

含钒非调质预硬型塑料模具钢 48MnV 的开发

邓通武¹ 柯晓涛¹ 胡峰荣²

(1 攀钢集团研究院有限公司, 攀枝花 617000; 2 攀钢集团江油长城特殊钢有限公司技术创新部, 江油 621700)

摘要 通过实验室 50 kg 中频感应炉冶炼试验研究了($\%$): 0.36 ~ 0.45C, 0.42 ~ 0.46Si, 1.41 ~ 1.49Mn, 0.11 ~ 0.15V 非调质预硬型塑料模具钢 C、V 含量对该钢硬度的影响。并根据回归分析开发含钒非调质预硬型模具钢 48MnV($\%$: 0.45 ~ 0.50C, 0.30 ~ 0.60Si, 1.20 ~ 1.40Mn, $\leq 0.020P$, $\leq 0.020S$, 0.15 ~ 0.20V) 以取代调质 P20 塑料模具钢($\%$: 0.35 ~ 0.40C, 0.40 ~ 0.60Si, 0.80 ~ 1.00Mn, $\leq 0.015P$, $\leq 0.015S$, 1.50 ~ 1.80Cr, 0.30 ~ 0.50Mo)。经 110 炉 120 t 转炉-360 mm \times 450 mm 连铸坯- ≤ 85 mm 扁钢轧制-控制冷却速度 0.6 ~ 1.0 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的在线预硬化处理的生产结果表明, 非调质 48MnV 扁钢 HRC 硬度值为 29.5 ~ 33.5, 满足相关技术条件要求。

关键词 非调质预硬型塑料模具钢 48MnV 钒 开发

Development of Non-Quenched-Tempered Vanadium Steel 48MnV for Pre-Hardening Plastic Die

Deng Tongwu¹, Ke Xiaotao¹ and Hu Fengrong²

(1 Research Institute Co Ltd, Pangang Group, Panzhihua 617000; 2 Technology Innovation Department, Jiangyou Great Wall Special Steel Co Ltd, Pangang Group, Jiangyou 621700)

Abstract The effect of C and V content on hardness of non-quenched-tempered pre-hardening plastic die steel ($\%$: 0.36 ~ 0.45C, 0.42 ~ 0.46Si, 1.41 ~ 1.49Mn, 0.11 ~ 0.15V) has been tested and researched by a 50 kg medium frequency induction furnace in laboratory, and according to regression analysis the vanadium non-quenched-tempered pre-hardening plastic die steel 48MnV ($\%$: 0.45 ~ 0.50C, 0.30 ~ 0.60Si, 1.20 ~ 1.40Mn, $\leq 0.020P$, $\leq 0.020S$, 0.15 ~ 0.20V) is developed to replace the quenched-tempered plastic die steel P20 ($\%$: 0.35 ~ 0.40C, 0.40 ~ 0.60Si, 0.80 ~ 1.00Mn, $\leq 0.015P$, $\leq 0.015S$, 1.50 ~ 1.80Cr, 0.30 ~ 0.50Mo). The production results of 110 heats commercial production by 120 t BOF-360 mm \times 450 mm casting- ≤ 85 mm flat rolling-inline pre-hardening treated with controlled cooling rate 0.6 ~ 1.0 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ flowsheet show that the HRC hardness value of non-quenched-tempered flat of steel 48MnV is 29.5 ~ 33.5 to meet the requirement of relative specification.

Material Index Non-Quenched-Tempered Steel 48MnV for Pre-Hardening Plastic Die, Vanadium, Development

预硬型塑料模具钢可以直接使用已经预硬处理的模块、扁钢进行加工, 避免了加工后再热处理所造成的各种缺陷, 从而提高了模具的制作精度, 同时缩短了制作周期。预硬型塑料模具钢常用牌号为 P20 (国标牌号 3Cr2Mo)、718 (国标牌号 3Cr2NiMo)。P20^[1] 为含 (0.28% ~ 0.40%) C、(1.40% ~ 2.00%) Cr、(0.30% ~ 0.55%) Mo 的 CrMo 钢, 718^[1] 为含 (0.30% ~ 0.40%) C, 并在 P20 基础上添加 (0.80% ~ 1.20%) Ni 的高性能塑料模具钢。但以上钢种合金含量高, 成本偏高, 难以满足市场对低成本塑料模具钢的需求。

非调质塑料模具钢是一种成本低, 无需调质处理, 锻、轧后空冷即可获得较好强韧性的塑料模具钢。钢不仅有生产工艺简单、节能、高效的特点, 而且有良好的力学性能和切削加工性能, 并可避免模具加工以后在进行调质处理所造成的变形、开裂、脱碳等缺陷^[2-3]。国内对非调质塑料模具钢的开发较

晚, 牌号较少, 不能满足市场和用户需求。

本文开发的含钒非调质预硬型塑料模具钢是用于替代 P20 塑料模具钢的一种钢种, 且用户要求的最低硬度略高于 P20 钢。针对用户提出的技术要求, 采用 Mn-V 系钢的成分体系进行了钢种设计。与 P20 钢相比, 大幅度降低了 Cr 含量, 并取消了 Mo 元素, 同时添加了一定的 V, 在保证模具钢性能的基础上, 降低了钢的成本。

通过实验室基础研究、工业试制, 成功研发出用于替代 P20 预硬型塑料模具钢的 48MnV 非调质塑料模具钢, 以满足过去采用 P20 塑料模具钢的使用工况和质量要求, 降低了用户使用成本, 为用户提供了一种新选择, 同时丰富了国内非调质预硬型塑料模具钢的品种。

1 技术要求

技术条件要求所开发的非调质预硬型塑料模具

钢的交货状态为预硬态。扁钢的交货硬度为 29 ~ 35 HRC。

2 成分设计思路及合金选择

2.1 设计思路

以 P20 预硬型塑料模具钢性能为目标,通过合金元素的合理选择,在保证钢的性能条件下,大幅度降低钢的成本。

为了降低塑料模具钢的成本,试验钢化学成分考虑在 C-Mn 钢的基础上,采用钒微合金化方法,通过增加 C 含量和采用钒微合金化技术,在保证所需性能的前提下,取消或尽可能减少 Mo、Cr 等贵重合金元素的使用量,最大程度降低塑料模具钢的成本。

2.2 合金元素作用及选择

(1)碳。碳是主要强化元素,在保证一定塑韧性的前提下,适当提高碳含量可以显著增加钢的强度和硬度。但碳含量过高可能会导致强度和硬度过高,加工困难,一般 C 含量应控制在 0.50% 以下。

(2)硅。具有较强的固溶强化作用,可以提高钢的硬度和强度,但同时也显著降低钢的塑性和韧性。我国研制的铁素体-珠光体组织类型的非调质钢,硅含量一般不超过 0.6%。

(3)锰。锰主要起固溶强化作用,可提高钢的强度和硬度,还可保证一定的韧性,具有提高钢的淬透性,改善钢的热加工性能的作用。锰一般不超过 1.50%。

(4)钒。钒是强碳化物形成元素之一,添加微量钒能显著提高沉淀强化作用,同时由于其特有的细化晶粒作用,可以使钢保持细晶粒组织,从而弥补了由于沉淀强化带来的塑性和韧性的损失,可以保证钢具有良好的综合力学性能。在含钒非调质钢中,当 V 含量低于 0.06% 时,将不利于发挥 V 的作用,且性能不稳定,但过多的钒强化效果减弱。

3 回归分析

攀钢对于含钒非调质钢的开发具有丰富的经验,通过大量的试验研究和数据整理,得出了非调质钢硬度与化学成分回归方程,为进一步增强成分设计的针对性,首先采用该回归方程进行了初步计算,以分析非调质钢硬度和化学成分的关系,为非调质预硬型塑料模具钢的成分设计提供指导和依据。

攀钢得出的非调质钢硬度与化学成分的回归方程^[4]:

$$HRC = -9.36 + 41.44C + 8.46Mn + 61.11V + 0.0041N + 0.0763R \quad (1)$$

式中:HRC-洛氏硬度;R-800~600℃平均冷却速度/(℃·s⁻¹)。

适用成分(%)范围:0.16~0.50C,0.20~0.50Si,0.80~1.80Mn,0.06~0.20V。

由公式(1)可见,C和V均表现出对硬度有较大的影响,另外,随冷却速度的增加,钢的硬度随之提高。

根据公式(1)绘图分析了C含量和V含量对钢硬度的影响,C、V含量与硬度的关系分别见图1和图2。为了充分发挥V的作用,且确保非调质钢的性能稳定性,将V含量设计为≥0.06%。

由图1可见,随C含量的增加,钢的硬度随之增加。要获得29HRC以上硬度的钢,C含量至少应在0.38%以上,此时钒含量应保证在0.20%以上,但V含量较高,不利于成本的控制;C含量在0.45%时,此时钒含量应保证在0.15%以上;如C含量增加到0.50%时,V含量应保证在0.12%

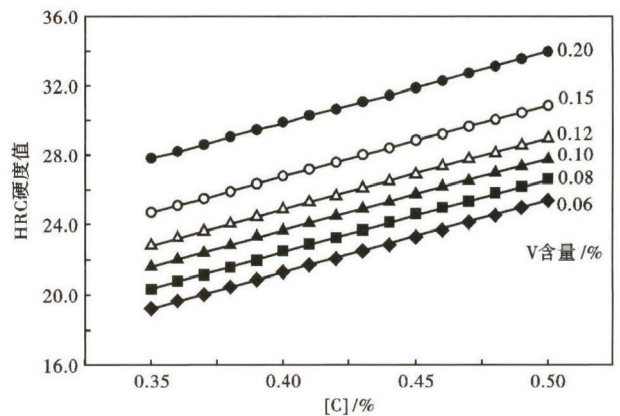


图 1 C 含量对含钒非调质模具钢硬度的影响

Fig. 1 Effect of C content on hardness of non-quenched-tempered vanadium die steel

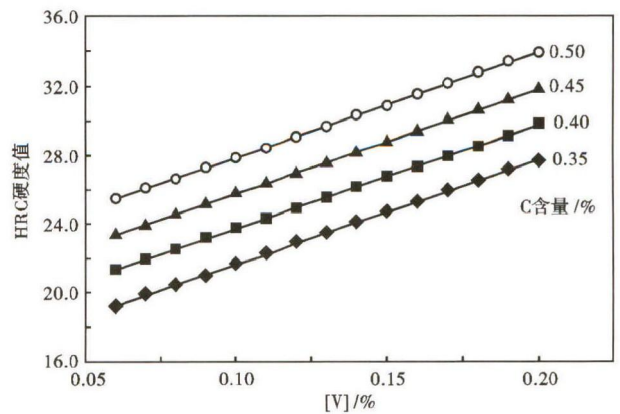


图 2 V 含量对含钒非调质模具钢硬度的影响

Fig. 2 Effect of V content on hardness of non-quenched-tempered vanadium die steel

以上。

从 V 含量与硬度的关系看,随 V 含量的增加,钢的硬度随之增加。其规律同 C 含量与硬度的关系相似。

从回归方程看,碳是提高钢材硬度较为有效且最为经济的方法,但过高的碳含量,对于钢材的韧性极为不利,将增加钢材的火焰切割敏感性、降低其焊接性能,同时在模具的使用过程中容易引起开裂、掉块等,导致模具报废,大大地降低了模具的使用寿命。为了确保非调质钢的综合力学性能,碳通常控制在 0.50% 以下。结合图 1 和图 2, C 含量可控制在 0.45% ~ 0.50%。当 C 含量为 0.45% 时,此时 V 含量需控制在 0.15% 以上。

通过以上分析,可初步确定非调质塑料模具钢的化学成分下限,再次采用回归方程(1)对硬度值进行预测,见表 1。

4 实验室试验

4.1 试验材料及方法

为了对表 1 设计的化学成分的验证和优

化,进行了实验室试验,共设计 3 个化学成分的试验钢,试验钢的化学成分见表 2。

试验材料的制备:50 kg 中频感应炉冶炼→浇铸钢锭(30 kg)→感应炉加热→锻造(Φ25 mm 圆棒)→锻后空冷→检验。

4.2 实验室试验结果

试验钢锻造后空冷的拉伸性能和硬度检验结果见表 2。

对比 1* 和 2* 试验钢,在其它成分基本相同的情况下,增加碳含量可提高钢的强度和硬度,碳含量增加 0.1%,可提高抗拉强度和硬度分别约 40 MPa 和 3 HRC。

表 1 含钒非调质模具钢化学成分的初步设计方案及硬度值预测

Table 1 Preliminary designing scheme of chemical composition and predicting hardness value for non-quenched-tempered vanadium die steel

化学成分/%						HRC
C	Si	Mn	P	S	V	硬度值
≥0.45	≥0.30	≥1.20	≤0.020	≤0.020	≥0.15	29.0

表 2 Φ25 mm 空冷试验含钒非调质钢的化学成分和力学性能

Table 2 Chemical composition and mechanical properties of Φ25 mm air cooled tested non-quenched-tempered vanadium steel

试验钢	化学成分/%						力学性能					
	C	Si	Mn	P	S	V	Als	R_{e1} /MPa	R_m /MPa	A/%	Z/%	HRC 值
1*	0.36	0.46	1.41	0.021	0.014	0.11	0.022	575	800	22.0	63.0	23.0
2*	0.45	0.45	1.45	0.022	0.015	0.11	0.011	710	840	20.0	56.0	26.0
3*	0.45	0.42	1.49	0.024	0.022	0.15	0.002	625	885	17.5	47.5	30.0

对比 2* 和 3* 试验钢,在 C、Si、Mn 含量相当的情况下,随钒含量的增加,钢的抗拉强度和硬度增加。钒含量每增加 0.01%,可提高抗拉强度和硬度分别约 10 MPa 和 1.0 HRC。

由 3* 试验钢可见,当试样钢的化学成分基本满足表 1 最低化学成分设计时,不经过调质处理试验钢的硬度能够满足技术条件的要求,说明化学成分的初步设计合理可行。

结合回归分析计算、实验室试验结果和工业生产条件,非调质预硬型塑料模具钢的化学成分设计见表 3,预计 HRC 硬度值为 29 ~ 35.5。

5 工业试制

5.1 工艺路线

铁水预处理→120 t 转炉冶炼→LF→RH→2* 方坯连铸→360 mm × 450 mm 连铸坯→扁钢轧制→在线预硬化处理→成品。

表 3 开发的含钒非调质塑料模具钢 48MnV 的化学成分/%
Table 3 Chemical composition of developed non-quenched-tempered vanadium steel 48MnV for plastic die / %

C	Si	P	S	Mn	V
0.45 ~ 0.50	0.30 ~ 0.60	≤0.020	≤0.020	1.20 ~ 1.40	0.15 ~ 0.20

实验室试验的圆钢规格较小,采用空冷即可达到技术条件的要求,而工业生产的扁钢厚度规格较多,为了使热轧扁钢的硬度满足技术条件的要求,且断面硬度均匀,要求终轧温度在 850 ~ 900 °C,并根据扁钢厚度采取不同的冷却工艺进行在线预硬化处理,冷却速度控制在 0.6 ~ 1.0 °C/s。不同厚度扁钢的冷却方式见表 4。

5.2 扁钢硬度

采用表 3 的化学成分生产的 48MnV 扁钢与 P20 的硬度分布情况见图 3,其中 P20 的样本数为 84 炉,本文设计的 48MnV 样本数为 110 炉。

表 4 不同厚度扁钢轧后的冷却工艺

Table 4 Cooling process for different thickness slab after finishing rolling

厚度/ mm	终轧温度/ ℃	冷却速度/ (℃·s ⁻¹)	冷却工艺
≤25	850~900	0.6~1.0	空冷
>25~50	850~900	0.6~1.0	穿水+空冷
>50~70	850~900	0.6~1.0	穿水+雾冷+空冷
>70~85	850~900	0.6~1.0	高压水冷+穿水+雾冷+空冷

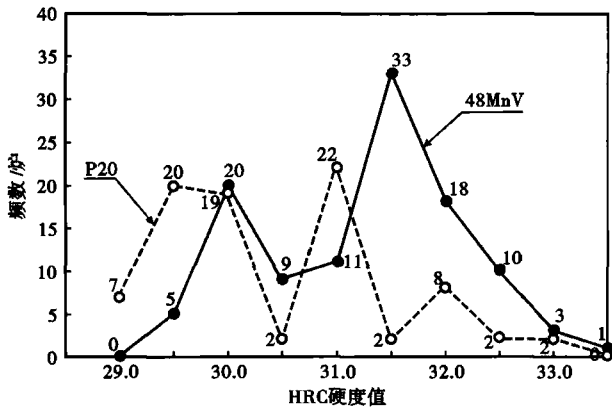


图 3 调质塑料模具钢 P20 和非调质预硬化塑料模具钢 48MnV 的硬度值分布

Fig. 3 Distribution of hardness value of quenched-tempered plastic die steel P20 and non-quenched-tempered pre-hardening plastic die steel 48MnV

表 5 调质塑料模具钢 P20 的化学成分/%

Table 5 Chemical composition of quenched-tempered steel P20 for plastic die/%

C	Si	P	S	Mn	Cr	Mo
0.35~0.40	0.40~0.60	≤0.015	≤0.015	0.80~1.00	1.50~1.80	0.30~0.50

调质塑料模具钢 P20 的化学成分见表 5, 硬度检验试样按照 YB/T094-1997 进行调质处理(850 ~

880 ℃油冷淬火+550~600 ℃空冷回火)。

48MnV 是经过在线预硬化处理的热轧扁钢上进行取样检验。

从扁钢硬度检验结果看,按本文设计的化学成分生产的 48MnV 扁钢硬度在 29.5~33.5 HRC,平均为 31.3 HRC,其下限和平均值均比 P20 略高,完全满足技术条件要求。

6 结论

(1)通过回归方程的计算,并在实验室试验的基础上,提出了满足预硬型塑料模具钢技术条件要求的 Mn-V 系成分体系和各元素的控制范围。

(2)工业生产结果表明,采用本文设计的 48MnV 含钒非调质预硬型塑料模具钢扁钢的 HRC 硬度值在 29.5~33.5,比 P20 略高,能够满足技术条件的要求,且吨钢合金成本大幅降低。

参考文献

[1] YB/T094-1997. 塑料模具用扁钢[S]. 北京:中国标准出版社, 2000.

[2] 吴晓春,周宏,娄德春,等. 易切削非调质塑料模具钢的研究[J]. 钢铁研究学报,1996,8(1):29-33.

[3] 陈再枝,马党参. 塑料模具钢应用手册[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

[4] 董成瑞,任海鹏,金同哲. 微合金非调质钢[M]. 北京:冶金工业出版社,2000:122-123.

邓通武(1978-),男,硕士生(重庆大学),高级工程师,2002年东北大学(本科)毕业,优特钢新产品开发。

E-mail:dengt@ sina. com

收稿日期:2016-04-25

欢迎订阅 2017 年《特殊钢》杂志

全国各地邮局均可订阅(可破订)

邮发代号:38-183

定价:16.00 元/期 96.00 元/年

邮编:435001

地址:湖北省黄石市黄石大道316号新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社