热镀锌380 MPa级低合金高强钢的研发*

李 鹏[1],张智刚[2],黄 利[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢金属制造有限责任公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 为了满足汽车行业轻量化、高强度以及节能降耗的发展需求,包钢基于先进的设备和工艺特点,通过Nb、Ti微合金化的成分设计,配合合理的热轧控轧和酸轧镀锌工艺成功研发了汽车用热镀锌380 MPa级低合金高强钢HC380LAD+Z。生产结果和用户使用效果表明,高强度低合金钢HC380LAD+Z各项性能均满足EN 10346—2015标准要求和用户使用要求。

关键词: 微合金化; 热轧控轧; 热镀锌; 高强度低合金
中图分类号: U465.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)01-0057-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.01.017

Research and Development of Hot-dip Galvanized 380 MPa Grade Low Alloy High Strength Steel

Li Peng[1], *Zhang Zhi-gang*[2], *Huang Li*[1]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Inner Mongolia Baotou Steel Metal Manufacturing Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In order to meet the development needs of light weight, high strength, energy-saving and cost-reducing in automotive industry, the hot-dip galvanized 380 MPa grade low alloy high strength steel HC380LAD+Z for automobiles is successfully developed by Baotou Steel through the composition design of microalloying of Nb and Ti combining with reasonable hot rolling and controlled rolling as well as pickling and galvanizing technologies based on advanced equipment and technological characteristics. The production results and using effect of users showed that all its properties could meet the requirements of EN 10346-2015 standard and operating requirement of users.

Key words: microalloying; hot rolling and controlled rolling; hot-dip galvanizing; high strength low alloy

随着汽车工业的不断发展,高强度、轻量化、低排放、高安全性能已经成为汽车行业的发展方向,为了减轻自重,降低成本,汽车生产企业通常采用薄规格高强度钢板用于汽车结构件。采用低合金高强钢(HSLA钢)既可减少汽车重量同时又提高汽车的安全性,其作为汽车内部结构件得到广泛应用[1]。汽车用热镀锌低合金高强钢具有较高的屈服强度、屈强比和优良的抗变形能力和焊接性,主要用于传统的汽车结构加强件,例如汽车的A柱加强件、内侧B柱、左右前翼子板内板、发动机支架板、左右纵梁外

* 收稿日期: 2020-12-08
作者简介: 李 鹏(1988-),男,内蒙古清水河县人,工程师,现从事板材产品研发工作。

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

板、车门槛加长件、座椅滑轨件、车窗台加强梁、顶盖横梁等。据统计，国外的中、高档轿车高强度热镀锌钢的应用比例已超过50%，我国汽车用高强度热镀锌钢板的比例也越来越高，如长城汽车哈弗H2在车门内板、底盘纵梁、横梁及连接板等多处关键部位采用高强度镀锌钢板，应用比例可达50%左右。

为了适应市场发展的需要，进一步扩大市场占有率，丰富包钢镀锌产品的品种结构，满足汽车制造业对380 MPa级高强度镀锌汽车板的需求，包钢基于先进设备和工艺特点，采用Nb－Ti微合金化成分设计，配合合理的热轧控轧和酸轧镀锌工艺成功研发了汽车用热镀锌380 MPa级低合金高强钢。

1 技术要求

HC380LAD＋Z为低合金高强度热镀锌钢带，主要用于汽车车身结构承载件，如B柱加强板、横梁等零件。为了满足用户使用要求，低合金高强度热镀锌钢带HC380LAD＋Z除了满足化学成分和力学性能要求外，还应具备良好的冷热加工冲压成型性、抗凹陷性、耐腐蚀性、锌层附着性、漆膜附着性和良好焊接性能等。EN 10346—2015标准[2]对HC380LAD＋Z钢带的化学成分及力学性能要求如表1和表2所示。

表1 化学成分技术要求(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Al_t	Nb	Ti
≤0.11	≤0.50	≤1.40	≤0.030	≤0.025	≥0.015	≤0.09	≤0.15

表2 力学性能技术要求

牌号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%
HC380LAD＋Z	380～480	440～560	≥19

备注：(1)如果有明确的屈服点时，屈服强度数值取R_{eL}；
(2)拉伸试样取样方向为横向，取样位置为产品宽度的1/4处，试样宽度为20 mm。

2 化学成分设计

对于低合金钢来说，晶粒细化强化可以用Hall－Petch关系式予以描述：$\sigma_s = \sigma_0 + kd^{-1/2}$，其中$\sigma_0$为内摩擦力，$k$为常数，$d$为晶粒直径。该式表明，随着晶粒尺寸$d$的减小，钢的屈服强度将提高[3]。镀锌低合金高强度钢带HC380LAD＋Z是在较低碳、硅含量基础上，通过添加一定量的Nb和Ti微合金元素，配合合理的热轧控轧和酸轧镀锌工艺，产生细晶强化和析出强化作用，从而使该钢种达到较高强度和良好韧性。微合金元素铌、钛与钢中碳、氮、氧及硫等都有很强的亲合力，可以形成稳定的碳化物和氮化物等化合物，所形成的这些化合物可以沉淀强化铁素体并阻碍晶粒长大，细化晶粒，因此能有效提高该钢种的强度。内控化学成分要求如表3所示。

表3 HC380LAD＋Z的内控化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Al_t	Nb	Ti
0.05～0.08	≤0.05	0.60～0.90	≤0.010	≤0.020	0.020～0.050	0.020～0.040	0.020～0.035

3 关键生产工艺

3.1 工艺流程

汽车用热镀锌380 MPa级低合金高强钢产品有热轧、酸轧、镀锌3个主要生产工序，具体生产工艺流程如下。

热轧工序：板坯加热→高压水除鳞→定宽压力机→E1R1粗轧机轧制→E2R2粗轧机轧制→(保温罩→)飞剪切头尾→高压水除鳞→F1—F7精轧机轧制→加密型层流冷却→卷取→托盘运输系统→称重→入库。

酸轧工序：酸轧开卷→焊接→拉矫→酸洗→漂洗→烘干→切边→轧制→卷取→称重→标识→打捆→入库。

镀锌工序：热镀锌开卷→焊接→入口活套→清洗→退火炉→锌锅→镀后冷却→水淬→中间活套→

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

光整机→拉伸矫直机→(辊涂机→)烘干机→空气冷却装置→出口活套→切边→表面检查→(涂油→)取样、检验→卷取→打捆称重→包装→入库→发货。

3.2　热轧工艺

包钢 2 250 mm 热连轧机组具有钢板温度、板形、尺寸等自动控制系统,并采用高效加密层流冷却技术。热轧晶粒尺寸大小对后续冷轧退火晶粒有很大影响,高强度热镀锌钢带热轧工艺原则是:采用必要的控制轧制与控制冷却工艺,得到均匀细小的晶粒度、均匀弥散的第二相[4]。所以汽车用热镀锌 380 MPa级低合金高强钢带加热温度控制为 1 200 ~ 1 240 ℃,热轧采取高温加热的作用是保证稳定轧制的同时,使钢中粗大的碳氮化合物等第二相粒子充分回溶。为了保证退火冷轧晶粒尺寸大小和强度,热轧采取较低终轧温度和卷取温度,轧后快冷,达到细化析出物的尺寸,得到均匀细小的铁素体晶粒,从而保证冷轧原料强度[5]。所以终轧温度控制在850 ~ 880 ℃,轧后采用前分散快速冷却模式,卷取温度控制在 560 ~ 600 ℃,有利于获得均匀和细小的铁素体晶粒。

3.3　酸轧工艺

酸轧工艺中对热镀锌板钢带影响最大的就是压下率,考虑到设备能力及板形等因素,酸轧压下率实际控制为 60% ~ 80%,既满足了该钢种的强度又保证了冲压性能。

3.4　镀锌工艺

镀锌工艺主要包含退火工艺、热浸镀工艺和光整工艺。

3.4.1　退火工艺

HC380LAD + Z 钢带再结晶退火对钢带的力学性能有重要的影响,是钢带热镀锌生产的关键工艺环节之一,主要作用是消除冷轧变形后的加工硬化,使冷变形后的成品得到所需求的组织,消除内应力,降低硬度,提高塑性,最终获得理想的力学性能[6]。由于热轧时固溶的 Nb 和 Ti 的析出物以第二相粒子弥散析出形成沉淀强化,同时由于第二相析出物粒子在晶界沉淀析出而抑制铁素体晶粒长大引起细晶强化,沉淀强化和细晶强化两种强化机制复合,从而确保成品力学性能。结合现场生产实际,考虑到微合金元素 Nb 和 Ti 等对低合金高强钢再结晶退火的影响,汽车用热镀锌 380 MPa 级低合金高强钢带的退火温度控制在 765 ~ 810 ℃。

3.4.2　热浸镀工艺

热浸镀主要是控制锌锅内锌液成分、锌液温度和浸镀时间[7]。HC380LAD + Z 钢带锌液成分中 w[Al] 控制在 0.18% ~ 0.21%,w[Fe] 控制在 ≤0.03%;锌液温度的高低,会直接影响镀件的镀层质量,热镀锌时锌液温度一般控制在 455 ~ 470 ℃;在浸镀过程中,合金层的厚度与浸镀时间呈抛物线规律变化,浸镀时间控制在 60 ~ 200 s。

3.4.3　光整工艺

光整工艺的目的是通过预变形消除屈服平台,使钢板各方向能均匀连续变形,提高钢板的冲压成型性能。HC380LAD + Z 钢带光整延伸率按照不同厚度进行设定,控制范围为 0.8% ~ 1.6%。

HC380LAD + Z 钢带工业生产时退火、镀锌、光整工艺参数控制情况如表 4 所示。

表 4　退火、镀锌、光整工艺参数

加热段温度/℃	均热段温度/℃	缓冷段温度/℃	快冷段温度/℃	锌液温度/℃	光整延伸率/%
765 ~ 810	765 ~ 810	650 ~ 680	455 ~ 475	455 ~ 470	0.8 ~ 1.6

4　产品实物水平

4.1　力学性能情况

包钢工业生产的汽车用热镀锌 380 MPa 级低合金高强钢 HC380LAD + Z 钢带的力学性能实物水平如表 5 所示。

4.2　显微组织情况

在 HC380LAD + Z 成品钢带上切取 20 mm × 20 mm的金相试样,经砂纸逐级打磨、抛光、冲洗,再用 4%硝酸酒精溶液腐蚀后,在光学显微镜下观察组织形貌,得到如图 1 所示的显微组织。

表 5　HC380LAD + Z 实物性能

项目	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%
EN 10346—2015 标准[8]	380 ~ 480	440 ~ 560	≥19.0
实际控制范围	405 ~ 456	463 ~ 512	23.5 ~ 30.5
平均值	421	475	27.0

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

由表5可知，HC380LAD + Z带钢的屈服强度、抗拉强度和延伸率等各项性能均满足EN 10346—2015标准要求。由图1可知，显微组织主要为铁素体和少量珠光体，组织再结晶较为充分、均匀，晶粒度为10～11级，晶粒细小，达到析出强化和细晶强化的目的。说明通过Nb、Ti微合金化的成分设计，配合合理的热轧控轧和酸轧镀锌工艺，能够生产出满足380 MPa级低合金高强钢强度要求的合格产品。

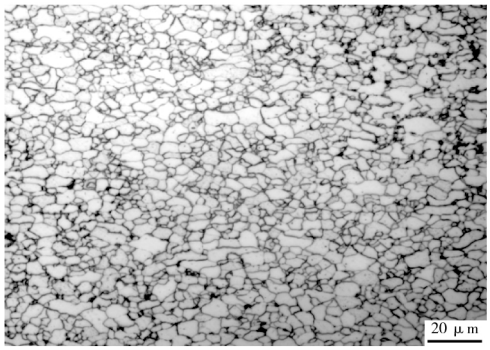


图1 HC380LAD + Z带钢显微组织

5 应用情况

包钢汽车用热镀锌380 MPa级低合金高强钢现已小批量工业生产，产品实际生产厚度规格为0.6～2.0 mm，宽度规格为1 000～1 600 mm，并用于一汽、长城、奇瑞等汽车内部结构加强件，产品表面质量及性能等各项指标均达到汽车厂的相关技术要求。图2、图3为包钢产品HC380LAD + Z在各汽车厂的实际应用情况。

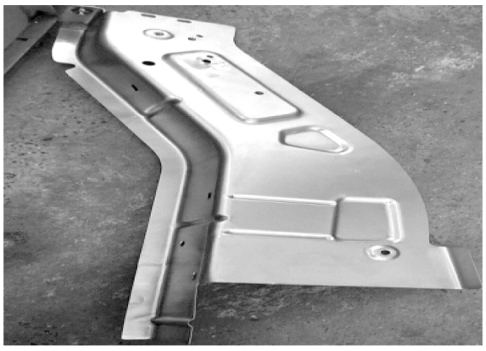


图2 汽车翼子板



图3 汽车车门内板

6 结论

(1) 包钢汽车用热镀锌380 MPa级低合金高强钢采用Nb、Ti微合金化成分设计，热轧加热温度1 200～1 240 ℃、终轧温度850～880 ℃、卷取温度560～600 ℃，酸轧压下率60%～80%，退火温度765～810 ℃的生产工艺参数制定合理，为以后研发更高级别的镀锌低合金高强钢奠定了基础。

(2) 显微组织观察可知，成分设计添加合金元素Nb和Ti起到了细化晶粒及析出强化作用，从而提高了钢的强度。

(3) HC380LAD + Z产品已成功用于一汽、长城、奇瑞等汽车内部结构加强件，产品表面质量及性能等各项指标均满足各汽车生产厂的使用要求。

参 考 文 献

[1] 赵艳君. 汽车用高强度钢板现状和发展趋势[J]. 广西大学学报，2009，(7)：34.

[2] EN 10346—2015，连续热浸镀钢带产品交货技术条件[S].

[3] 董瀚. 合金钢的现状与发展趋势[J]. 特殊钢，2000，(5)：2.

[4] 王春明，鲁强，吴杏芳，等. 管线钢的合金设计[J]. 鞍钢技术，2004，(6)：22－28.

[5] 孙君华，吴立新，谢长生，等. 热轧工艺对低碳微合金钢组织与性能的影响[J]. 热加工工艺，2004，(11)：43－47.

[6] 康永林. 现代汽车板工艺及成形理论与技术[M]. 北京：冶金工业出版社，2009.

[7] 朱立. 钢材热镀锌[M]. 北京：化学工业出版社，2006.

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