

· 工艺材料进展 ·

高速钢磨屑直接还原铁冶炼新型模具钢 W4Mo3Cr4VRE

袁守谦 连文敬 钟庆文 张 艇

(西安建筑科技大学冶金工程学院, 西安 710055)

摘 要 在 250 kg 感应炉, 利用高速钢磨屑直接还原铁(海绵铁% : 0.44C-4.62W-3.27Mo-2.2Cr-0.98V), 配加一定含量高速钢车屑废钢(% : 0.87C-3.50W-1.30Mo-1.50Cr-0.60V), 冶炼成一种新型模具钢 W4Mo3Cr4VRE(% : 0.78~0.88C, 3.50~4.50W, 2.50~3.50Mo, 3.80~4.40Cr, 1.10~1.60V, 0.15~0.25RE) 再经电渣重熔。检验结果表明, 电渣重熔后, 该钢 180 °C 淬火 + 250 °C 2 次回火, HRC 硬度值 ≥ 60 , 冲击韧性 $\geq 49 \text{ J/cm}^2$; 当 1150 °C 或 1180 °C 淬火 + 560 °C 2 次回火时, 其 HRC 硬度值达 66。该实验结果证实了采用精选、还原烧结、电炉配料的冶炼工艺对磨屑的回收利用是可行的, 生产的新型钢能满足耐火制品模具使用性能的要求。

关键词 高速钢磨屑 直接还原 W4Mo3Cr4VRE 模具钢

New Die Steel W4Mo3Cr4VRE Smelting by using High Speed Steel Filings of Grinding DRI

Yuan Shouqian, Lian Wenjing, Zhong Qingwen and Zhang Ting

(School of Metallurgy and Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055)

Abstract A new die steel W4Mo3Cr4VRE (0.78 ~ 0.88C, 3.50 ~ 4.50W, 2.50 ~ 3.50Mo, 3.80 ~ 4.40Cr, 1.10 ~ 1.60V, 0.15 ~ 0.25RE) was smelted by using high speed steel filings of grinding DRI (sponge iron 0.44C-4.62W-3.27Mo-2.20Cr-0.98V) with definite amount scrap of high speed steel turnings (0.87C-3.50W-1.30Mo-1.50Cr-0.60V) in a 250 kg induction furnace and refined by ESR. Examination results showed that with 1180 °C quenched + 250 °C double tempered the HRC hardness value of ESR steel was ≥ 60 , toughness impact $\geq 49 \text{ J/cm}^2$, and with 1150 °C or 1180 °C quenched + 560 °C double tempered, the HRC hardness value of ESR steel was up to 66. The study results confirm that it is available to recover and reuse the filings of grinding by magnetic separation, direct reduction and electric furnace melting, and the produced new die steel can meet the requirement of application performance of refractory products die.

Material Index High Speed Steel Filings of Grinding, DRI, Die Steel W4Mo3Cr4VRE

目前, 我国工具、量具、刀具制造业每年要使用大量的合金工具钢、高速钢。因产品精度、光洁度要求都比较高, 一般采用砂轮磨床加工, 在加工过程中产生大量的合金钢磨屑。由于高速钢磨屑中含有大量的 W、Mo、Cr、V 等贵重合金元素, 而这些元素对于细化钢的晶粒, 提高钢的红硬性、耐磨性、抗冲击性等有显著作用, 是特钢生产中不可缺少的元素^[1]。因此, 高速钢磨屑具有很高的回收利用价值。

模具是耐火制品生产过程中必不可少的工具, 也是生产中主要的消耗件之一, 模具钢主要考核其耐磨性, 而材料的耐磨性由其硬度、强度与韧性的配合所决定^[2]。在耐火材料行业中, 需要耐磨性高、韧性好、成本低的模具材料。所以拟试验开发一种充分利用磨屑制成的海绵铁, 冶炼一种适合耐火材料行业的特种模具。

1 新型钢成分设计

随着钨钼钒资源日趋匮乏, 各国越来越重视这

类元素。这类合金元素(W、Mo、V)在合金钢中对某些钢种的使用性能与加工工艺性能起着决定性的作用。在成本方面, 钢中含有的合金元素越少, 成本就越低。所以在满足使用性能与加工工艺性能要求的条件下, 合金元素含量越少越好。

稀土元素在钢中有脱氧除气, 脱硫, 改变夹杂物形态, 使晶界净化, 细化铸态组织等作用^[3]。钛加入高速钢中可以细化晶粒, 提高韧性与硬度^[4]。因此, 确定新型钢的成分为在 W6Mo5Cr4V2 的基础上适当降低合金元素含量, 加入适量 RE 或 Ti, 其化学成分列于表 1。

2 试验方法

2.1 原料

在磨床加工中, 磨屑、机床乳化液油质和砂轮屑混在一起, 低温焙烧去除油质时, 使磨屑表面发生了大量氧化。在冶炼时, 因磨屑中杂质很多, 不能直接入炉重熔, 所以用直接还原的方法先将其还原成

表1 新型模具钢的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of new die steels / %

钢种	C	W	Mo	Cr	V	S	P	Mn	Si	Ti	RE
W4Mo3Cr4VRE	0.78~0.88	3.50~4.50	2.50~3.50	3.80~4.40	1.10~1.60	≤0.030	≤0.030	≤0.40	0.30~0.80	-	0.15~0.25
W4Mo3Cr4VTi	0.78~0.88	3.00~4.00	2.00~3.00	3.80~4.40	1.10~1.60	≤0.030	≤0.030	≤0.40	0.30~0.80	0.05~0.15	-

海绵铁。

为降低海绵铁杂质含量,增加导电性,对烧结海绵铁的工艺采取了如下措施:

(1)在选料上加大精选力度。由于磨屑比较细,易产生磁链。精选采用金属细粒分选机。

(2)在还原烧结上采用固定罐直接还原法。倒

焰窑作加热装置,用粉煤作还原剂,磨屑环层装入耐火罐中,内外装粉煤。

2.2 配料

配料用20%的磨屑烧结得到的海绵铁与80%的车屑,化学成分列于表2。

2.3 冶炼

表2 感应炉冶炼原料及电渣重熔后钢锭的化学成分/%

Table 2 Chemical Compositions of charging for induction furnace melting and ESR ingot / %

品种	C	W	Mo	Cr	V	S	P	Mn	Si	Ti	RE
海绵铁	0.44	4.62	3.27	2.20	0.98	0.030	0.028	0.32	0.32	-	-
车屑废钢	0.87	3.50	1.30	1.50	0.60	0.025	0.026	0.38	0.35	-	-
重熔钢1(W4Mo3Cr4VTi)	0.80	3.76	2.50	4.02	1.25	0.020	0.021	0.32	0.34	0.10	-
重熔钢2(W4Mo3Cr4VRE)	0.81	3.69	2.58	4.01	1.27	0.021	0.026	0.28	0.62	-	0.15

在250 kg感应炉上进行冶炼,浇注成 $\Phi 75$ mm \times 1 900 mm的电极棒,然后在70 kg电渣炉上重熔冶炼电极棒,为防止稀土与钽在电渣重熔中损失过大,重熔过程中不断用铝粉脱氧。电渣重熔后钢锭的成分列于表2。

2.4 热处理及机械加工

在63 kW退火炉中退火,870 $^{\circ}$ C下保温3 h,然后随炉冷却,500 $^{\circ}$ C以下出炉。锻造退火后制成10 mm \times 10 mm \times 55 mm的标准试样。分别对试样进行淬火、回火处理。淬火之前采用2次预热,预热温度分别为560 $^{\circ}$ C、840 $^{\circ}$ C,预热时间为5 min。

3 试验结果及分析

3.1 冶炼分析

(1)冶炼中发现渣比较稠,颜色为蓝黑色。这是由于海绵铁中仍有不少氧化物存在。在感应炉冶炼时,炉内还原能力比较弱,氧化物不易还原,这时渣含氧比较多,渣的颜色表现为蓝黑色。而海绵铁中含有比较多的 Al_2O_3 、 SiO_2 、 V_2O_5 、 Cr_2O_3 。因此,渣比较稠,渣-铁不易分离。

(2)因原料差异,冶炼成分波动比较大。应待原料全部熔清并还原后,及时取样,调整成分。

(3)海绵铁金属收得率为85%左右,低于车屑废钢的金属收得率。其原因是海绵铁含6%~8%的 Al_2O_3 · SiO_2 等杂质,导致收得率低,而且海绵铁含有少量的铁氧化物,会在冶炼扒渣时带走。

3.2 机械性能分析

(1)淬火温度对硬度、冲击韧性的影响。

在不同的温度淬火处理,560 $^{\circ}$ C 2次回火后,铸态W4Mo3Cr4VRE、W4Mo3Cr4VTi和锻态W4Mo3Cr4VRE、W4Mo3Cr4VTi等4种试样的硬度和冲击韧性与淬火温度的关系见表3。

从表3中可以看出,随着淬火加热温度的升高,在560 $^{\circ}$ C 2次回火后硬度值随之增大。这是由于在淬火加热温度较高时,残余碳化物更多地溶入奥氏体中,经过560 $^{\circ}$ C 2次回火之后,碳化物沉淀析出,这些碳化物很稳定,难以聚集长大,提高了硬度。而且一部分碳及合金元素也从残余奥氏体中析出,从而降低了残余奥氏体中碳及合金元素含量,提高了马氏体转变温度;当随后冷却时,就会有部分残余奥氏体转变成马氏体,使硬度得到提高。

从表3中还可以看出,随着淬火加热温度的升高,试验钢的冲击韧性呈下降趋势。这是由于随着淬火温度的升高,碳化物愈来愈多地固溶于基体中,低碳低合金的马氏体韧性比高碳高合金的马氏体韧性好,而且晶粒也愈来愈大,因此韧性会下降。

(2)回火温度对硬度、冲击韧性的影响。

图1为锻造状态试验模具钢W4Mo3Cr4VTi和W4Mo3Cr4VRE在1 180 $^{\circ}$ C淬火、不同温度回火后的冲击韧性和HRC硬度值。

从图1中可以看出,试验钢在低温回火时韧性

表 3 试验模具钢 W4Mo3Cr4VTi 和 W4Mo3Cr4VRE 在不同温度淬火 + 560 °C 2 次回火的机械性能

Table 3 Mechanical properties of test die steel W4Mo3Cr4VTi and W4Mo3Cr4VRE quenched at different temperature + double tempered at 560 °C

试验钢	淬火温度/ °C	淬火硬度 (HRC)	回火韧性/ (J · cm ⁻²)	回火硬度 (HRC)
铸态 W4Mo3Cr4VTi	1 060	63.0	12.0	60.0
	1 110	64.0	13.0	62.0
	1 150	63.8	12.0	64.0
	1 180	64.0	14.5	63.8
	1 210	64.5	7.0	64.0
铸态 W4Mo3Cr4VRE	1 060	66.0	13.0	57.0
	1 110	65.0	12.0	64.5
	1 150	65.0	17.5	65.0
	1 180	62.2	19.0	65.5
	1 210	59.0	4.5	66.0
锻态 W4Mo3Cr4VTi	1 060	63.0	49.0	60.0
	1 110	65.2	48.0	62.0
	1 150	65.8	25.0	63.5
	1 180	64.0	11.0	64.0
	1 210	64.0	15.0	65.0
锻态 W4Mo3Cr4VRE	1 060	65.0	50.0	58.0
	1 110	64.0	48.5	63.0
	1 150	63.0	37.0	66.0
	1 180	62.0	33.5	66.0
	1 210	61.0	14.5	66.2

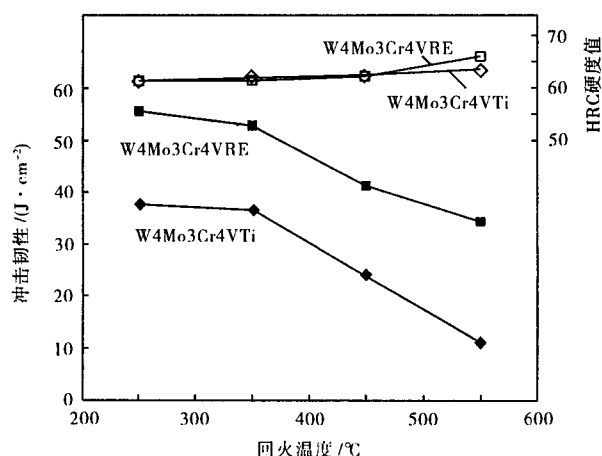


图 1 回火温度对试验模具钢 W4Mo3Cr4VTi 和 W4Mo3Cr4VRE 冲击韧性和 HRC 硬度值的影响

Fig. 1 Effect of tempering temperature on impact toughness and HRC hardness value of test die steel W4Mo3Cr4VTi and W4Mo3Cr4VRE

较好, 硬度较低, 随着回火温度的升高, 韧性降低, W4Mo3Cr4VTi 钢冲击功由 250 °C 回火的 38.0 J 降至 560 °C 回火的 11.0 J, W4Mo3Cr4VRE 钢冲击功由 250 °C 回火的 55.5 J 降至 560 °C 回火的 33.5 J, W4Mo3Cr4VTi 和 W4Mo3Cr4VRE 钢的 HRC 硬度值由 250 °C 回火的 61 分别提高至 560 °C 的 64 和 66。这是由于在 200 °C 以下回火时, 马氏体几乎不发生转变, 在 250 °C、350 °C 这样低的回火温度下马氏体

转变微弱, 析出 ϵ 相碳化物相当少。这时组织应力又部分消除, 所以韧性好, 而硬度低。当 500 °C 以上回火时, 马氏体转变为析出大量细小合金碳化物的回火马氏体, 残余奥氏体冷却时转变为马氏体, 这就使钢得到了二次硬化, 所以硬度提高, 韧性下降。

从图 1 中还可以看出, W4Mo3Cr4VRE 的韧性比 W4Mo3Cr4VTi 高。这是因为稀土元素有细化晶粒、稳定奥氏体和去除钢中夹杂物等综合作用, 使得 W4Mo3Cr4VRE 钢的韧性有所提高。

该模具经西北耐火厂、洛阳耐火材料厂等厂家实际应用, 其使用寿命较碳钢模具提高了 12 ~ 14 倍, 节省了模具费用和模具更换时间, 提高了产量。

4 结论

(1) 用处理过的磨屑 (海绵铁) 20% 配加车屑冶炼新型耐火制品模具钢是可行的。金属收得率为 85% 左右。如果精选与烧结工艺再改进可增加海绵铁的配量。

(2) 为了充分利用磨屑且满足新钢种性能要求, 新型模具钢 W4Mo3Cr4VRE 的成分 (%) 为: 0.78 ~ 0.88C、3.50 ~ 4.50W、2.50 ~ 3.50Mo、3.80 ~ 4.40Cr、1.10 ~ 1.60V、0.30 ~ 0.80Si、 ≤ 0.40 Mn、0.15 ~ 0.25RE、 ≤ 0.030 S、 ≤ 0.030 P。

(3) 新型模具钢 W4Mo3Cr4VRE HRC 硬度值 ≥ 60 , $a_k \geq 49$ J/cm², 性能要求的最佳热处理制度为 1 180 °C 淬火加 250 °C 回火 2 次; 如果对 a_k 要求不高, 可采用 1 150 °C 或 1 180 °C 淬火加 560 °C 回火 2 次, 这会使硬度提高, HRC 硬度值达到 66。

(4) 试验模具钢加稀土合金比加钛合金的效果好, 2 种合金对硬度的影响差别不明显, 但加入稀土合金比加入钛合金对改善韧性的效果更好。

特耐制品生产用高性能模具“九五”攻关项目 (96-2E01-19)

参考文献

- 1 夏文堂, 王达宁, 夏建军. 高速钢废磨屑直接冶炼 M2 高速钢的试验探讨. 中国资源综合利用, 2003(9): 15
- 2 杨钢, 沈梨庭, 张清. 显微组织对磨料磨损性能的影响. 钢铁研究学报, 1991(S2): 13
- 3 邓玉昆, 陈景榕, 王世章. 高速工具钢. 北京: 冶金工业出版社, 2002
- 4 郭耕三. 高速钢及其热处理. 北京: 机械工业出版社, 1985

袁守谦 (1950-), 男, 教授, 从事特钢新技术和铁合金冶炼新技术研究。

收稿日期: 2006-05-06