特种越野车方仓用高强韧BT700E钢板研制*

尹 璐[1,2],陈 林[1],袁晓鸣[2]

(1. 内蒙古科技大学材料与冶金学院,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)

摘 要: 文章针对特种越野车方仓用高强韧钢板的性能要求,设计合理的合金成分体系和冶炼、轧制及热处理工艺路线,生产出的高强韧BT700E钢板显微组织类型为回火索氏体,拉伸、冲击及冷弯性能优良。BT700E钢板经过抗爆防护性能考核,经检验炸件护罩整体及折弯线均未产生裂纹,满足特种防雷车底盘防8 kg TNT级炸药防护性要求,用户反馈良好。

关键词: 高强钢; 显微组织; 热处理; 抗爆防护性能
中图分类号: TG142.41 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)02-0042-03
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.02.011

Development of High Strength and Toughness BT700E Steel Plate for Square Cabin of Special Off-road Vehicle

Yin Lu[1,2], *Chen Lin*[1], *Yuan Xiao-ming*[2]

(1. *School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, 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*)

Abstract: In this paper, the reasonable alloy composition system and smelting, rolling and heat treatment process routes are designed according to the performance requirements of high strength and toughness steel plate for square cabin of special off-road vehicle, the microstructure of produced high strength and toughness BT700E steel plate is tempered sorbite as well as well as the tensile, impact and cold bending properties are good. The BT700E steel plate has been tested for anti-explosion protective performance as well as there are no cracks on both of the whole protective cover of explosive parts and bending line after inspection, which could meet the protective requirements of protecting against 8 kg TNT explosives for special mine-resistant vehicle and user feedback is good.

Key words: high strength steel; microstructure; heat treatment; anti-explosion protective performance

特种越野车应用范围广,适用于执行城市作战、局部冲突、战场指挥、巡逻救护、武装押运等多种军事及非战争任务。随着目前国际和国内形势的日益严峻,市场上对非战争用途防雷特种车辆的需求增加,国外相关人员积极研发防雷反伏击特种战术车[1]。由于特种越野车具有高防护性、高机动性和

* 收稿日期:2020-12-18
作者简介:尹 璐(1986-),女,山东省莱州市人,在读硕士,政工师,现从事工会干事工作。

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

底部防雷等优点，可广泛用于警用巡逻、人员运输。特种战术车的底板主要用于保护车内人员安全，国际上主流特种防雷车的底板大多采用的是瑞典 SSAB 公司生产的 WELDOX 系列高强度钢板[2]，该类钢板具有各向异性小、强塑积高、冲击韧性好、工艺性能好等特点，优良的综合性能使该类钢板具有抵御地雷及简易爆炸装置的能力[3]。

WELDOX 系列高强度钢板拥有优异的综合力学性能，优良的机加工性能以及其整体的经济优越性，我国大多数钢铁企业开始着手自主研发 WELDOX系列钢板。为了加快国产新一代低合金高强度钢的开发，填补包钢目前产品空白，开展 X 轻型战术车用的高强韧 BT700E 钢板研制。对高强韧 BT700E 钢板进行化学成分和生产工艺设计，在生产线组织工业化生产，对生产出的钢板进行全面的组织分析、性能分析测试和关键工艺研究。

1　产品要求和开发设计

1.1　化学成分设计

为了保证高强韧 BT700E 钢板具有优良的综合力学性能，高强韧 BT700E 钢板在合金设计时，需向钢中添加少量的铬、镍、硼等合金元素，保证钢的强度、塑韧性等力学性能。同时为保证使高强韧 BT700E 钢板在回火处理后具有优异的综合性能，成分设计时加入抑制回火脆性的元素 Mo。高强韧 BT700E 钢板的化学成分要求和实际测量值如表 1 所示。

表 1　高强韧 BT700E 钢板的化学成分(质量分数)　　%

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	B	Mo
设计值	0.13～0.15	0.18～0.25	1.10～1.20	≤0.012	≤0.005	0.25～0.35	0.000 8～0.001 5	0.15～0.21
实测值	0.14	0.20	1.15	0.010	0.002	0.30	0.001 0	0.18

1.2　工艺路线设计

针对高强韧 BT700E 钢板的产品要求，同时结合包钢目前的工艺装备水平，生产工艺路线采取转炉冶炼→LF 炉精炼→RH 真空处理→宽厚板生产。冶炼时严格控制钢中气体含量[4]，保证钢水的纯净度。由于钢中没有添加 Nb 元素，因此在轧制过程中无需采用控制轧制。根据相变机制及变形规律特点，高强度防护用钢板采用调质的热处理工艺，以提高高强韧 BT700E 钢板的强度和硬度。主要工艺参数如表 2 所示。

表 2　BT700E 主要工艺参数　　℃

加热温度	终轧温度	淬火加热温度	回火加热温度
1 160～1 200	820～870	880～920	560～600

2　高强韧 BT700E 钢板工业化试制

2.1　产品显微组织检验

对工业试制出的高强韧 BT700E 钢板取样，利用蔡司显微镜及扫描电镜观察显微组织，显微组织见图 1，金相组织均为回火索氏体，显微组织晶粒细小且均匀，细小均匀的组织有利于提高钢板的强韧性。

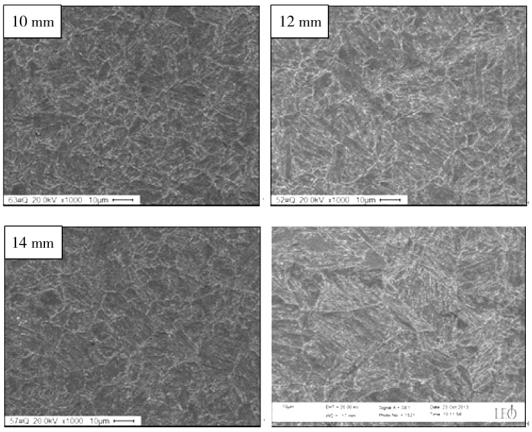


图 1　高强韧 BT700E 钢板显微组织

2.2　夹杂物检验

对工业试制出的高强韧 BT700E 钢板进行扫描电镜分析，对夹杂物的成分进行能谱分析，通过成分判断夹杂物类型，见图 2。结果表明，夹杂物类型主要为 CaS、Al_2O_3、TiN，且含有部分 CaO，夹杂物尺寸为4～5 μm。

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

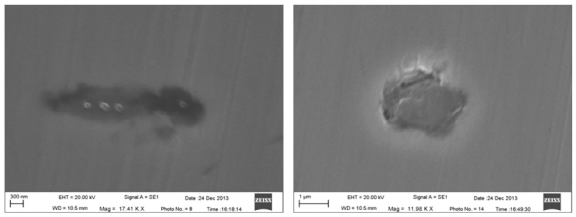


图2 高强韧BT700E钢板夹杂物分析

2.3 物理性能检验

2.3.1 拉伸性能

对工业试制出的高强韧BT700E钢板进行拉伸性能检验，结果见表3。可见BT700E屈服强度、抗拉强度、断后延伸率满足协议要求。

表3 BT700E拉伸性能

钢种	规格/mm	$R_{p0.2}$/MPa	R_m/MPa	A/%	强塑积
协议	4～50	≥700	780～930	14.0	
试验钢	10	796	831	18.5	15 373

2.3.2 冲击试验

工业试制出的高强韧BT700E钢板冲击韧性结果见表4。

表4 BT700E冲击试验

钢种	规格/mm	冲击功(-40 ℃)/J			
		1	2	3	平均值
协议	4～50				69
试验钢	10	192	148	177	172

由表4可见，BT700E冲击功满足协议要求。

2.3.3 弯曲试验

工业试制出的高强韧BT700E钢板弯曲试验采用的弯心直径为2倍板厚，弯曲角度为180°，试验结果见图3，试样弯曲后无裂纹，符合标准要求。

2.4 防爆性能检测

为检验包钢研发的高强韧BT700E钢板能否满足工程化应用要求及防护性能要求[5]，对试验钢进行了加工性能试验及抗爆防护性能考核，如图4所示。经检验炸件护罩整体及折弯线均未产生裂纹，满足特种防雷车底盘防8 kg TNT级炸药防护性要求。



图3 弯曲试验

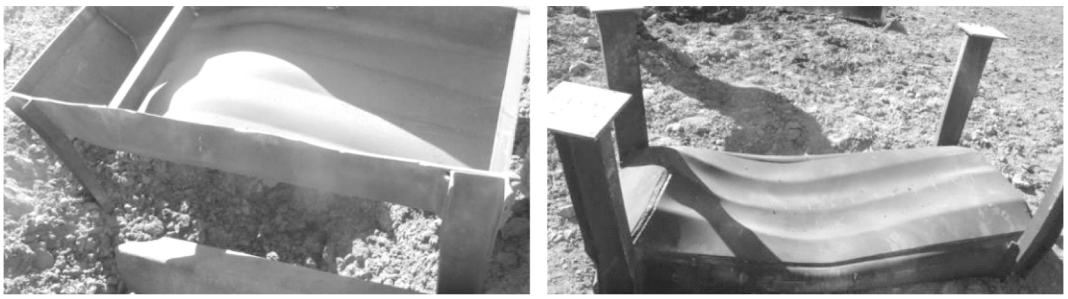


图4 试验钢爆炸件爆炸结果

3 产业化应用

目前，鉴于高强韧BT700E钢板优良的防爆性能及工艺性能满足设计要求及现有生产条件，已在防护型方舱、轻型战术车PT6等产品上进行了应

(下转第75页)

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

界面就能管控各磅房的 UPS。

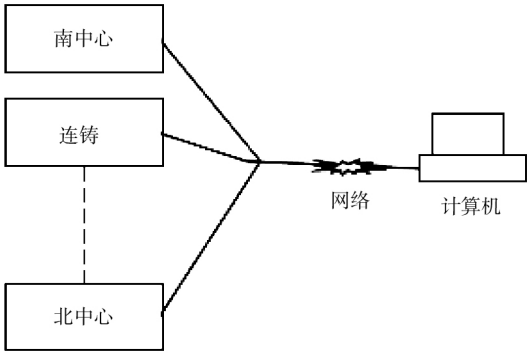


图 3　集群监控网络图

6　结束语

本项目突破了时间、地域的限制，能够将分散的 UPS 统一的管理起来，大大的降低了管理难度。利用网络，实现了远程对 UPS 集群进行放电管理。网络集中监控不受人为因素影响，报警及时准确。UPS 发生报警第一时间定位详细原因并通知用户和形成记录保存，使得用户能够及时处理，避免事故的发生。通过监控平台减少盲目巡检，减少工作量和维护成本。每周实现 7 × 24 h 不间断监控，UPS 运行状况轻松掌握。根据参数的监控分析，得出电池组劣化趋势，确定更换时间。

参　考　文　献

[1] 钱希森. 小型 UPS 原理及应用 [M]. 北京: 科学出版社，2000.
[2] 周志敏. UPS 应用与故障诊断 [M]. 北京: 中国电力出版社，2008.
[3] 陈道喜. C#项目开发教程 [M]. 北京: 机械工业出版社，2020.

(上接第 44 页)

用，高强韧 BT700E 钢板能够满足使用要求，应用效果较好。

4　结论

(1) 高强韧 BT700E 钢板的化学成分设计体系添加少量铬、钼、硼等合金元素，成分设计合理，保证使高强韧 BT700E 钢板在回火处理后具有优异的综合性能。

(2) 高强韧 BT700E 钢板采用工艺路线合理，最优工艺为板坯的加热炉出炉温度为(1 180 ± 20) ℃，淬火加热温度为(900 ± 20) ℃，回火加热温度为(580 ± 20) ℃。

(3) 研制与开发出的高强韧 BT700E 钢板显微组织类型为回火索氏体，综合力学性能优异，经过测试具有优良的防爆性能，应用效果较好。

参　考　文　献

[1] 田志凌. 钢铁材料最新进展 [J]. 焊接，2009，(12)：14 – 19.
[2] 董明水，陈明，秦朱峰. 低合金高强钢 WELDOX700 与 WELDOX900 的焊接工艺 [J]. 机械工人，2006，(6)：45 – 46.
[3] 崔忠圻. 金属学与热处理 [M]. 北京: 机械工业出版社，1993.
[4] 尹士科，王勇，谷野满. 钢中硼化物析出行为 [J]. 钢铁研究学报，2012，24(11)：45 – 49.
[5] 傅杰，朱剑，迪林，等. 微合金钢中 TiN 的析出规律研究 [J]. 金属学报，2000，(8)：801 – 804.

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