能与表面质量要求逐步提高。本文通过对 HC340LA 的炼钢、热轧、冷轧与连续退火等全流程关键工艺参数的标准化控制，研究了不同冷轧压下率对 HC340LA 组织与性能的影响，更好地满足了用户及标准要求，为钢铁厂工业化稳定生产提供了良好的借鉴。

冷轧低合金高强度钢 HC340LA，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获得较高的强度。HC340LA，作为 Nb–Ti 微合金化高强度冲压用冷轧薄板，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[1]。目前市场上低合金结构用钢的典型牌号有碳素结构钢 280VK、HC340LA、HC420LA 等，HC340LA 是低合金高强钢产品中应用最为广泛的品种[2]，在汽车加强与结构件的应用中占有较大的比重。

生产过程控制

工艺流程

HC340LA 钢带的生产工艺流程为：工业铁水→KR 脱硫→转炉冶炼→RH 精炼→连铸→热连轧→酸洗→冷连轧→连续退火→重卷/拉矫→成品检验→包装→入库。

冶炼化学成分

采用的 HC340LA 主要化学成分见表 1。

表 1　HC340LA 钢带的化学成分（质量分数）　%

C	Si	Mn	P	S	Alt	Nb
0.06~0.08	≤0.03	0.6~0.7	0.01~0.02	≤0.02	0.03~0.05	0.02~0.03

作者单位：山东钢铁集团日照有限公司钢铁研究院，山东　日照　276800

热轧工艺

热轧工艺对冷轧板性能的影响很大，加热温度、终轧温度和卷曲温度是最主要的影响因素，较低的卷曲温度对应的组织晶粒更细小，晶粒细化可以在提高强度同时提高韧性[3]。通过热连轧的控轧控冷过程工艺控制，可获得理想的微观组织与力学性能，对冷轧质量控制具有良好的遗传性。本文研究的 HC340LA 钢带的热轧主要工艺参数如表 2 所示。

表 2　HC340LA 钢带的热轧参数　℃

加热温度	粗轧出口温度	精轧入口温度	精轧出口温度	卷取温度
1252	1065	1032	891	605

冷轧工艺

冷轧工艺主要包括冷轧前的酸洗表面质量控制以及冷连轧轧制过程中的板形、尺寸、表面及内部组织晶粒控制，其中冷轧压下率是最关键的轧制工艺参数，影响后序成品钢带的力学性能与组织。通过冷连轧轧制到理想的厚度，使得钢带组织晶粒完全破碎，有利于提高冷轧变形储能，增加退火过程中再结晶的驱动力，可得到细小均匀的等轴晶。本文试验两卷不同冷轧压下率的 HC340LA 钢带试样，冷轧压下率如表 3 所示。

表 3　HC340LA 钢带的冷轧参数

试样	热轧厚度/mm	冷轧厚度/mm	压下率/%
1#	3.0	1.0	66.7
2#	3.5	1.5	57.1

连续退火工艺

退火工艺包括加热段、均热段、缓冷段、快冷段、过时效段、终冷段以及平整处理，由于 HC340LA 不牵涉到马氏体等相变强化，因此不需要投用高氢快速冷却，钢带在炉区内的生产运行相对稳定。加热段采用余热气体循环利用，可有效降低能量消耗；均热段采用再结晶退火工艺，消除了冷轧变形后的加工硬化，降低硬度，提高塑性[4]；通过缓冷与过时效热处理，最终可得到均匀细小的等轴晶组织，并且在基体晶粒上形成 C、N 化物等强析出强化粒子，确保钢带最终的组织与性能；钢带经过平整小变形量轧制，可消除退火过程中产生的屈服平台，并获得良好的表面质量与板形质量。本文试验 HC340LA 钢带的连续退火主要工艺参数如表 4 所示。

表 4　HC340LA 钢带的退火参数

均热温度/℃	缓冷温度/℃	快冷温度/℃	过时效温度/℃	终冷温度/℃	平整延伸率/%
780	660	430	380	150	1.2

性能与组织对比分析

在化学成分、热轧工艺、退火工艺等参数均相同的情况下，采用不同的冷轧压下率，对比其成品的力学性能与金相组织如下。

力学性能对比

本文试验两卷不同冷轧压下率的 HC340LA 钢带，最终获得成品退火态的力学性能如表 5 所示。

表 5　退火态 HC340LA 钢带的力学性能

试样	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%
1#	369	454	30
2#	343	446	27
内控要求	340~400	420~500	≥22

从以上力学性能值的对比可看出，冷轧压下率为 57.1% 比压下率 66.7% 的屈服强度低 26 MPa；抗拉强度低 8 MPa，延伸率低 3%，整体而言，冷轧压下率为 57.1% 的力学性能均偏内控的下限，而冷轧压下率为 66.7% 的力学性能较好，具有一定的富余量。主要原因是冷轧压下率太低，导致晶粒破碎不彻底，冷轧变形储能不够，影响了后续退火再结晶，所以最终的力学性能欠佳。

金相组织对比

两卷不同冷轧压下率的 HC340LA 钢带的成品金相组织如图 1 所示。

由金相组织对比可知，两个试验卷均完成了回复再结晶过程，晶粒组织均为铁素体（F）+少量珠光体（P），但晶粒度等级却有区别，其中冷轧压下率为 66.7% 的试验卷晶粒度约 11.5 级，冷轧压下率为 57.1% 的试验卷晶粒度约 11 级，冷轧压下率低的晶粒相对粗大些，说明不同的冷轧压下率影响连续退火过程中的晶粒长大程度。

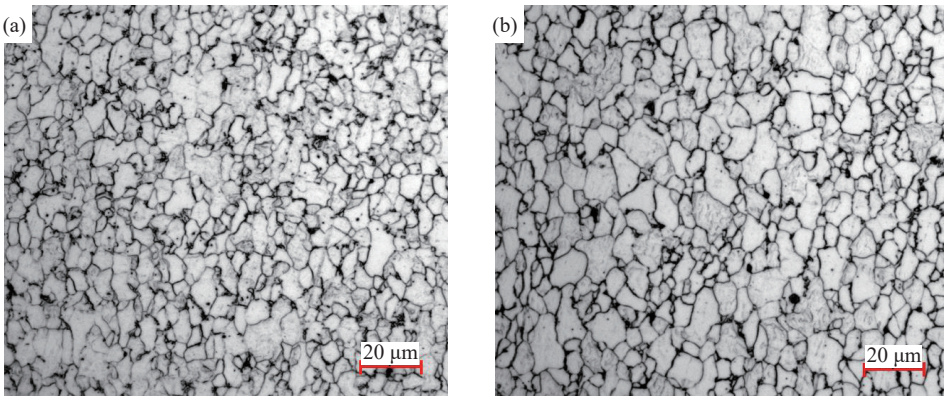

图 1　不同冷轧压下率 HC340LA 钢带的金相组织: (a) 66.7%; (b) 57.1%

产品应用情况

通过对冶炼成分设计，配合热连轧、酸连轧与连续退火工艺，对质量关键控制点的识别与优化，实现 HC340LA 产品的低成本高效生产，获得良好机械性能和表面质量的冷轧低合金高强汽车板，具有良好的塑性和焊接性能，成功应用于菲亚特、上汽、一汽、吉利等国内外知名汽车厂，用户应用反馈良好，图 2 为某汽车厂使用 HC340LA 钢带冲压成某车型的座椅支架主体零件实物图。

图 2　HC340LA 加工某车型座椅支架主体零件

结束语

（1）通过采用较少的合金成分设计与较低的均热温度进行再结晶退火，实现 HC340LA 钢种的低成本设计与生产运行，最终产品的微观组织与力学性能等指标均能满足用户与标准要求。

（2）不同冷轧压下率对 HC340LA 钢带的力学性能与晶粒度大小均有影响，冷轧压下率为 57.1% 比冷轧压下率为 66.7% 的屈服强度低 26 MPa；抗拉强度低 8 MPa，延伸率低 3%，晶粒度级别低 0.5 级。因此，建议 HC340LA 钢带的冷轧压下率不低于 65%，确保获得最佳的力学性能。

（3）通过炼钢、热轧、冷轧和退火全流程工艺的优化控制，已实现 HC340LA 钢带工业化稳定试制，产品性能与表面质量得到了汽车用户的认可，具有较好的推广应用价值。

参考文献

[1] 尹翠兰. 汽车用冷轧低合金高强钢 HC340LA 的开发生产. 山东冶金，2016，38(5)：1
[2] 杨源远，魏晓东，黄利，等. 冷轧 HC340LA 低合金高强钢的连续退火工艺研究. 热加工工艺，2022，51(13)：94
[3] 李霞，李春诚，佟铁印，等. 低合金高强钢 HC340LA 工艺优化生产实践. 金属世界，2016(2)：67
[4] 康永林. 现代汽车板工艺及成形理论与技术. 北京：冶金工业出版社，2009

作者简介：康华伟（1984—），男，工程硕士，高级工程师，从事冷轧汽车钢产品开发与质量改进，通信地址：山钢集团钢铁研究院。E-mail：kang15866342481@126.com。