

装甲防弹钢板 BTP500 质量特性分析

崔成波, 袁晓鸣, 董丽丽

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 选取 685、Armox 500T 产品与装甲防弹用钢板 BTP500 进行对比分析, 结果表明包钢生产的装甲防弹用钢板 BTP500 显微组织为回火马氏体, 原始奥氏体晶粒细小, 平均晶粒尺寸为 $10.5 \mu\text{m}$, 且晶粒大小均匀。BTP500 钢板的硬度 (HBW) 平均值在 291 ~ 296 之间, 比 685 钢板平均值高出 30 左右。各项力学性能指标完全达到 Armox 500T 防护钢板的水平, -40°C 低温冲击吸收功平均值为 51.6 J, 高于 Armox 500T 的冲击吸收功。BTP500 钢板在厚度较薄的情况下仍具有良好的抗弹性能, 为装甲车辆轻量化提供了理想的防护材料。

关键词: 防弹钢; 显微组织; 硬度; 抗弹性能

中图分类号: TG142.1

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2023)05-0071-04

Analysis on Quality Characteristics of Armor Plate BTP500

Cui Cheng-bo, Yuan Xiao-ming, Dong Li-li

(Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010,
Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In this paper, the products of 685 and Armox 500T, armor plate BTP500 are selected to compare and analyze. The results showed that the microstructure of armor plate BTP500 produced by Baotou Steel was tempered martensite, original austenite grain was fine, average grain size was $10.5 \mu\text{m}$ and grain size was uniform. The average hardness of BTP500 steel plate (HBW) is 291 ~ 296, which is about 30 higher than that of 685 steel plate. The mechanical performance indexes could fully reach the levels of Armox 500T protective plate, average low-temperature impact absorbing energy at -40°C is 51.6 J, which is higher than that of Armox 500T. The BTP500 steel plate is still with good bullet proof property in the case that it is thinner, which provides the ideal protective material for lightweight of armored vehicles.

Key words: bullet proof steel; microstructure; hardness; bullet proof property

目前我国的装甲防护钢板已经发展了三代^[1-3]。第一代炼钢工艺水平较差, 主要的钢种为 603、GY4、GY5、616 等, 钢质纯净度较差, 硬度较低, 抗弹性能、工艺性能等较差; 第二代炼钢工艺水平有较大提高, 主要的钢种为 675、685、695、HB600 等, 钢质纯净度有所提高, 硬度高, 抗弹性能较好, 但工艺性能较差; 第三代炼钢工艺水平达到历史最好水

平, 主要的钢种为 6211、6212 等, 钢质纯净度好, 硬度高^[4]。国外典型的防护钢板为瑞典 SSAB 公司生产的 Armox 系列钢板^[5-6]。经过多年的发展, Armox 系列钢板已经形成了 Armox 370T、Armox 440T、Armox 500T、Armox 600T、Armox Advance 等多个钢种。

包钢利用特有的稀土资源优势, 通过稀土微合

金化成分设计,冶炼、轧制、热处理等生产工艺流程参数设计和小批量工业化试制,成功研发并生产出装甲防弹钢板 BTP500。本文选取装甲防弹用钢板 BTP500 与 685、Armox 500T 产品进行对比分析。

1 生产工艺流程

装甲防弹钢板 BTP500 生产工艺流程为:铁水预处理→转炉顶底复吹冶炼→LF 炉外精炼→RH 真

空脱气→板坯连铸→堆垛缓冷→板坯加热→除鳞→粗轧轧制→精轧轧制→ACC 冷却→矫直→探伤→精整→钢板表面质量检查→表面抛丸→热处理→取样检验→成品入库。

2 钢板成分及性能

装甲防弹用钢板 BTP500 的化学成分和力学性能如表 1、表 2 所示。

表 1 化学成分(质量分数)

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
协议	≤0.32	≤0.4	≤1.2	≤0.015	≤0.010	≤1.0	≤1.8	≤0.7	≤0.005
实测值	0.29	0.25	0.27	0.010	0.002	0.82	0.83	0.29	0.001 4

表 2 力学性能

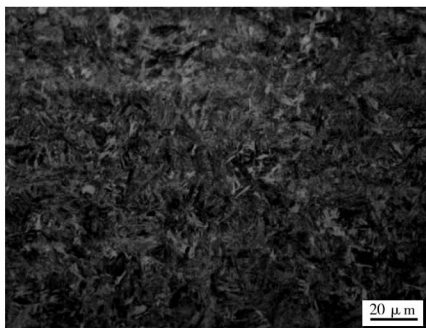
项目	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	延伸率 A /%	硬度(HBW)	-40 °C 冲击吸收功/J
协议	≥1 250	1 450 ~ 1 750	≥8	480 ~ 540	≥25
实测值	1 289	1 572	9.0	494	51.6

3 质量特性对比分析

3.1 BTP500 与 685 钢板对比分析

从低温回火后 685 和 BTP500 钢板适当位置上

选取金相试样,试样经剪切打磨、抛光后用 4% 硝酸酒精溶液腐蚀表面,采用蔡司显微镜观察显微组织。如图 1 所示,685 钢板和 BTP500 钢板的显微组织均为回火马氏体。



685



BTP500

图 1 回火态钢板微观组织

从低温回火后 685 和 BTP500 钢板适当位置选取金相试样,试样经剪切打磨、抛光后用苦味酸腐蚀钢板的原始奥氏体晶粒,在 500 倍视场下观察 685 和 BTP500 钢板原始奥氏体晶粒的尺寸大小,如图 2 所示。

对比图 2 中的 685 和 BTP500 钢板原始奥氏体晶粒尺寸可以看出,685 钢板晶粒较大,平均晶粒尺

寸为 16 μm ,且 685 钢板的晶粒间尺寸差异较大,晶粒尺寸均匀性较差。而 BTP500 钢板原始奥氏体晶粒细小,平均晶粒尺寸为 10.5 μm ,且晶粒大小均匀。

造成 685 和 BTP500 钢板原始奥氏体晶粒差异的主要原因是生产工艺的不同^[7]。685 钢板采用传统热连轧机组生产,轧制速度快,钢板终轧及卷取温

度高,原始奥氏体晶粒较大,且卷取后钢卷散热慢,使得钢卷在较长时间内处于高温状态,发生了奥氏体晶粒长大和自回火现象;而包钢生产的装甲防弹钢板 BTP500 采用宽厚板轧机生产,轧制节奏慢,终轧温度低,晶粒较小,且终轧钢板在空气中快速冷

却,抑制了奥氏体晶粒长大^[8-9],这一点从轧态钢板的硬度上可以充分体现,如表3所示。BTP500 钢板的硬度(HBW)平均值在 291~296 之间,比 685 钢板平均值高出 30 左右。

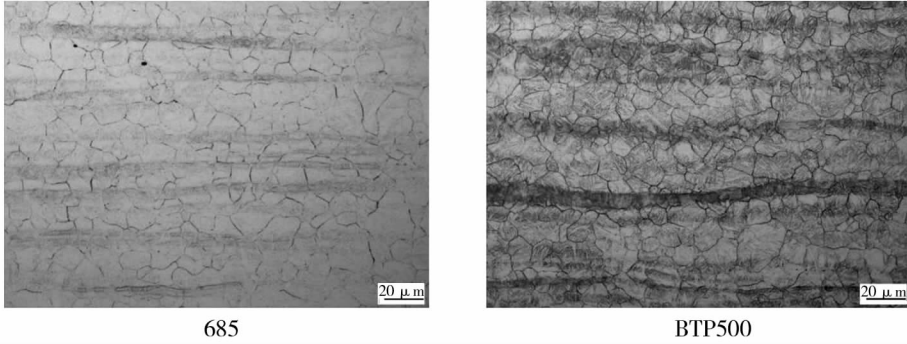


图2 钢板的原始奥氏体晶粒

表3 硬度对比

钢种	编号	布氏硬度(HBW)			
		1	2	3	平均值
685	1#	267	265	262	265
	2#	292	294	293	293
BTP500	3#	290	292	292	291
	4#	297	296	294	296

3.2 BTP500 与 Armox 500T 钢板常规性能的对比

表4为瑞典 SSAB 公司生产的 Armox 500T、国内 685 钢板和包钢生产的 BTP500 产品的常规性能对比。

表4 常用防护钢板性能

钢种	数值类型	屈服强度 $R_{p0.2}/\text{MPa}$	抗拉强度 R_m/MPa	延伸率 $A/\%$	-40 °C 冲击吸收功 /J	硬度(HBW)
ArmoX 500T	保证值	$\geq 1\ 250$	1 450 ~ 1 750	≥ 8	25	480 ~ 540
	典型值				45	
685	实测值		1 665	7.5		
BTP500	实测值	1 289	1 572	9.0	51.6	494

由表4可见,对比 BTP500 和 Armox 500T、685 钢板的常规性能发现,BTP500 钢板的各项力学性能指标完全达到 Armox 500T 防护钢板的水平。相对而言,BTP500 有着较好的塑性、韧性。BTP500 断后延伸率为 9.0%, -40 °C 低温冲击吸收功平均值为 51.6 J,高于 Armox 500T 钢板的冲击吸收功。

3.3 抗弹性能对比分析

表5为瑞典 SSAB 公司生产的 Armox 500T、国

内 685 钢板和包钢生产的 BTP500 产品的抗弹性能对比。

由表5可见,9.7 mm、9.2 mm、9.1 mm 厚 BTP500 钢板抗弹性能与 Armox 500T 进口钢板处于同一水平;6.3 mm、6.1 mm 厚 BTP500 钢板的安全防护距离与 685 钢板处于同一水平。整体而言,BTP500 钢板在较薄厚度的情况下仍具有良好的抗弹性能,为装甲车辆轻量化提供了理想的防护材料。

表5 抗弹性能对比

钢种	钢板厚度 /mm	枪型及弹型	弹头速度 /(m·s ⁻¹)	射距 /m	结果
Armox 500T	10.0	M16 5.56 mm 自动步枪配 M193 步枪弹	970	10	合格
	9.7			30	
BTP500	9.2	M16 5.56 mm 自动步枪配 M193 步枪弹	970	30	合格
	9.1			30	
685	6.0	53 式 7.62 mm 普通钢芯弹	830	80	合格
	6.3			80	
BTP500	6.1	53 式 7.62 mm 普通钢芯弹	830	80	合格

4 结论

(1)685 钢板和 BTP500 钢板的显微组织均为回火马氏体。BTP500 钢板原始奥氏体晶粒细小,平均晶粒尺寸为 10.5 μm,且晶粒大小均匀。BTP500 钢板的硬度(HBW)平均值在 291 ~ 296 之间,比 685 钢板平均值高出 30 左右。

(2)BTP500 钢板的各项力学性能指标达到 Armox 500T 防护钢的水平, -40 ℃ 低温冲击吸收功平均值为 51.6 J,高于 Armox 500T 的冲击吸收功。

(3)BTP500 钢板在较薄厚度的情况下仍具有良好的抗弹性能,为装甲车辆轻量化提供了理想的防护材料。

参 考 文 献

- [1] 朱鹏霄. 一种超高强度钢的微观组织及其力学性能的影响[D]. 沈阳:东北大学,2007.
- [2] 杨烽,吴建鹏,鲍雪君,等. 新型装甲防护钢板焊接工艺研究[J]. 焊接技术,2022,51(6): 54 - 58.
- [3] 翁德伟. 坦克装甲车辆防护材料的研究现状

及发展趋势[J]. 冶金与材料,2019,39(4): 63 - 66.

- [4] Manganello S J, Abbott K H. Metallurgical Factors Affecting the Ballistic Behavior Steel Targets [J]. Journal of Materials, 1972, 7(2): 231 - 239.
- [5] Marvin Backmank E, Werner Goldsmith. The Mechanics of Penetration of Projectiles into Targets[J]. International Journal of Engineering Science,1978,16(1):1.
- [6] 李晓源,时捷,董瀚. 材料因素对装甲钢板抗弹性能的影响[J]. 钢铁研究学报,2008,20(8):1 - 5.
- [7] 董瀚,李桂芬,陈南平. 高强度装甲钢的抗弹性能研究[J]. 钢铁,1996,31(S1):67 - 71.
- [8] 付勇涛,刘静,刘武群,等. 装甲钢抗弹性能数学模型研究[J]. 兵器材料科学与工程,2007,30(5),54 - 57.
- [9] 向继伟,朱继进,凡小都,等. 某轻型防护越野车的防弹方案设计[J]. 汽车科技,2013,22(1):51 - 57.