低合金高强钢 HC420LA 的开发*

刘 毅,刘 妍,张秀飞,宋冉臣,刘 野

(内蒙古包钢稀土钢板材有限责任公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章阐述了汽车用冷轧连退低合金高强钢 HC420LA 的产品特点和强化机理,设计了以 Nb、Ti 为主要强化元素的化学成分,制定了包括热轧工艺、冷轧工艺、退火工艺在内完整生产工艺方案。经过生产实践和汽车生产厂的批量试用验证,表明 HC420LA 产品综合机械性能良好,生产工艺成熟且稳定,具备稳定供货能力。

关键词: 冷轧; 热轧; 低合金高强钢

中图分类号: TG335.11 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)06-0031-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.06.017

Development of Low Alloy High Strength Steel HC420LA

Liu Yi, Liu Yan, Zhang Xiu-fei, Song Ran-chen, Liu Ye

(*Inner Mongolia Baotou Steel Rare Earth Steel Plate Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, it is elaborated the product characteristics and strengthening mechanism of cold rolled continuous annealing low alloy high strength steel HC420LA for automobile, designed the chemical composition of Nb and Ti as main strengthening elements as well as formulated the complete production process plan including hot rolling, cold rolling and annealing processes. The verification of production practice and batch trial of automobile manufacturers shows that HC420LA is with good comprehensive mechanical properties, mature and stable production process as well as it could be supplied stably.

Key words: cold rolling; hot rolling; low alloy high strength steel

近年来,为适应当代汽车工业追求安全、节能、减重的发展需要,国内外具备生产冷轧高强钢能力的钢铁企业均在加大对于汽车用冷轧低合金高强钢的研制和开发力度。在汽车装备制造中,底盘、后备箱地板、座椅背板等受力结构件和加强件均需要良好的抗变形能力,即同时要求高的屈服强度和较高的屈强比。为满足汽车生产厂对于原材料的需求,包钢开展了汽车用冷轧低合金高强钢 HC420LA 的开发工作。经过生产试验,HC420LA 产品综合机械性能良好且稳定,生产工艺成熟,受到客户好评,已具备批量稳定供货能力。

1 产品特点和强韧化机理

冷轧低合金高强钢是一种针对汽车结构件和加强件开发的高强钢。其特有的强韧化机理为:在低碳铁素体钢中加入少量的 Nb 或 Ti 等强碳化物形成元素,通过恰当的轧制退火工艺使其形成碳化物或氮化物,并在铁素体基体上沉淀析出,阻碍形变过程中的位错运动,在保留部分韧性的基础上提高钢的强度[1-2]。冷轧低合金高强钢 HC420LA 力学性能

* 收稿日期:2021-09-22

作者简介:刘 毅(1987-),男,内蒙古包头市人,硕士,工程师,现从事冷轧低合金高强钢研制开发工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

要求如表1所示。

表1 HC420LA力学性能要求

牌号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后延伸率 A_{80}/%
HC420LA	420~520	470~600	≥17

在C、Mn钢的基础上，通过添加Nb、Ti元素进行微合金化。通过冷热轧工艺实现细晶强化、沉淀强化和不完全退火保留少量加工硬化，以多种复合强化机制保证材料的强度。包钢生产的汽车用低合金高强钢HC420LA化学成分如表2所示。

2 化学成分设计

冷轧低合金高强钢HC420LA化学成分设计是

表2 包钢生产的HC420LA化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Al_t	Ti+Nb
≤0.10	≤0.15	≤0.13	≤0.018	≤0.005	≥0.020	0.030~0.100

3 生产工艺制定

冷轧低合金高强钢HC420LA生产工艺流程为：炼钢→连铸→板坯加热→热轧→冷轧→连续退火。

3.1 热轧工艺

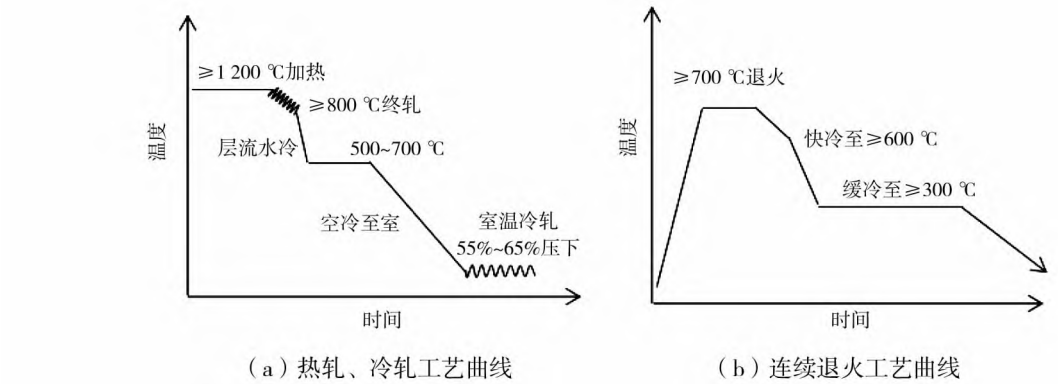
HC420LA连铸板坯的加热温度设定值不低于1 200 ℃，较高的加热温度一方面可以在一定程度上改善板坯中的偏析问题，另一方面可以使连铸过程中析出的粗大碳氮化物重新溶解。终轧温度根据热轧卷厚度不同目标值设置不低于800 ℃。包钢2 250 mm热轧生产线配有层流冷却系统，轧后经快速冷却，卷取温度根据热轧钢带厚度不同目标值设置为500~700 ℃，如图1(a)所示，以保证Nb、Ti的碳氮化物弥散析出同时获得细小的铁素体晶粒[3]，为冷轧退火做好准备。

3.2 冷轧工艺

从冷轧压下率参数考虑，压下率越大，则金属冷轧变形储能越高，增加退火过程中再结晶的驱动力，在退火过程中再结晶形核位置增多，易于获得更加细小的退火组织。考虑到冷轧机组能力，结合包钢自身试制经验，针对不同厚度规格产品将HC420LA产品冷轧压下率目标值设置为不小于55%。

3.3 退火工艺

冷轧产品退火工艺采用再结晶退火，消除冷轧变形后的加工硬化，使冷变形后的成品晶粒形态转变为等轴晶，消除内应力，降低硬度，提高塑性，最终获得较高的综合力学性能[4]。考虑到微合金元素Nb、Ti的加入对低合金高强钢再结晶温度存在影响，针对不同规格产品将汽车用冷轧低合金高强钢HC420LA的退火目标温度设置为不低于700 ℃，如图1(b)所示。



(a)热轧、冷轧工艺曲线 (b)连续退火工艺曲线

图1 HC420LA热轧、退火工艺曲线

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4　产品性能和组织

4.1　力学性能

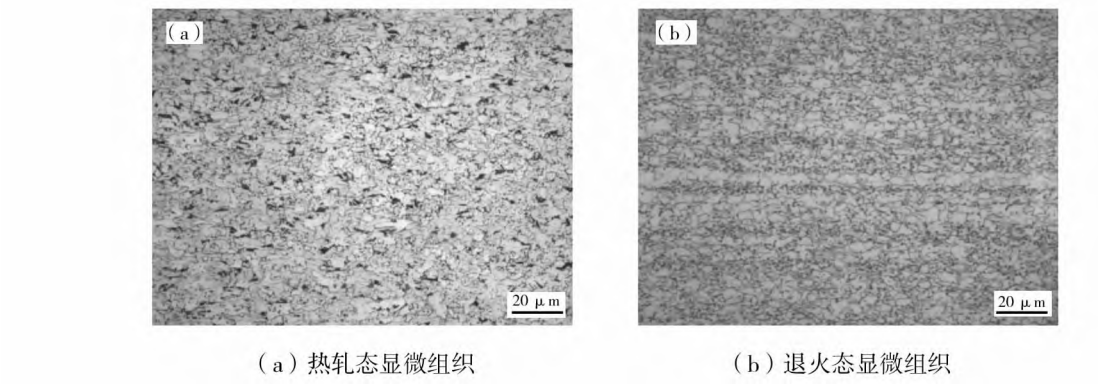
冷轧低合金高强钢 HC420LA 部分规格产品实际检测力学性能如表 3 所示。参照标准，不同规格产品的各项性能余量均适中。

表 3　HC420LA 产品实际力学性能

产品编号	产品厚度/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后延伸率 A_{80}/%
216108228	0.800	474	540	24.0
214116050	1.000	478	556	23.0
216108420	1.500	465	557	23.0
199113055	2.000	459	557	21.5

4.2　金相组织

对冷轧低合金高强钢 HC420LA 热轧态和退火态产品进行金相组织检验。热轧态产品金相组织为铁素铁(F) + 少量珠光体(P) + 析出物，晶粒度 11 级。退火态产品金相组织为铁素铁(F) + 析出物，晶粒度 12 级。在热轧态组织基础上，冷轧经 55% 以上压下率的轧制，及后续不完全再结晶退火，产品组织进一步细化，碳化物分布更为弥散，热轧态组织中于晶界处析出的三角状珠光体基本消除，综合性能进一步提高，达到更佳的强韧性匹配。图 2 为冷轧低合金高强钢 HC420LA 热轧态和退火态显微组织。



(a) 热轧态显微组织　　(b) 退火态显微组织

图 2　HC420LA 显微组织

5　应用情况

目前包钢汽车用冷轧低合金高强钢 HC420LA 已在多家汽车厂及配套厂使用，产品表面质量及性能等各项指标均符合相关技术标准要求，满足客户使用需求。产品实际用于靠背骨架左、右侧侧边板、靠背骨架中竖梁、卷收器安装支架、主地板上横梁(右)、顶盖侧内加强件(右、左)、副驾左、右侧板本体、正驾座框左、右侧板、中立柱加强件(右、左)、前门防撞横梁前、后支架(左、右)等结构件和加强件，实际供货厚度规格覆盖 0.8 ~ 2.5 mm，宽度规格覆盖 1 030 ~ 1 650 mm。图 3 为 HC420LA 应用于生产汽车座椅系统。



图 3　HC420LA 应用于汽车座椅靠背

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

6 结论

(1) 冷轧低合金高强钢HC420LA以适量的Nb、Ti微合金化元素为主要强化元素,通过细晶强化、固溶强化、沉淀强化的复合强化机制提高产品强度。

(2) 通过工业试验,制定了包含终轧温度不低于800 ℃、卷取温度500~700 ℃、冷轧压下率不小于55%、退火温度不低于700 ℃等一系列工艺制度,形成了针对不同规格产品的整套工艺方案。

(3) 通过生产实践验证,HC420LA产品性能满足设计要求且具备批量生产能力。

(4) 包钢生产的冷轧低合金高强钢HC420LA目前已在多家汽车厂及配套厂使用,产品表面质量及性能等各项指标均符合相关技术标准要求,满足客户使用需求。

参 考 文 献

[1] 马图鸣. 先进汽车用钢[M]. 北京: 化学工业出版社,2008.

[2] 雍岐龙. 钢铁材料中的第二相[M]. 北京: 冶金工业出版社,2006.

[3] J. K. Patel. B. Wilshire. The Challenge to Produce Consistent Mechanical Properties in Nb-HSLA Strip Steels [J]. Journal of Materials Processing Technology. 2002,120: 316-321.

[4] 傅作宝. 冷轧薄钢板生产[M]. 北京: 冶金工业出版社,2005.

(上接第15页)

从表6中可以看出,8月28日开始采取大幅缩批重,调整焦炭负荷,达到补充炉缸热量的目的。表7为采取大幅缩批重铁水硅含量前后对比情况。

表7 生铁硅含量变化(质量分数) %

时间	铁水硅含量
8月22日	0.63
8月23日	0.45
8月24日	0.42
8月25日	0.67
8月26日	0.75
8月27日	0.37
8月28日	0.78
8月29日	0.92
8月30日	0.81
8月31日	0.71
9月	0.71

从表7中可以看出,8月28日以前生铁硅含量虽有提高的现象,但未能达到长时间稳定。缩批重之后,生铁硅含量整体明显提高,且稳定,基本在0.70%以上,说明炉缸热储备充足。

(3) 全天监控湿熄焦水分,并要求焦化重点关注湿熄工艺能源管网压力,固化打水时间。

(4) 严格控制干熄焦和湿熄焦入炉的配加比例。

5 结论

(1) 大比例湿熄焦入炉后,焦炭的综合反应后强度会下降,应充分考虑焦炭反应后强度的变化,在高炉生产中进行有效的应对。

(2) 大比例湿熄焦入炉后,尤其在湿熄焦水分波动较大的情况下,对高炉热制度影响十分巨大,应首先保证炉缸热储备,当前的条件铁水硅含量控制在0.70%以上。

(3) 减小湿熄焦水分波动,尽量将其降至最小。

(4) 制定湿熄焦入炉比例警戒线,建议控制在50%以内,超过以后增加炉缸热补充措施,保证炉缸活跃度。

参 考 文 献

[1] 王筱留. 钢铁冶金学[M]. 北京: 冶金工业出版社,2008.

[2] 纪同森,齐廼,贾瑞民. 干法熄焦与湿法熄焦对焦炭热态性能的影响[J]. 煤化工,2005,32(5): 33.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net