

## 3Cr2W8V 热作模具钢的稀土合金处理

陈 列 佐 辉 苗红生 尹良求

(西宁特殊钢股份有限公司, 西宁 810005)

**摘 要** 采用 15 t EAF 冶炼, 25 t LF 精炼, 740 kg 铸锭锻制成  $\Phi 110$  mm 的 3Cr2W8V 钢材。在 LF 精炼后期, 钢中氧含量为  $29 \times 10^{-6}$ , 加入 0.048% RE 合金(%: 21 ~ 24RE, 44Si, 3Mn, 5Ca, 3Ti, 余 Fe) 进行稀土合金处理, 稀土元素的回收率为 30.78%。检验结果表明, 进行稀土处理能够有效地改善 3Cr2W8V 模具钢共晶碳化物偏析, 并显著减少 P、Pb、Sn、As、Sb 等有害元素在晶界的偏析。

**关键词** 3Cr2W8V 热作模具钢 稀土元素 共晶碳化物 残余有害元素

## Rare Earth Alloying Treatment of Hot Working Die Steel 3Cr2W8V

Chen Lie, Zuo Hui, Miao Hongsheng and Yin Liangqiu

(Xining Special Steel Co Ltd, Xining 810005)

**Abstract** The  $\Phi 110$  mm bar products of steel 3Cr2W8V were forged from 740 kg ingot melted by 15 t EAF and refined by 25 t LF. At end of refining period, the oxygen content in steel was  $29 \times 10^{-6}$ , and the liquid steel was treated by rare earth treatment with adding 0.048% RE alloy (21 ~ 24RE, 44Si, 3Mn, 5Ca, 3Ti, bal Fe). The yield of rare earth elements was 30.78%. The examination results showed that the rare earth treatment could be efficiently to improve segregation of eutectic carbides in die steel 3Cr2W8V and obviously to decrease segregation of deleterious elements such as P, Pb, Sn, As, Sb at grain boundary.

**Material Index** Hot Working Die Steel, Rare Earth Elements, Eutectic Carbides, Residual Deleterious Elements

3Cr2W8V 钢是我国热作模具的传统用钢。要求高承载力、高热强性和高回火稳定性的压铸模、热挤压模、压型模等一般选用此种钢材。3Cr2W8V 钢的化学成分(%): 0.30 ~ 0.40C, 2.20 ~ 2.70Cr, 7.50 ~ 9.00W, 0.20 ~ 0.50V, Si、Mn  $\leq$  0.40, P、S  $\leq$  0.030。

由于 3Cr2W8V 钢中富含 Cr、W、V 等碳化物形成元素, 钢锭中普遍存在成分偏析及共晶碳化物数量较多等缺陷; 如果模具中的碳化物偏析严重时, 容易产生应力集中, 最终产生裂纹而导致失效, 直接影响模具的服役寿命。模具钢钢锭采用高温均匀化处理, 可以改善偏析和消除一次碳化物<sup>[1]</sup>, 但该技术一方面要消耗大量的能源, 另一方面也难以彻底消除或减少共晶碳化物的数量和显著改善成分偏析。采用大锻压比和多火成材, 虽说比较有效, 但必须有大型或大吨位的开坯机, 且极大增加成本和降低成材率。根据文献[2]介绍, 采用稀土合金对 H13 钢进行变质处理, 可改善铸态组织和减弱铸态成分和碳化物偏析。3Cr2W8V 钢与 H13 钢相似, 铸态钢中也有大量的一次共晶碳化物, 本文通过对稀土处理的与未用稀土处理

的 3Cr2W8V 钢组织对比, 研究了稀土合金处理对共晶碳化物的改善及晶界净化的效果。

### 1 钢的化学成分和冶炼工艺

试验所用 3Cr2W8V 钢的化学成分见表 1, 生产工艺流程为: 15 t 电弧炉冶炼 + 25 t LF 精炼  $\rightarrow$  铸 740 kg 锭  $\rightarrow$  退火  $\rightarrow$  5 t 蒸汽锤开坯、产  $\Phi 110$  mm 材  $\rightarrow$  退火  $\rightarrow$  酸洗、清理。

表 1 试验 3Cr2W8V 钢化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of test steel 3Cr2W8V /%

炉号	C	Si	Mn	Cr	W	V	P	S	RE 加入量
87957	0.35	0.28	0.25	2.43	7.95	0.28	0.028	0.015	0.048
87977	0.39	0.28	0.18	2.31	7.60	0.27	0.023	0.015	-

电弧炉采用氧化法冶炼, 白钨矿随钢铁料加入, 流渣操作和电弧炉粗合金化、粗还原。当钢液的成分和温度合适时出钢, 将钢液转入精炼炉精炼。精炼后期钢液脱氧完全时, 取样测得钢液氧含量[O]为  $29 \times 10^{-6}$ , 将 50 kg 稀土合金与成分微调所需其它合金一起装入铁合金桶内, 密封。投入精炼炉钢包中, 同时增加氩气压力, 加大钢液的

搅拌强度,再经过 15 min 吹氩精炼、吊包、浇注。稀土回收率为 30.78%。稀土合金的成分见表 2。

表 2 稀土合金化学成分/%

Table 2 Chemical composition of rare earth alloy /%

牌号	RE	Si	Mn	Ca	Ti	Fe
FeSiRE23	21.0~24.0	≤44.0	≤3.0	≤5.0	≤3.0	余量

炉号 87957 的浇注温度为 1 550 ℃,钢锭、钢坯在加热炉的总加热时间为 15 h;炉号 87977 的浇注温度为 1 560 ℃,钢锭、钢坯在加热炉的总加热时间为 17 h。

在 Φ110 mm 锻材上各取 1 片厚 15 mm 的试片,分别在试片的边缘、二分之一半径处、中心处各取 1 金相试样,按 GB/T1299、YB9-68 检验组织、非金属夹杂物。

本试验分为 2 步。(1) 对所取试样不做任何热处理直接采用光学显微镜观察组织和非金属夹杂物;(2) 对炉号为 87977 的组织试样在箱式炉中经过 1 200 ℃ 高温处理 30 min 后再采用光学显微镜观察组织。

## 2 未进行稀土合金化处理的 3Cr2W8V 钢中的共晶碳化物

由于 3Cr2W8V 钢中合金元素含量高,尤其强碳化物形成元素含量高,铸锭时因凝固的选分结晶,在钢锭中心(最后结晶部位),会富集大量的 C、V、Cr、W 等合金元素,当合金元素富集到共晶

成分时,就会出现共晶碳化物。由于共晶碳化物颗粒较大,即使经过一定时间的高温扩散和多道次的锻造变形,可使共晶碳化物得到扩散消除或颗粒变小,破碎后分散分布。但由于共晶碳化物的扩散需高温和较长时间,例如 GCr15 钢中,在 1 100 ℃ 保温 3 h,即可消除液析<sup>[3]</sup>。而 3Cr2W8V 由于易产生高温过热或过烧,其最高加热温度正常都控制在 1 180 ℃ 以下,致使共晶碳化物得不到充分扩散和彻底消除。为了确定钢中大颗粒共晶碳化物的成分,采用 JXA-733 电子探针对其进行分析,其成分见表 3。

表 3 3Cr2W8V 钢中共晶碳化物成分/%

Table 3 Chemical composition of eutectic carbides in steel 3Cr2W8V /%

W	Cr	V	Fe	Si	Al	Mn
47.157	1.625	0.538	40.924	8.556	0.412	0.161

这说明大颗粒的共晶碳化物主要是由钨的碳化物构成的。文献[4]介绍,含 6% W 的钢应在 1 240 ℃ 左右进行高温扩散,为了减轻和消除钢中共晶碳化物对钢材质量的影响,其高温扩散的加热温度必须控制在 1 240 ℃ 左右。对于 3Cr2W8V 钢来说,不能采取如此高的扩散温度。

图 1b、1c 的基体组织中都有大量块状的共晶碳化物镶嵌在基体之中。从图 1c 可以看出钢材的心部,共晶碳化物颗粒最大、数量最多,大颗粒

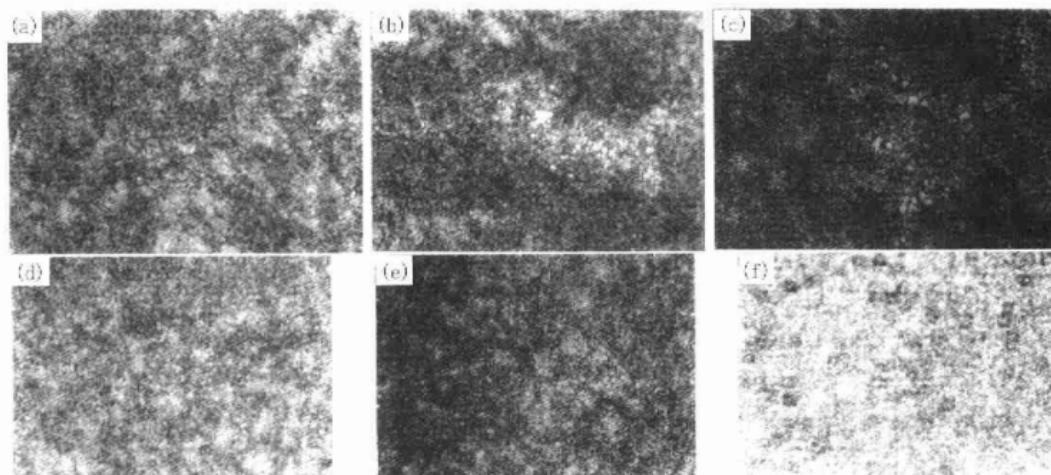


图 1 未加稀土和加稀土 3Cr2W8V 钢的组织对比:上(a,b,c)未加稀土合金;下(d,e,f)加稀土合金;a-,d-钢材边缘处,b-,e-半径 1/2 处,c-,f-中心处

Fig.1 Comparison of structure of steel 3Cr2W8V non added and added rare earth alloy: upper (a,b,c)- non added rear earth alloy; lower (d,e,f)- added rare earth alloy:a-, d- at edge; b-, e- at 1/2 radius; c-, f- at center of steel bar

的共晶碳化物在基体中沿着晶界分布,在晶界交叉处还存在共晶碳化物严重堆积。当模具在服役时反复的升温与冷却,在模具表面形成交变拉、压应力,模具在加热受力变形时,基体以屈服变形来松弛应力,而硬质碳化物颗粒则不随基体作相应的变形,只会从基体上脱离,使此处萌生微裂纹,并随模具的使用而不断扩展。可见,钢中的大块共晶碳化物是热疲劳裂纹的萌生源之一。

3Cr2W8V 钢经过 1 200 °C 高温均匀化处理,成分偏析得到一定程度改善,共晶碳化物通过扩散溶解了一部分,组织均匀化也有一定程度的提高。但是大颗粒的共晶碳化物并没有彻底溶解消失,在基体晶界交叉处仍然存在共晶碳化物严重堆积现象。

### 3 稀土合金化处理后 3Cr2W8V 钢中共晶碳化物与对晶界上残余元素的净化效果

从稀土合金化原理可知,模具钢中加入稀土

可减轻元素的偏析、细化晶粒和促使或加快高温扩散均匀化的速度。这一点从炉号 87957 的钢材金相组织分析得到证实。

通过图 1e、1f 可以看出,在经稀土合金化处理后的同规格锻材上的共晶碳化物堆积现象完全消失,仅有极少量共晶碳化物呈孤岛状分布。

通过以上的分析可以得出以下的结论,在浇铸条件近似、热加工工艺不变的情况下,经过稀土合金化处理后 3Cr2W8V 钢的共晶碳化物偏析程度可明显减轻。

采用 JXA-733 电子探针对未加入稀土元素和加入稀土元素的  $\Phi 110$  mm 3Cr2W8V 锻材晶界处和晶内的残余元素进行分析,表 4 为未加入稀土元素 4 组试验数据的平均结果和加入稀土元素 9 组试验数据的平均结果。

由表 4 的电子探针结果可以看出,稀土元素可以有效地抑制残余元素、尤其是 5 害元素在晶

表 4 未加稀土和加稀土的 3Cr2W8V 钢中晶内和晶界处残余元素含量/%

Table 4 Comparison of residual elements at intragranular zone and at grain boundary of steel 3Cr2W8V non added and added rare earth alloy /%

炉号	稀土加入情况	P		Pb		Sn		As		Sb	
		晶内	晶界	晶内	晶界	晶内	晶界	晶内	晶界	晶内	晶界
87977	未加稀土	0.263	0.281	0.169	0.256	0.100	0.173	0.021	0.069	0.136	0.278
87957	加稀土	0.276	0.257	0.241	0.147	0.100	0.072	0.011	0.000	0.200	0.006

界上的偏聚现象。

### 4 讨论和分析

稀土夹杂物以高熔点氧、硫化物为核心独立形核长大,以较高的活性相结合,最后聚集长大成体积较大的夹杂物。稀土夹杂物若没有上浮去除,将会在钢中残留大尺寸的稀土夹杂物,这是使用稀土合金化处理应该注意的问题。

通过对这几种不同状态、相同部位共晶碳化物数量、大小和分散程度的比较,可以得出稀土元素微合金化处理后能够有效地改善钢中的共晶碳化物的偏析程度和控制 5 害元素在晶界上的偏聚现象。

但是钢中加入稀土元素后,必须有较长的吹氩搅拌时间,以避免残留大颗粒夹杂物并使稀土夹杂物数量、夹杂物尺寸超出标准。

### 5 结论

(1) 对 3Cr2W8V 钢进行稀土合金化处理,能

够有效地改善钢中共晶碳化物的偏析程度,并可减少 P、Pb、Sn、As、Sb 等有害元素在晶界的偏析,有净化晶界的作用。

(2) 稀土可以改善夹杂物的形态和分布,从而可以提高钢材质量;但在炼钢过程对稀土夹杂物的上浮去除应引起注意或重视。

### 参考文献

- 唐文君,吴晓春,徐明华,等. 高温均匀化对 H13 钢强韧性的影响. 上海金属, 2002, 3(2): 14
- 兰 杰,贺俊杰,丁文江,等. RE 对铸造 H13 钢凝固组织及冲击韧性的影响. 钢铁, 2000, 35(10): 48
- 钟顺思,王昌生. 轴承钢. 北京:冶金工业出版社, 2000, 476
- 徐 进,姜先奋,陈再枝,等. 模具钢. 北京:冶金工业出版社, 1998. 36

陈 列(1968-),男,在读博士研究生. 1990 年毕业于北京科技大学,从事特钢产品开发、金属材料研究工作。

收稿日期:2005-03-08