包钢高强度汽车厢体钢 BT600XT 开发[*1]

曹晓明[1]，张秀飞[2]，白海瑞[2]，刘德勤[3]

（1. 包钢（集团）公司节能环保中心，内蒙古 包头 014010；
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心，内蒙古 包头 014010；
3. 内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢板材厂，内蒙古 包头 014010）

摘 要： 文章采用低碳、低硫、低磷，添加微合金元素铌和钛的合金设计方案，在包钢2 250 mm热连轧生产线成功开发出高强度汽车车厢用钢BT600XT，该钢综合性能优良，强韧性匹配良好，具有优异的冷弯成型性能，完全满足用户使用要求。

关键词： 高强钢；BT600XT；汽车厢体钢
中图分类号： TF762 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438（2019）03－0038－04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.03.012

Development of High Strength Automobile Carriage Steel BT600XT of Baotou Steel

Cao Xiao－ming[1], *Zhang Xiu－fei*[2], *Bai Hai－rui*[2], *Liu De－qin*[3]

（1. *Energy Conservation and Environmental Protection Center of Baotou Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
3. *Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*）

Abstract: The high－strength automobile carriage steel BT600XT is successfully developed with the 2 250 mm hot continuous rolling production line of Baotou Steel by adopting the alloy design scheme of low carbon, sulfur and phosphorus as well as adding microalloy elements, niobium and titanium. It is with excellent overall performance and cold roll forming performance as well as the strength and toughness match well, which could fully meet the user requirements.

Key words: high strength steel; BT600XT; automobile carriage steel

随着国内商用汽车工业的快速发展，以及节约资源和环保意识的加强，用户对减轻汽车重量、降低油耗、提高汽车结构件强度以及安全性能等提出了更高的要求，汽车用钢呈现轻量化、高强化的发展趋势。高强度汽车厢体钢主要用来制造汽车的车厢，包括货车车厢、厢式货车的车厢等。厢体钢的制造

* 收稿日期：2019－01－08
作者简介：曹晓明（1985－），男，山西省大同市人，硕士，工程师，现从事生态设计与材料生命周期评价研究工作。

过程及服役条件不仅要求其具有较高的强度，还需具有良好的塑韧性、冷成型性及优良的焊接性能。近年来国内汽车销量大幅增长，对高强度汽车用钢需求加大，对质量也提出更高的要求[1-4]。包钢 2 250 mm热连轧生产线于 2013 年投产，该生产线装备达到世界一流水平，具备生产高级别汽车用钢的能力，现已成功开发适用于不同汽车零部件的高强度热轧钢板。高强度汽车厢体用热轧钢板 BT600XT 已经实现批量供货，性能稳定，用户反映使用性能良好。

1　力学性能与化学成分

1.1　力学性能要求

根据与用户签订的技术协议，BT600XT 的力学性能要求见表 1。

表 1　BT600XT 力学性能技术指标

厚度规格/mm	R_{el}/ MPa	R_m/MPa	A/%	180°冷弯，b ≥35 mm	备注
≥2.0 ~ <8.0	≥620	≥660	≥14	d = 2.0 a	横向性能
≥8.0 ~ 12.0	≥580	≥620	≥14	d = 2.0 a	横向性能

1.2　化学成分设计

BT600XT 采用低碳、锰、低硫、低磷，添加微合金元素铌和钛的成分设计方案。低的碳含量有利于钢的焊接性能和成型性能，较低的有害元素硫、磷含量，有利于提高钢的韧塑性。在 C - Mn 钢中加入微量的与 C(N) 亲合力强的合金元素铌、钛，以沉淀方式使细小未溶质点在加热过程和高温奥氏体化时阻止晶粒长大，在轧制过程中有抑制奥氏体再结晶和晶粒长大的作用，相变后能得到更加细小的铁素体晶粒，在提高强度的同时可以改善钢的韧性。BT600XT 化学成分设计见表 2。适当的化学成分设计结合控轧控冷工艺，强韧化机制以细晶强化为主，附加析出强化和位错强化[5]，有利于获得高强度、高韧性、性能稳定、冷成形性优良的综合性能。

表 2　BT600XT 化学成分(质量分数)　%

C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	Alt
≤0.080	≤0.200	≤1.700	≤0.020	≤0.010	≤0.050	≤0.100	≤0.040

2　生产工艺

根据高强度车厢用钢的性能要求，结合包钢 2 250 mm热连轧生产线的设备能力和生产条件，BT600XT 生产工艺流程如下：

铁水→铁水预处理→转炉顶底复吹冶炼→LF 炉外精炼→板坯连铸→堆冷板坯加热→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→取样、检验→称重→入库。

2.1　冶炼和连铸

冶炼铁水经 KR 脱硫处理，入转炉铁水硫含量≤0.010%，出钢温度≥1 620 ℃。精炼就位温度≥1 560 ℃，LF 炉精炼过程用锰铁、铌铁、钛铁等进行微合金化，用 Si - Ca 线进行钙处理。铸机采用恒拉速控制，铸机拉速范围 1.0 ~ 1.5 m/min。

2.2　加热

加热温度影响钢中 Nb、Ti 等微合金元素的固溶程度，从而影响变形过程中奥氏体再结晶的状态，变形后奥氏体晶粒尺寸以及碳氮化物的析出状态和数量。因此，板坯在加热过程中要避免奥氏体晶粒过分长大，还要保证钢中 Nb、Ti 合金化合物充分固溶。过高的加热温度会增加钢坯烧损，易造成氧化铁皮缺陷。根据不同厚度规格，设定 BT600XT 的出炉温度范围是(1 240 ±20) ℃。

2.3　轧制与冷却

BT600XT 轧制分为两个阶段进行，第一阶段为奥氏体再结晶区域轧制，奥氏体在高温轧制后进行再结晶，通过此阶段的反复变形和再结晶，奥氏体晶粒得到细化；第二阶段是奥氏体未再结晶区域轧制，轧制温度降低，奥氏体再结晶将被抑制，随着累计压

下量的增加，奥氏体晶粒伸长，晶粒产生大量形变带。精轧开轧温度是以保证终轧温度为依据设定，终轧温度和卷取温度是热轧带钢控制轧制和控制冷却的主要参数[3]。BT600XT 精轧开轧温度设定为 950 ℃以上，根据不同厚度规格，精轧终轧温度范围设定为(860 ±20) ℃，层冷模式为前段冷却。Nb、Ti 微合金高强钢采用合理的控制冷却工艺可以细化晶粒，获得相变强化的效果。BT600XT 的目标显微组织为铁素体 + 珠光体，卷取温度对铁素体晶粒尺寸、珠光体数量和性能及显微组织都有影响，随卷取温度的降低钢的塑性和韧性下降，经试验确定卷取温度范围为(570 ±20) ℃。

3 BT600XT 实物性能

3.1 金相组织

随机选取一卷 BT600XT 进行金相组织观察，如图 1 所示。钢中非金属夹杂物按 GB/T 10561—2005 标准[4]评级，夹杂物为 Ds 类 1 级，见图 1(a)，圆形或近圆形的夹杂物降低了夹杂物对钢材塑性和韧性的不利影响。金相组织为铁素体加少量珠光体，见图 1(b)。晶粒度按 GB/T 10561—2005 标准评级，晶粒度为 12 级左右，晶粒细小均匀。通过控轧控冷工艺和添加微合金元素，实现了晶粒细化，保证了 BT600XT 的力学性能。

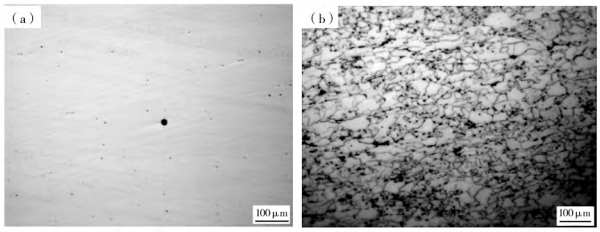


图 1 夹杂物和金相组织

对 BT600XT 进行扫描电镜观察，发现大量弥散析出的第二相粒子，主要是 TiN、NbN 以及复合析出，弥散的第二相析出起到了强化的作用，具体见图 2。

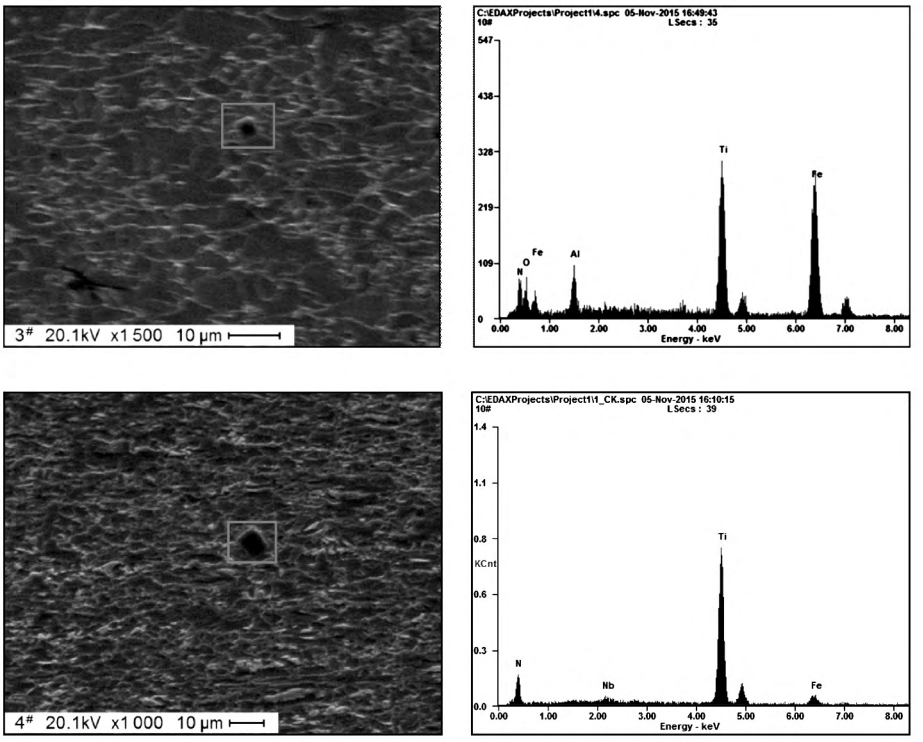


图 2 BT600XT 析出物分析

Lnik[7]在研究微合金钢的控轧控冷工艺时指出，铌是控轧控冷中的有利元素，因为它能够抑制奥氏体再结晶，扩大了奥氏体未再结晶区的范围，非常有利于实施控轧控冷工艺。析出的 Nb(CN) 质点钉扎了奥氏体晶界使晶界难以移动阻止了再结晶的发生。钛的作用与铌相似，但有文献指出钛可以强烈

阻止奥氏体晶粒长大，其作用要强于铌[8]。TiN 或富氮的 Ti(C,N) 具有非常优异的高温稳定性，微合金钢中 TiN 或富氮的 Ti(C,N) 阻止晶粒长大的作用可持续到 1 300 ℃以上。BT600XT 合金体系是以 Nb－Ti 为主的强化体系，在加热时首先保证合金元素的固溶，在轧制过程中再以第二相颗粒的形式析出，从而起到第二相强化的目的。

3.2　力学性能

对所生产的 BT600XT 进行力学性能检测，结果统计表明 BT600XT 力学性能控制稳定，完全符合技术协议要求，力学性能范围见表 3。

表 3　BT600XT 力学性能范围

R_{el} /MPa	R_m/MPa	A/%	180°冷弯，$b \geqslant 35$ mm	备注
676～705	734～777	19.5～23.0	合格	横向性能

3.3　冷弯成型性能

汽车车厢钢在使用时要经过折弯成型，因此必须保证车厢钢具有良好的冷成型性能。选用厚度为 3.0 mm 和 2.75 mm 两个规格的 BT600XT 进行严于技术协议的冷弯试验，在 $d = 0$ 条件下进行双冷弯和宽冷弯试验，试样均未出现开裂现象，试验结果表明 BT600XT 冷弯性能优异，如图 3 所示。

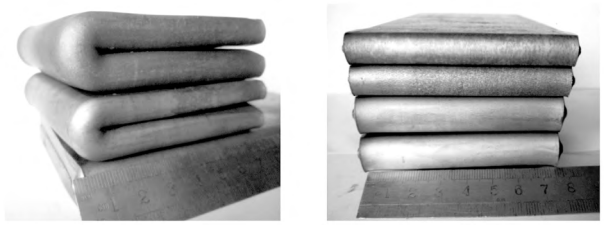


图 3　双冷弯和宽冷弯试验

4　结束语

采用 Nb－Ti 微合金化和控轧控冷工艺，包钢 2 250 mm热连轧生产线生产的高强度汽车厢体用钢 BT600XT，化学成分和轧制工艺设计合理，夹杂物控制良好，组织细小均匀，力学性能稳定，具有优异的冷弯成型性能，能够完全满足汽车生产厂家的使用，实现了该产品的批量生产和供货。

参　考　文　献

[1] 尹志尧，张春雷，包阔，等. 600 MPa 级钛微合金轻量化汽车厢体钢的研制[J]. 甘肃冶金，2012，34(6)：26－28.

[2] 刘泓，周波，孔超. 钛微合金化高强汽车厢体用钢开发[J]. 炼钢，2012，28(5)：28－31.

[3] 朱永宽，吴洪，唐小勇，等. 新钢 600 MPa 级汽车车厢用热轧钢卷试制[J]. 江西冶金，2014，34(5)：22－25.

[4] 徐杰. 天铁高强度车厢板 TT600 热轧板卷生产实践[J]. 天津冶金，2012，(3)：16－18.

[5] Barrie MINTZ. The influence of composition on the hot ductility of steels and to the problem of transverse cracking[J]. ISIJ International，1999，39(9)：833－855.

[6] GB/T 10561—2005，钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微[S].

[7] Lnik J，Kvackaj T. Effect of thermomchanical processing on the microstructure and mechmical properties of Nb－Ti microalloyed steel[J]. Material Science and Engineering，2001，(A319)：321－325.

[8] 陈玉鹏. 汽车用低合金钢成分设计及控轧控冷工艺的研究[D]. 沈阳：东北大学，2010.