

## C、Mn、Cr 对中碳 MnB 钢 228 节距履带淬透性的影响

邓通武

(攀钢集团研究院有限公司,攀枝花 617000)

**摘要** 针对碳含量 $\geq 0.30\%$ 的 40SiMn2、35MnTiB 和 30MnTiB 制造的履带板淬火后易出现细小裂纹,不能满足履带板抗断裂性要求。而生产的 23MnB 钢( $\% : 0.20 \sim 0.27C, 0.80 \sim 1.10Mn, \leq 0.20Cr, 0.0005 \sim 0.0030B$ )的淬透性 HRC  $J_{1.5} 42.5 \sim 49.0, J_{13.0} 17.5 \sim 37.0$  达不到 228 节距 HRC  $J_{1.5} 44 \sim 55$  和  $J_{13.0} \geq 35$  的要求,通过 150 kg 中频感应炉试验和 120 t BOF-LF-RH-CC-轧制的工艺试验得出,当钢的成分调整为( $\% : 0.24 \sim 0.30C, 1.10 \sim 1.50Mn, 0.20 \sim 0.50Cr, 0.0005 \sim 0.0030B$ )时,钢的淬透性 HRC  $J_{1.5} = 48.0 \sim 50.0, J_{13.0} = 42.5 \sim 46.5$  可满足 228 节距履带板的淬透性和抗断裂性要求。

**关键词** C Mn Cr 中碳 MnB 钢 履带板 淬透性

## Effect of C, Mn, Cr on Hardenability of Medium Carbon MnB Steel 228 Pitch Crawler Belt

Deng Tongwu

(Research Institute Co Ltd, Pangang Group, Panzhihua 617000)

**Abstract** As the quenched crawler belt manufactured by steel 40SiMn2, 35MnTiB and 30MnTiB ( $C \geq 0.30\%$ ) easily occurs micro-cracks that doesn't meet the requirement of anti-fracture behavior, while the hardenability HRC  $J_{1.5} 42.5 \sim 49.0$  and  $J_{13.0} 17.5 \sim 37.0$  of produced steel 23MnB ( $\% : 0.20 \sim 0.27C, 0.80 \sim 1.10Mn, \leq 0.20Cr, 0.0005 \sim 0.0030B$ ) can't meet the requirement of hardenability HRC  $J_{1.5} 44 \sim 55$  and  $J_{13.0} \geq 35$  for 228 pitch crawler belt, by 150 kg medium induction furnace test and 120t BOF-LF-RH-CC-rolling pilot commercial production it is obtained that as adjusted composition of steel is ( $\% : 0.24 \sim 0.30C, 1.10 \sim 1.50Mn, 0.20 \sim 0.50Cr, 0.0005 \sim 0.0030B$ ), the steel hardenability HRC  $J_{1.5} = 48.0 \sim 50.0, J_{13.0} = 42.5 \sim 46.5$ , it meets the requirements of hardenability and anti-fracture behavior for 228 pitch crawler belt.

**Material Index** C, Mn, Cr, Medium Carbon MnB Steel, Crawler Belt, Hardenability

冶金行业标准 YB/T5034-2005《履带用热轧型钢》中规定的履带板钢牌号有 40SiMn2、35MnTiB 和 30MnTiB, 可用来制造 171 和 203 节距的挖掘机三齿履带板, 以及 216 节距的推土机用单齿履带板。由于 YB/T5034-2005 中各牌号碳含量较高, 履带板淬火后容易出现细小裂纹, 导致实物履带板在使用过程中发生断裂。所以, 2008 年后, 23MnB 几乎代替了 YB/T5034-2005 中的所有牌号来生产不同节距的履带板, 其淬透性也完全能够满足 216 及以下节距履带板的要求。随着我国经济建设的快速发展, 大型履带式工程机械的需求也在迅速增长, 对其履带板的淬透性也提出了更高的要求, 如新设计的 32 ~ 34 吨级大型推土机配套的 228 节距履带板, 采用 23MnB 材质已不能满足其要求。

本课题以 23MnB 钢为基础, 研究了 C、Cr、Mn 等对其淬透性的影响, 并结合攀钢现有的技术水平和装备条件, 成功研制开发出了适合于大型推土机的 228 节距履带板, 其淬透性满足了用户的要求。

### 1 淬透性要求

228 节距履带板是 320 型推土机 (30 ~ 34 吨级) 行走总成关键部件, 与 220 型推土机使用的 216 节距履带板 (18 ~ 20 吨级) 相比, 其板宽、板厚和齿高均有增加, 从而对淬透性的要求更高。

228 节距履带钢板与 216 节距履带板的淬透性要求见表 1。

**表 1 228 和 216 节距履带板的淬透性 (HRC) 要求**  
**Table 1 Requirement of hardenability (HRC) for 228 and 216 pitch crawler belt**

履带板节距	$J_{1.5}$	$J_{11.0}$	$J_{13.0}$	$J_{25.0}$
228	44 ~ 55	-	$\geq 35$	$\leq 36$
216	42 ~ 49	22 ~ 38	-	-

从表 1 可以看出, 228 节距履带板  $J_{1.5}$  的硬度在 216 节距履带板的基础上提高到了 44 ~ 55 HRC, 即提高了淬硬性要求; 其次是将 216 履带板  $J_{11.0}$  的硬度要求提高到了  $J_{13.0}$ , 硬度值要求也大幅提高, 即提

高了 228 节距履带板的淬透性要求。

## 2 23MnB 钢的化学成分及淬透性

攀钢具有多年生产 23MnB 钢的 216 节距履带板的生产经验,为了研究 228 节距履带板的淬透性,首先对 23MnB 钢的化学成分及淬透性进行了统计(统计炉数为 48 炉),化学成分见表 2,末端淬火检验结果见表 3。

表 2 23MnB 钢的化学成分/%

Table 2 Chemical composition of steel 23MnB / %

C	Mn	Si	P	S	B	Cr
0.20 ~ 0.27	0.80 ~ 1.10	0.15 ~ 0.35	≤ 0.030	≤ 0.015	0.000 5 ~ 0.003 0	≤ 0.20

表 3 23MnB 钢末端淬火 HRC 硬度测定结果

Table 3 End quenching test HRC hardness value of steel 23MnB

距淬火端距离/mm	J <sub>1.5</sub>	J <sub>11.0</sub>	J <sub>13.0</sub>	J <sub>20.0</sub>
最小	42.5	22.0	17.5	19.5
最大	49.0	38.0	37.0	27.0
平均	45.4	31.0	25.9	22.0

23MnB 钢的生产工艺流程为:120 t 转炉冶炼→LF 精炼→RH 真空处理→连铸→步进式加热炉加热→950 型钢轧机轧制。

从 23MnB 钢的淬透性统计情况来看,要满足 228 节距履带板淬透性要求,首先要适当提高其淬硬性,即提高 J<sub>1.5</sub> 的硬度;其次是大为提高其淬透性,尤其是 J<sub>13.0</sub> 的硬度值。

影响淬硬性的主要因素是马氏体中的碳含量,随着钢种碳含量的增加,淬火后获得马氏体的正角度增大,晶格畸变严重,相应的硬度高,其淬硬性高。钢中存在的合金元素,虽然可以产生固溶强化现象,但基本不影响马氏体的硬度,所以合金元素对淬硬性的影响不大<sup>[1]</sup>。因此,要满足 J<sub>1.5</sub> 的硬度,必须适当提高钢中的碳含量。钢材的化学成分是影响淬透性最重要的因素之一,凡是在钢中引起“C”曲线右

移或左移的合金元素,都对淬透性有着极大的影响,使“C”曲线右移的元素将提高钢的淬透性<sup>[2]</sup>。因此,可通过添加合金元素的方式来提高钢的淬透性。

## 3 试样制备及试验方法

冶炼(150 kg 中频感应炉)→浇铸(50 kg 钢锭)→钢锭去保温帽及尾部→钢锭加热(燃煤式反射炉)→锻造(Φ30 mm 圆棒)→下料(长 100 mm)→正火(箱式炉内加热,920 °C 保温 40 min)→末端淬火试样加工(加工方法按 GB225-1988 进行)→箱式炉内加热(880 °C 保温 35 min)→末端淬火试验(试验方法按 GB225-1988 进行)→硬度检验。

共冶炼了 6 支钢锭,试验钢化学成分和末端淬火 HRC 值见表 4。其中 1# 的 0.03% Cr 为钢中残余 Cr,2#、3#、4#、5# 和 6# 不同程度的添加了 Cr、Mn。

## 4 试验结果与分析

### 4.1 碳的影响及控制

当 C ≤ 0.40% 时,每提高 0.1% 的碳,RHC 硬度值可提高 6。从表 4 也可以看出,J<sub>1.5</sub> 的硬度值随碳含量增加而增加,钢中的碳含量由 0.28% 提高到 0.37% 时,J<sub>1.5</sub> 的 HRC 硬度值提高了约 6,达 54。因此,结合 23MnB 钢的成分及淬透性统计结果,要满足 J<sub>1.5</sub> 的 HRC 硬度在 44 ~ 55,碳含量可控制在 0.23% ~ 0.37%。

碳对淬透性还具有强烈的影响,在 C ≤ 0.35% 时对淬透性的贡献与锰相当<sup>[4]</sup>。从 1# 试样的淬透性检验结果看,当碳含量为 0.37% 时,钢的淬透性刚好满足技术条件的要求,但此时 J<sub>1.5</sub> 和 J<sub>13.0</sub> 的硬度分别处于技术条件要求的上限和下限,因此,如果仅通过控制钢中碳含量的方式来同时满足 J<sub>1.5</sub> 和 J<sub>13.0</sub> 的硬度要求,需将碳含量控制在 0.37% 左右的极窄范围之内,很难满足工业的批量生产。

并且从履带钢的使用及发展历程来看<sup>[5]</sup>,太高的碳含量对履带钢的使用寿命反而不利,主要是由于钢中碳含量较高,在淬火后容易出现细小裂纹,这

些裂纹在履带板作业过程中易发生扩展而导致履带板的断裂。基于此,从 20 世纪 80 年代(40Mn2Si、45Mn)到 90 年代(35MnTiB、30MnTiB 和 35Mn),再到 2000 年后(23MnB、25MnB 和 1E1813),均有一个较大的

表 4 中频感应炉试验钢的化学成分和末端淬火 HRC 硬度值

Table 4 Chemical composition and end quenching test HRC hardness value of medium induction furnace melted test steels

试样号	化学成分/%							HRC 硬度值			
	C	Si	Mn	P	S	Cr	B	J <sub>1.5</sub>	J <sub>11.0</sub>	J <sub>13.0</sub>	J <sub>25.0</sub>
1#	0.37	0.22	1.10	0.028	0.017	0.03	0.004 8	54.0	41.0	36.0	20.0
2#	0.28	0.33	1.09	0.017	0.010	0.19	0.004 1	48.5	38.0	36.0	-
3#	0.29	0.27	1.12	0.019	0.017	0.39	0.003 7	49.0	46.0	43.0	26.0
4#	0.28	0.34	1.38	0.014	0.012	0.15	0.003 8	48.0	37.0	35.0	-
5#	0.29	0.26	1.41	0.015	0.013	0.20	0.004 1	48.0	45.0	42.0	25.0
6#	0.29	0.29	1.37	0.014	0.010	0.40	0.003 5	48.5	46.0	44.0	30.0

降碳过程,目前,国内外新开发的履带板钢的碳含量均降低到了0.30%以下。

综合以上分析,在228节距履带板中,适当提高碳含量以满足其淬硬性。但为了保证履带钢的抗断裂性,碳不能作为提高淬透性的主要元素,最好控制在0.23%~0.30%。

#### 4.2 铬、锰的影响及控制

除钴以外的大部分合金元素,在钢中溶于奥氏体时,均使奥氏体低温转变曲线向右移动,增大奥氏体的稳定性而减小临界冷却速度<sup>[6]</sup>。从其中以锰的影响最大,其次为钼、铬、铝等。因此,在实验室进行了锰、铬对228节距履带钢淬透性的影响研究。

分析表4中淬火试验的检验结果可以得出:

(1)在其它元素基本相当的情况下,随着钢中锰、铬含量的变化,钢的淬硬性( $J_{1.5}$ 的硬度)基本不受其影响。

(2)2<sup>#</sup>与3<sup>#</sup>试样比较:当钢中其它元素含量相当,Cr含量由0.19%提高到0.39%时, $J_{13.0}$ 的HRC硬度值约提高7。

4<sup>#</sup>与6<sup>#</sup>试样比较:当钢中其它元素含量相当,Cr含量由0.15%提高到0.40%时, $J_{13.0}$ 的HRC硬度值约提高9。

由此表明,Cr的加入能够有效地提高钢的淬透性,当Cr>0.20%时,硬度值出现明显下降的距离可以延迟到 $J_{13.0}$ 以后。

(3)2<sup>#</sup>与5<sup>#</sup>试样比较:当钢中其它元素含量相当,Mn含量由1.09%提高到1.41%时, $J_{13.0}$ 的HRC硬度值约提高6。

3<sup>#</sup>与6<sup>#</sup>试样比较:当钢中其它元素含量相当,Mn含量由1.12%提高到1.37%时, $J_{20.0}$ 的HRC硬度值约提高8。

由此表明,随着钢中Mn含量的增加,钢的淬透性增加。

(4)当C=0.28%~0.29%、Mn=1.10%~1.40%、Cr=0.20%~0.40%时,钢的淬透性能够满足技术条件的要求。虽然5<sup>#</sup>(Cr=0.15%)也能够满足技术条件的要求,但 $J_0$ 刚好处于技术条件的要求的下限,且Cr=0.28%,考虑碳对淬透性的影响,若C≤0.27%,则钢的淬透性很难满足技术条件的要求。因此,228节距履带钢的化学成分可基本确定为/%:0.24~0.30C、1.10~1.50Mn、0.20~

表5 工业生产试验钢的化学成分和末端淬火试验HRC结果

Table 5 Chemical composition and end quenching test HRC hardness value of commercial pilot produced steels

炉号	化学成分/%							HRC硬度值		
	C	Si	Mn	P	S	B	Cr	$J_{1.5}$	$J_{13.0}$	$J_{25.0}$
P08707299	0.26	0.29	1.31	0.014	0.009	0.001 9	0.40	49.0	46.0	33.0
P08707294	0.25	0.28	1.28	0.016	0.010	0.001 9	0.35	48.5	46.5	29.0
P09706880	0.26	0.24	1.23	0.016	0.006	0.001 5	0.40	48.5	45.5	32.5
P09706879	0.28	0.26	1.27	0.015	0.006	0.001 5	0.40	50.0	44.0	32.0
P10604399	0.25	0.24	1.23	0.014	0.012	0.001 5	0.37	48.0	42.5	29.0

0.50Cr。

#### 5 工业试验结果

根据合金元素对钢淬透性的影响和实验室试验结果,确定了适当控制范围,并进行了工业试验,试验钢的化学成分和淬透性检验结果见表5。

试验结果表明,228节距履带板的淬透性良好, $J_{1.5}$ 的HRC值为48.0~50.0、 $J_{13.0}$ 的HRC值≥42.5和 $J_{25.0}$ 的HRC值≤33.0,满足了技术条件的要求。

#### 6 结语

(1)碳是影响淬硬性的关键元素,适当提高碳含量可保证 $J_{1.5}$ 的硬度,但为了保证履带板的抗断裂性,碳不能作为提高淬透性主要元素,需控制在0.30%以下。

(2)Mn、Cr均对淬透性具有强烈的促进作用,根据对钢的淬透性影响分析及实验室试验,确定了Mn、Cr的合理控制范围分别为Mn/%=1.10~1.50、Cr/%=0.20~0.50。

(3)工业试制的228节距履带板的淬透性良好, $J_{1.5}$ 的HRC值在48.0~50.0、 $J_{13.0}$ 的HRC值≥42.5和 $J_{25.0}$ 的HRC值≤33.0,满足了技术条件的要求。

#### 参考文献

- 谷莉,李国芳,邱桂杰.钢淬硬性与淬透性的区分[J].中国冶金教育,2011(6):20-22.
- 狄云.影响钢材淬透性的影响因素[J].金属世界,2004(6):45.
- 安正坤.钢铁热处理[M].北京:机械工业出版社,1974.
- 张庆如,赵秉文,祁兮.机械工程师实用数据简明手册[M].天津:天津大学出版社,1992:113-121.
- 陈小龙.合金元素对23MnB履带钢基础性能的影响[D].昆明:昆明理工大学,2007.
- 傅代真,林惠国,周人俊,等.钢的淬透性手册[M].北京:机械工业出版社,1973.

邓通武(1978-),男,工程师,2002年东北大学毕业,特殊钢新产品开发。E-mail:Dengtw@sina.com

收稿日期:2012-05-25