卷取温度对工程机械用钢BT600MC性能影响[*1]

魏 淼，卢晓禹，杨维宇

（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： 文章研究了不同卷取温度对高强度工程机械用钢BT600MC显微组织和力学性能的影响。在冶轧实验室，采用控轧控冷工艺轧制化学成分基本相同的3块钢坯，最终卷取温度分别控制在500 ℃、550 ℃和600 ℃，将轧制后的钢板放到模拟卷取炉保温2 h，自然降温。实验结果表明：当卷取温度为600 ℃时，铁素体晶粒更为细小均匀，实验钢的综合力学性能较佳。

关键词： 卷取温度；工程机械用钢；力学性能；显微组织

中图分类号： TG115.21 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2018)02－0073－03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.02.020

Effect of Coiling Temperature on Properties of Steel BT600MC for Engineering Machinery

WEI Miao, LU Xiao－yu, YANG Wei－yu

(*Technical Center of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Inner Mongolia*, *China*)

Abstract: The effect of different coiling temperature on microstructure and mechanical properties of high strength engineering mechanical steel BT600MC is studied. In the smelting and rolling laboratory, three rolling billets with the same chemical composition are rolled by controlled rolling and cooling process, and the final coiling temperature is controlled at 500 ℃, 550 ℃, and 600 ℃ respectively, and after rolling, the steel plates are placed in the simulated coiling furnace for 2 h, and the temperature is cooled naturally. The experimental results show that when the coiling temperature is 600 ℃, the ferrite grain is more fine and uniform, and the comprehensive mechanical properties of experimental steels are better.

Key words: coiling temperature; steel for engineering machinery; mechanical property; microstructure

近年来以“一带一路”、长江经济带等战略为契机，加快了中国工程机械产业发展。随着工程机械的大型化、轻量化，工程机械用钢的强度级别逐渐提高，综合性能要求也不断提升。工程机械是指矿山开采和各类工程施工用的设备，由于使用的环境、条件、对象比较特殊，所用钢材除具有高的屈服强度、好的冷成型等要求以外，还要有优良的焊接性、耐冲击性、耐疲劳性能、低温韧性、耐腐蚀性。工程机械用高强度结构用钢发展趋势向着低屈强比、高塑韧性、提高焊接性能确保疲劳性能等方面发展[1]。目前国内许多钢铁企业通过对高强度钢的化学成分的调配和生产工艺的调节来获得综合性能良好的高强度钢，本文以高强度工程机械用钢BT600MC为研究对象，分析研究卷取温度对高强度工程机械用钢BT600MC的微观组织结构和性能的影响，希望在高强工程机械用钢BT600MC的开发中提供一定借鉴

* 收稿日期：2018－01－24

作者简介：魏 淼(1989－)，女，山西省代县人，助理工程师，现从事热轧板材产品研发工作。

中国知网 https://www.cnki.net

和指导作用。

1 实验材料与方法

实验钢的化学成分见表1。化学成分采用低碳、Ni－Ti微合金设计。C作为钢中重要的元素之一，其含量直接影响钢的韧性、强度和焊接性能。含碳量高，硬度高，但韧性差，热处理开裂倾向大，焊接性较差；含碳量过低，强度也会低。所以在保证钢的强度和韧性的同时，也应考虑钢的焊接性[2]。Nb作为一种重要的微合金化元素，在控制轧制和热机械处理时，会产生显著的晶粒细化和中等的沉淀强化，抑制奥氏体的再结晶，阻碍奥氏体晶粒长大；在轧制过程中可提高再结晶温度，抑制奥氏体的再结晶，使奥氏体晶粒细化；热加工时在非再结晶区用大的形变量增加总的晶界面积，同时由于应变诱导沉淀的作用使这些界面成为相变时的择优形核地点，为γ→α相变晶粒细化奠定基础。Nb还可以在铁素体中沉淀析出，起沉淀强化效果，同时，Nb在焊接过程中阻止热影响区晶粒的粗化[3]。Ti的化学性质很活泼，与碳、氮、硫均有较强的亲和力，TiN在高温形成细小弥散的固态质点，可以细化铸坯的原始奥氏体晶粒，在加热时，细小的TiN颗粒很稳定，能够有效地阻止奥氏体晶粒长大，从而细化组织。

实验钢采用25 kg真空感应炉冶炼，轧制工艺为：将钢锭加热至1 250 ℃，保温4 h后进行轧制，精轧开轧温度950 ℃，卷取温度分别为500 ℃、550 ℃和600 ℃，轧制成品厚度为8 mm，然后将轧制成型的钢板放入模拟卷取炉中，保温2 h。

沿着钢板横向取金相试样，经砂纸研磨和抛光后用4%硝酸酒精溶液进行腐蚀，在Axio observerA1M光学显微镜下观察微观组织。根据GB/T 228.1—2010，金属材料拉伸试验第1部分：室温试验方法[4]，取横向肩宽为20 mm的板拉伸，用INSTRON5989液压拉伸试验机以3.33×10^{-5} m/s的拉伸速度在室温下进行拉伸，根据GB/T 229—2007，金属材料夏比摆锤冲击试验方法[5]，切取纵向5 mm×10 mm×55 mm夏比V型缺口冲击试样，在IN750试验机做－40 ℃低温冲击。

表1 BT600MC钢的化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Als	Nb＋Ti
0.06～0.08	0.15～0.25	1.55～1.65	≤0.015	≤0.005	≥0.020	≤0.150

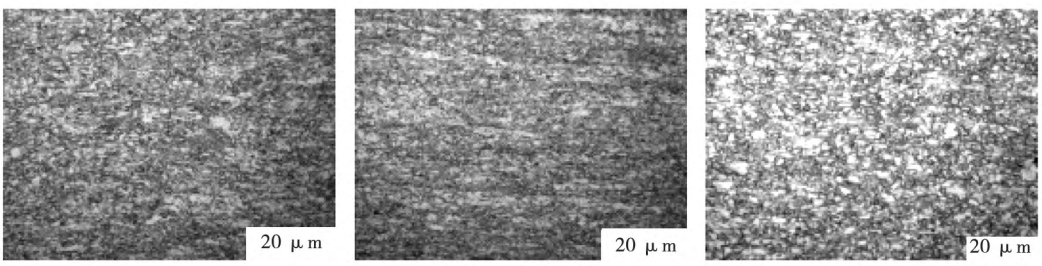
2 实验结果与分析

2.1 实验结果

钢在不同卷取温度条件下的金相组织检验结果见表2，显微组织如图1所示。实验钢在不同卷取温度条件下的力学性能见表3。

表2 不同卷取温度下实验钢组织比例

卷取温度/℃	组织
500	90% B＋10% F
550	70% B＋30% F
600	70% F＋30% P＋B微量



(a) 500 ℃ (b) 550 ℃ (c) 600 ℃

图1 BT600MC钢不同卷取温度下显微组织

中国知网 https://www.cnki.net

表 3　不同卷取温度下实验钢力学性能

卷取温度/℃	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	-40 ℃冲击功/J		
EN 10149—2:2013 [9]	600	650 ~ 820	13.0		≥40.0	
600	616	668	21.5	74.9	87.5	84.3
550	635	685	19.5	84.6	78.9	73.0
500	657	721	18.0	74.9	67.2	70.3

2.2　实验结果分析

从图 1 中可以看出不同卷曲温度下实验钢的显微组织中都存在着贝氏体和铁素体。由表 2 和图 1 可见，在 500 ℃和 550 ℃卷取时，组织中存在大量的贝氏体组织，而在 600 ℃卷取时，组织为铁素体、珠光体和微量的贝氏体。适当的降低卷取温度使过冷度增加，过冷度大时，实验钢晶界及位错等处的临界形核自由能与均匀形核的临界自由能相比逐渐变小，在晶界处越容易形核，相变形核率高，且形核率控制因素大于粗化因素，导致相变后组织更细小；而 γ→α 是扩散型相变，随冷却速度增大，不仅促进了新 α 晶粒的进一步形核，而且延迟了 α 晶粒向未相变 γ 基体中的生长[8]，形核驱动力增大，铁素体形核率增大，晶粒得到细化。

另外，在加热的时候，微细合金析出物比如 Ni(CN)、TiN 等能够通过阻止晶界移动从而达到细化晶粒的目的，而且少量的 TiN 析出物能够有效的控制再结晶之后的晶粒长大[7]。固溶在奥氏体中的 Ni、Ti、V 在相变时或者相变之后作为极微细的碳化物、碳氮化物析出能够使铁素体的强度得到升高[8]。

由表 3 可见卷取温度从 600 ℃降低到 500 ℃时，实验钢的屈服强度从 615 MPa 提高到 657 MPa；抗拉强度从 668 MPa 提高到 721 MPa；伸长率从 21.5% 降低到 18.0%。随着卷取温度的降低，屈服强度、抗拉强度得到提高，伸长率、冲击吸收功降低。

3　结论

(1) 在 500 ℃、550 ℃和 600 ℃三个卷取温度下。试样的性能能均能够满足标准 EN 10149—2:2013[9] 内关于高强度工程机械用钢 BT600MC 的各项性能要求。500 ~ 550 ℃时显微组织以铁素体和贝氏体为主，600 ℃时显微组织以铁素体和珠光体为主，随着温度的降低，贝氏体在组织中所占的面积比例增大，强度升高，延伸率及冲击有所降低。

(2) 由于实验室条件有限，压缩比较小，现场工业生产时，以实验室数据为参考，建议在生产高强度工程机械用钢 BT600MC 时，卷取温度为 550 ~ 600 ℃。在满足强度的同时，能够获得更好的塑性和韧性。

参　考　文　献

[1] 楚觉非，方松，邓想涛. 工程机械用高强度结构用钢研究进展[J]. 江西冶金，2013，33(3)：167 - 173.

[2] 杨峰. PQ600 高强度工程机械用钢热轧工艺研究[D]. 昆明：昆明理工大学，2009.

[3] 衣海龙，杜林秀，王国栋等. 含钛高强度钢变形奥氏体的连续冷却相变[J]. 机械工程材料，2006，30(12)：4 - 6.

[4] GB/T 228.1—2010，金属材料拉伸试验第 1 部分：室温试验方法[S].

[5] GB/T 229—2007，金属材料夏比摆锤冲击试验方法[S].

[6] 李国祯. 现代钢管轧制与工具设计原理[M]. 北京：冶金工业出版社，2006.

[7] J. J. Jonas，I. Weiss. Effective of precipitation on recrystallization in micro - alloyed steels[J]. Met. Sci，1979，13(3)：238 - 245.

[8] W. J. Liu，J. J. Jonas. A stress relaxation method for following carbonitride precipitation in austenite at hot working temperatures[J]. Metall，1988，19(6)：1403 - 1413.

[9] EN 10149—2:2013，冷成型高屈服强度钢热轧制的扁平钢产品热轧制钢的交货技术条件[S].

中国知网　https://www.cnki.net