

· 产品研发 ·



## 冷作模具钢(Cr12MoV)短流程生产工艺实践

朱喜达<sup>1</sup>, 陆家生<sup>1</sup>, 赵勇智<sup>1</sup>, 刘宇<sup>2</sup>, 李朋<sup>2</sup>

(1 江阴华润制钢有限公司, 江阴 214404; 2 上海大学(浙江)高端装备基础件材料研究院, 嘉兴 314000)

**摘要:** Cr12MoV 扁钢主要采用模铸钢锭、多火次锻造、轧制成材的长流程工艺, 生产效率低、成材率低、成本高、能耗高。为了解决冷作模具钢的导热性和塑性较差等问题, 设计了 90 t EBT-LF-VD-150 mm×630 mm 连铸矩形坯和一火加热+15 道次轧制成材的短流程工艺, 成功开发 Cr12MoV 钢矩形连铸坯及轧制 19 mm 厚扁钢产品, 连铸坯中心疏松 1.5 级, 中心偏析≤1.0 级, 成品扁钢共晶碳化物不均匀级别≤3 级, 探伤质量等级达到 A 级, 各项性能指标均满足标准要求。Cr12MoV 冷作模具钢产品实现批量生产, 取得了良好的经济效益。

**关键词:** 冷作模具钢; 长流程; 短流程; 连铸; 一火次轧制

**DOI:** 10. 20057/j. 1003-8620. 2022-00236

## Production Process Practice of Cold-working Die Steel (Cr12MoV) Produced by Short Process

Zhu Xida<sup>1</sup>, Lu Jiasheng<sup>1</sup>, Zhao Yongzhi<sup>1</sup>, Liu Yu<sup>2</sup>, Li Peng<sup>2</sup>

(1 Jiangyin China Resources Steelmaking Co., Ltd., Jiangyin 214404;  
2 Zhejiang Institute of Advanced Materials, SHU, Jiaxing 314000)

**Abstract:** Cr12MoV flat steel mainly adopts the long process of die casting ingot, multi-fire forging and rolling, which has low production efficiency, low yield, high cost and high energy consumption. In order to solve the problems of poor thermal conductivity and ductility of cold working die steel, a short process of 90 t EBT-LF-VD-150 mm×630 mm continuous casting rectangular billet and one-fire heating +15-pass rolling was designed. The rectangular continuous casting billet and rolled 19 mm thick flat steel products of Cr12MoV steel were successfully developed, continuous casting center porosity 1.5 grade, center segregation ≤1.0, the finished flat steel eutectic carbide unevenness level ≤3, the defects inspection quality grade reaches grade A, and the performance indexes meet the standard requirements. Cr12MoV cold working die steel products have achieved mass production and achieved good economic benefits.

**Key Words:** Cold Working Die Steel; Long Process; Short Process; Continuous Casting; One-fire Heating Rolling

冷作模具钢主要用于制造使金属冷变形的模具, 要求具有高的硬度和耐磨性, 并有足够的韧性。在热处理时要求淬透性高, 淬火变形小<sup>[1]</sup>。Cr12MoV 钢是高碳高铬莱氏体钢, 是一种应用广泛的冷作模具钢。该牌号钢的热处理畸变较小, 耐磨性比一般低合金工具钢高 3~4 倍<sup>[2]</sup>。冷作模具使用的工况条件通常都较为苛刻, 常受到较高的循环应力及冲击力作用, 磨损是其最主要的失效形式<sup>[3-4]</sup>。

国内高碳高合金冷作模具钢生产主要是采用电弧炉冶炼→LF→VD→模铸浇注→锻造或轧制开坯→轧制成材工艺, 这种多火次锻造开坯/轧制的生产工艺存在效率低、成材率低、成本高等问题。关于板坯连铸, 有学者进行了大量研究工作<sup>[5-7]</sup>。连铸

工艺生产高碳高合金工模具钢有着显著的工艺优势, 主要体现在: (1) 可大幅提高生产效率; (2) 大幅度降低成本和能源消耗; (3) 成材率大幅度提高; (4) 有可能得到更为细化的莱氏体共晶组织, 成分组织相对均匀稳定<sup>[8]</sup>。

设计了 Cr12MoV 钢的短流程工艺: 电弧炉→LF→VD→矩形坯连铸→一火次轧制成材。通过生产工艺流程模式的优化, 尤其是连铸工艺和设备的优化, 实现了冷作模具钢 Cr12MoV 的短流程工艺规模化生产, 取得了良好的综合性效果。

### 1 化学成分

连铸生产 Cr12MoV 钢, 对钢水的可浇性, 生产的顺行提出更高的要求, 同时对铸坯质量及稳定性也将是一个新的考量。从化学元素对钢的性能影

作者简介: 朱喜达(1969-), 男, 工程师; E-mail: nmhbzhu@163.com; 收稿日期: 2023-01-29

通讯作者: 李朋(1980-), 男, 硕士, 高级工程师; E-mail: lipeng3228@163.com

响角度设定控制目标,对有害元素磷、硫及氧、氮、氢进行控制,并组织生产实施。

由于化学成分的稳定性直接影响着材料热处理工艺的制定、产品质量的稳定性,同时也影响着材料使用寿命、机械性能等。Cr12MoV钢生产中要求以窄成分控制为目标,同一批次减小波动,通过降低P、S含量,可以提高材料的冲击韧性和改善脆性,提高疲劳性能,控制钢中氧含量,可以减少钢中夹杂物,提高钢的纯净度,进一步提升材料的综合性能。Cr12MoV试验钢主要元素成分控制范围及测定成分,见表1。

## 2 生产工艺及过程控制

### 2.1 短流程生产工艺

Cr12MoV钢生产流程为:配料→90 t电弧炉→90 t LF→90 tVD→立弯式连铸机(2机2流)→红送、缓冷或退火→加热→950轧机轧制扁钢。

### 2.2 电弧炉控制

电弧炉水平连续加料,采用炉门氧枪加炉壁多功能氧枪吹氧助熔,分3批次加入1.5 t石灰,造泡沫渣,低温脱磷, $P \leq 0.06\%$ ,出钢留钢30~40 t,氧化渣不进入钢包。出钢 $C \geq 0.15\%$ ,出钢过程加入铝块50 kg,出钢末期加入石灰500 kg。出钢合金化,为提高合金收得率和冶炼效率,将熔化的钼铁、钒铁、高碳铬铁加入钢包,全过程吹氩,促进成分、温度均匀化。

### 2.3 LF炉控制

Cr12MoV钢合金加入量大,钢包进站后快速送电、造渣、分析成分,加入专用精炼造渣剂300 kg,喂Al线100 m沉淀脱氧,分批次加入碳粉150 kg、Al粉120 kg、电石80 kg,进行扩散脱氧,全过程埋弧操作,白渣时间 $\geq 30$  min。钢包底吹氩气搅拌,保证温度、成分的均匀性,促进气体及夹杂物上浮去除。

### 2.4 VD炉控制

VD真空过程动态控制真空度及氩气流量,避免溢渣。真空度 $\leq 67$  Pa时,真空时间 $\geq 20$  min,真空后软吹氩 $\geq 20$  min,促进夹杂物上浮。

### 2.5 连铸控制

连铸机为弧形半径6.5 m的二机二流立弯式连铸机,试验钢浇铸断面150 mm×630 mm。中间包过热度25~40 °C,拉速0.80 m/min,组合式铜板结晶器,涡流检测液面和自动液位控制,控制液面波动 $\pm 3$  mm以内,结晶器非正弦振动,频率80~180次/min,振幅3.0~6.0 mm,结晶器和二冷区电磁搅拌。连铸全程保护浇注,中间包采用整体式水口,钢包采用长水口密封圈和吹氩保护。

Cr12MoV钢裂纹敏感性强,冷却过程组织应力大,连铸二冷采用弱冷,比水量为0.10~0.18 L/kg。二冷段辊式电磁搅拌方式为正反转,时间为15 s-5 s-15 s。连铸矩形坯定尺切割后红送加热炉。

### 2.6 轧制控制

Cr12MoV钢150 mm×630 mm矩形连铸坯加热到1 180 °C,均热2 h,开轧温度为1 050 °C,终轧温度 $> 850$  °C,高压水除磷压力32.0 MPa。矩形连铸坯经950往复式扁钢轧机15道次轧制成19 mm厚度的扁钢,轧制速度10~20 mm/s。轧制工艺见表2。

轧制扁钢退火后经专用精整线处理,上料机→矫平→在线探伤→表面检查→自动锯切→喷标→称重收集→入库。

## 3 产品质量分析与讨论

采用短流程工艺生产的Cr12MoV钢150 mm×630 mm低倍实物如图1所示。在矩形连铸坯的整个横截面取样标准按GB/T226-2015,按YB/T4003-2016标准评定不同断面低倍评级情况见表3。

以150 mm×630 mm矩形连铸坯为例,在整个横截面范围内,采用金属原位分析方法(OPA)分析,无

表1 Cr12MoV钢主要元素化学成分(质量分数)

Table 1 Chemical composition of Cr12MoV steel main elements

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Mo	O	N	H
标准	1.50~1.60	0.10~0.30	0.20~0.35	$\leq 0.025$	$\leq 0.010$	11.40~11.60	0.15~0.30	0.40~0.50	$\leq 0.001 5$	$\leq 0.015 0$	$\leq 0.000 1$
测定成分	1.55	0.18	0.26	0.020	0.003	11.47	0.19	0.43	0.000 9	0.007 8	0.000 03

表2 19 mm厚扁钢轧制工艺

Table 2 Rolling process of 19 mm thick flat steel

道次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
辊缝/mm	140	125	110	95	80	65	61	47	37	35	31	26	22	20	19



图1 Cr12MoV 钢 150 mm×630 mm 连铸坯实物和低倍  
Fig. 1 150 mm×630 mm Continuous casting billet and macro-structure of Cr12MoV steel

表3 Cr12MoV 钢连铸坯低倍组织 / 级

Table 3 Low structure of Cr12MoV steel continuous casting billet / rating

断面	中心疏松	中心偏析	中间裂纹	角部裂纹	三角区裂纹
150 mm×530 mm	1.5	0.5	0	0	0
150 mm×680 mm	1.5	1.0	0	0.5	0
150 mm×630 mm	1.5	0.5	0	0	0

明显的碳偏析, 总体偏析情况控制较好, 如图 2 所示。Cr12MoV 钢矩形坯横截面从表面到心部不同

位置取样, 组织均匀, 枝晶间距较小, 共晶碳化物较细小分散, 如图 3 所示。

与传统的模铸流程相比较, 短流程冶炼炉容量大, 全过程实现保护浇注, 有利于脱氧产物的充分上浮去除, 非金属夹杂物控制优于传统模铸流程。虽然总的热加工变形比较小, 但不同厚度的成品扁钢共晶碳化物不均匀级别均能够满足标准 (GB/T1299-2014) I 组 ≤3 级的要求。对短流程工艺生产不同规格的成品扁钢检验非金属夹杂物 (在宽度 1/4 处取样, 按 GB/T10561-2005 标准检验)、共晶碳化物不均匀度 (在宽度 1/4 处取样, 按 GB/T14979-1994 标准检验) 和低倍质量 (整个横截面取样, 按 GB/T1979-2001 标准评定), 结果见表 4。以 40 mm 厚成品扁钢为例, 厚度方向边部和心部取样, 整体的共晶碳化物不均匀度较好, 如图 4 所示。

按 GB/T4162-2008 标准对扁钢产品超声探伤检验, 质量等级达到 A 级、AA 级。

采用短流程生产 Cr12MoV 系列高碳高合金冷作模具钢产品, 与传统的模铸后多火次锻造或轧制成材工艺相比较, 工艺流程简化, 制造周期显著缩短, 铸坯到成品材的综合成材率可以达到 92%, 而模铸长流程的成材率经过优化后只能达到

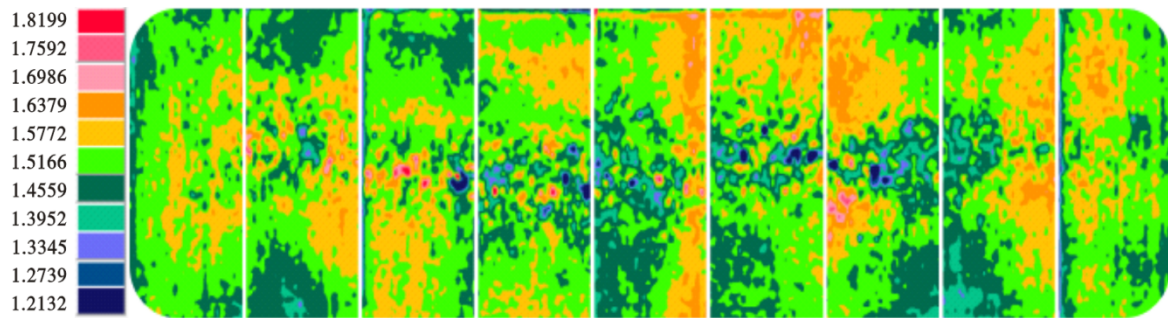


图2 Cr12MoV 钢连铸坯碳元素分布情况(OPA)

Fig. 2 Carbon element distribution of Cr12MoV steel continuous casting billet (OPA)

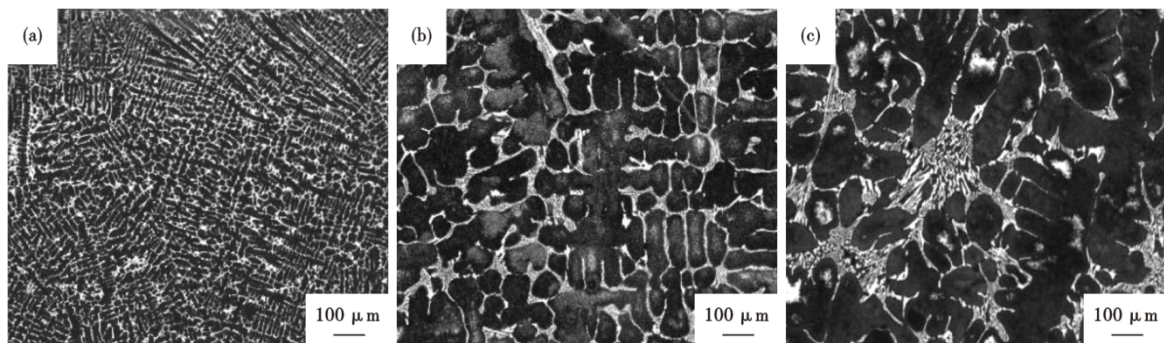


图3 Cr12MoV 钢矩形坯铸态组织: (a) 边部, (b) 厚度 1/4 处, (c) 芯部

Fig. 3 Cast structure of Cr12MoV steel rectangular billet : (a) side , (b) 1/4 thickness , (c) core

表4 成品扁钢质量检验结果/级  
Table 4 Quality inspection results/rating of finished flat steel/rating

扁钢厚度/mm	非金属夹杂								共晶碳化物		低倍	
	A <sub>细</sub>	A <sub>粗</sub>	B <sub>细</sub>	B <sub>粗</sub>	C <sub>细</sub>	C <sub>粗</sub>	D <sub>细</sub>	D <sub>粗</sub>	D <sub>s</sub>	不均匀级别	锭型偏析	中心疏松
10×560	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	1.5	1.0	1.0
20×410	0.5	0.5	0	0	0	0	0.5	0.5	1.0	1.5	1.5	1.5
31×510	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0.5	1	3	2.0	2.0
40×460	0.5	0.5	0	0	0	0	0.5	0.5	1.0	3	1.5	1.5
51×510	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	3	1.5	2.0

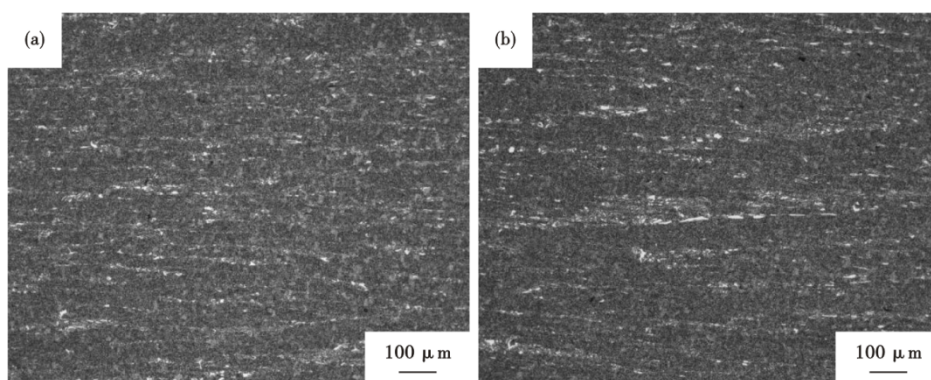


图4 40 mm厚成品扁钢的共晶碳化物组织:(a)边部(b)芯部  
Fig. 4 Eutectic carbide structure of 40 mm thick finished flat steel: (a)Side(b)Core

80.12%<sup>[9]</sup>,工序能耗降低20%以上。特钢厂已经采用短流程工艺实现工业化生产,2022年已生产近4万吨,取得良好的经济效益。

#### 4 结论

(1)短流程生产实践工艺,成功生产出冷作模具钢Cr12MoV扁钢产品,并工业化生产;

(2)短流程生产的Cr12MoV钢连铸坯低倍组织

较好,中心疏松1.5级,中心偏析1级以下。宏观碳偏析情况良好;

(3)短流程生产的Cr12MoV扁钢产品中心疏松,锭型偏析良好,共晶碳化物不均匀级别均≤3级;

(4)短流程生产Cr12MoV系列高碳高合金冷作模具钢产品,工艺流程简化,生产周期缩短,年产近4万余吨,综合成材率达到92%。取得良好的经济效益。

#### 参考文献

- [1] 邱凌,吴晓春. 国内外冷作模具钢发展概述[J]. 模具制造, 2017, (11): 89-96.
- [2] 赵步青,徐利建,朱昌宏,等. Cr12MoV钢的热处理[J]. 热处理, 2021, 36(2): 36-39.
- [3] Guo Y, Zhang Z B, Zhou R C, et al. Microstructure and mechanical properties of alloy 617B[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2015, 25(4): 1106-1113.
- [4] Zhang P, Zhu Q, Chen G, et al. Grain size based low cycle fatigue life prediction model for nickel-based superalloy [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2018, 28(10): 2102-2106.
- [5] 潘文峰,蔡兆镇,王少波. 连铸板坯二冷高温区传热均匀性研究与优化[J]. 中国冶金, 2021, 31(8): 23-34.
- [6] 杨宝,张慧,王明林. 连铸板坯电磁搅拌技术的发展现状及讨论[J]. 钢铁钒钛. 2021, 42(5): 149-157.
- [7] 汪洪峰,陶林,王勇. 高强钢连铸板坯中心偏析的分析及改善措施[J]. 连铸. 2017, 42(5): 33-37.
- [8] 姚健,朱喜达,刘宇,等. 高碳高合金工模具钢连铸工艺发展现状[J]. 特殊钢. 2022, 43(6): 66-72.
- [9] 梁新腾,谢珍勇,孙彦辉,等. 冷作模具钢Cr12MoV 40 t EAF-LF-VD-模铸冶炼工艺优化实践[J]. 特殊钢, 2017, 38(4): 32-34.