



Cr8 扁钢轧制模拟与工艺优化

徐乐钱¹, 李 朋¹, 刘 宇¹, 庞于思², 罗胜平²

(1 上海大学高端装备基础件材料研究院, 嘉兴 314100; 2 江阴华润制钢有限公司, 江阴 214404)

摘 要: 共晶碳化物是影响 Cr8 冷作模具钢服役性能及使用寿命的关键因素。针对 Cr8 钢连铸坯轧制成扁钢后出现的碳化物不均匀度超过国家标准 GB/T 1299—2014 (3 级) 的问题进行分析。采用 Deform 有限元模拟软件建立 Cr8 扁钢的轧制模型, 对轧制过程中的等效应变、应变速率、温度变化情况进行模拟, 并研究了不同温度下保温 (时间) Cr8 扁钢碳化物的形貌特征, 与其连铸坯进行对比。模拟与实验结果表明, 轧制过程中, Cr8 扁钢中心至 1/4 厚度区域温度达到 1 230 °C, 使 Cr8 扁钢的三角晶界区碳化物重新溶解析出, 导致碳化物不均匀度的级别超过 3 级。因此, 通过降低加热温度, 控制轧制温度低于 1 200 °C, 将厚度 24 mm 的 Cr8 扁钢碳化物不均匀度由 4 级降低至 2 级, 使产品质量显著提高, 同时降低了能耗、节约了成本。

关键词: Cr8 扁钢; 共晶碳化物; 模拟; 升温

DOI: 10. 20057/j. 1003-8620. 2023-00122 **中图分类号:** TG335

Rolling Simulation and Process Optimization of Cr8 Flat Steel

Xu Leqian¹, Li Peng¹, Liu Yu¹, Pang Yusi², Luo Shengping²

(1 Zhejiang Institute of Advanced Materials, Jiangxing 314100, China;

2 Jiangyin China Resources Steelmaking Co., Ltd., Jiangyin 214404, China)

Abstract: Eutectic carbide is a key factor affecting the service performance and service life of Cr8 cold-working die steel. In this paper, aiming at the problem that the carbide non-uniformity in the rolling process of Cr8 steel continuous casting billet exceeds the national standard GB/T 1299—2014 (Level 3). The rolling model of Cr8 flat steel is established by using Deform finite element simulation software, and the equivalent strain, strain rate and temperature changes in the rolling process are simulated. The morphology characteristics of Cr8 flat steel carbide at different temperature (time) are studied and compared with its continuous casting billet. The results show that the temperature between the center and 1/4 thickness of Cr8 flat steel reaches 1 230 °C during rolling, and the carbide is dissolved and precipitated in the triangle grain boundary zone of Cr8 flat steel, resulting in the carbide inhomogeneity level exceeding 3. By reducing the heating temperature and controlling the rolling temperature below 1 200 °C, the carbide non-uniformity of 24 mm Cr8 flat steel is reduced from grade 4 to grade 2, and the product quality is significantly improved.

Key Words: Cr8 Flat Steel; Eutectic Carbides; Simulation; Temperature Rise

Cr8 钢是基于 Cr12 钢改进而来的新型冷作模具钢, 具有高耐磨性、淬透性和大承载能力, 被广泛应用于制造各类冷作模具。由于碳和铬含量高, 组织中含有大量的共晶碳化物呈不均匀分布, 使模具呈各向异性, 影响使用寿命^[1-4]。改善共晶碳化物分布是提高产品质量的重要途径, 然而这些共晶碳化物是常规热处理方式很难改善的, 只有通过轧制或锻造等热加工使其尽可能破碎。由于模具钢多数以模铸锭经锻造成模块形式交付, 因此, 锻造工艺对碳化物破碎影响的研究较多^[5-8]。随着连铸技术的进步, Cr12MoV 等冷作模具钢已经实现连铸连轧生产^[9], 而轧制工艺对碳化物分布的影响方面, 则鲜有研究报道。本文对 Cr8 钢连铸坯轧制扁钢过程进行

模拟, 研究了温度对共晶碳化物分布的影响, 分析了碳化物级别超标的原因, 对莱氏体工具钢轧制工艺的制定具有一定的指导意义。

1 试验材料及方法

Cr8 钢连铸坯横截面尺寸 150 mm×630 mm, 经往复轧机轧制扁钢厚度为 14 ~ 50 mm。生产工艺流程如图 1 所示。

扁钢精整后取样, 按照国标 GB/T1299—2014《合金工具钢技术条件》中成分、碳化物等规定检验。Cr8 扁钢化学成分见表 1。

Cr8 钢连铸扁坯横截面尺寸 150 mm×630 mm, 长度 2.2 m, 经步进式加热炉加热并保温后出炉, 高压水除鳞后进行往复式轧制, 共 14 道次, 成品厚度

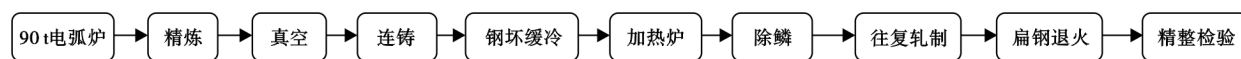


图 1 Cr8 扁钢生产工艺流程

Fig. 1 Cr8 flat steel production process

表 1 Cr8 扁钢化学成分(质量分数)

Table 1 Chemical compositions of Cr8 flat steel %

C	Si	Mn	Cr	P	S
1.59	0.31	0.52	8.12	0.026	0.004

24 mm。轧制压下制度如图 2 所示。

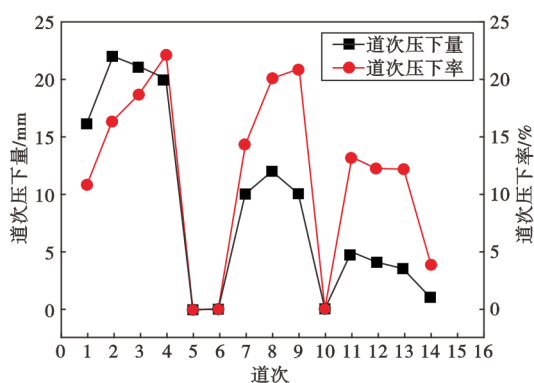


图 2 Cr8 扁钢各道次轧制压下量

Fig. 2 Reduction of Cr8 flat steel during each rolling pass

1~4 道次压下量大, 5、6 及 10 道次修整扁钢侧壁, 无压下量; 压下率主要集中在 2~4 及 7~9 道次。

Cr8 扁钢退火后在横截面对角线 1/4 处取厚度 10 mm 纵向试样, 按照 GB/T 14979—1994《钢的共晶碳化物不均匀度评定法》中第四级别图谱进行碳化物不均匀度评级, 频繁出现超标现象(>3 级), 如图 3 所示。

针对 Cr8 钢连铸坯轧制扁钢过程中出现的碳化

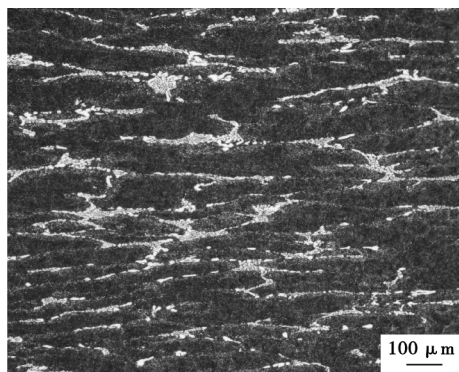


图 3 Cr8 扁钢的碳化物不均匀度 4 级

Fig. 3 The carbide inhomogeneity of Cr8 flat steel is grade 4

物不均匀度超标问题, 采用 Deform 有限元模拟软件建立 Cr8 扁钢的轧制模型, 对轧制过程中的等效应变、应变速率、温度变化情况进行模拟, 并研究不同温度下保温(时间)Cr8 扁钢的碳化物形貌特征, 与其连铸坯进行对比, 探究 Cr8 扁钢轧制过程中, 温度对共晶碳化物分布的影响, 分析 Cr8 扁钢碳化物级别超标原因。

2 试验结果与分析

2.1 轧制过程扁钢温度场

碳化物级别超标与热加工对碳化物的破碎程度有关, 而温度、等效应变及轧制过程与碳化物的破碎程度密切相关。因此, 使用 Deform 有限元软件建立扁钢轧制模型, 模拟分析其轧制过程。设置坯料为塑性体, 由正六面体网格组成, 材料为 Cr8 钢, 其应力-应变曲线、热导率、热熔由 JMatPro 计算并导入 Deform 中; 按照实际现场设置边界条件, 轧辊为刚体, 直径 $\phi 900$ mm, 转速为 38 r/min。环境温度 30 °C, 轧制中轧件自身发生热辐射, 同时与空气及轧辊发生接触换热。轧件与空气的对流换热系数取 $0.02 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, 与轧辊的接触换热系数取 $5 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, 轧件与轧辊之间的摩擦因数取 0.7, 由于金属变形和接触面摩擦使轧件产生温升, 功热转换系数取 0.9^[10]。钢坯经加热炉加热至 1 190 °C 保温 6~8 h, 因此, 将坯料初始温度设定为 1 190 °C。出炉后经高压水除鳞, 通过轧前辊道进入轧机往复轧制, 开轧温度 1 000~1 050 °C, 轧制结束温度 850~900 °C。

为研究轧制过程中等效应变、应变率及温度变化情况, 选取第一道次轧制云图如图 4 所示。

扁钢轧制过程中, 1/4 厚度至表面区域的等效应变及等效应变率最大。轧制过程中扁钢不同位置温度变化曲线如图 5 所示。

扁钢表面模拟温度与实测温度基本一致, 说明模拟结果可信。前 4 道次轧制存在明显温升, 扁钢中心至 1/4 厚度区域温度由 1 190 °C 升至 1 230 °C, 7~9 道次温度小幅下降, 10~14 道次温降明显。

2.2 Cr8 钢熔点及不同温度下碳化物形貌

8%Cr 钢的 Fe-C-Cr 相图如图 6 所示。

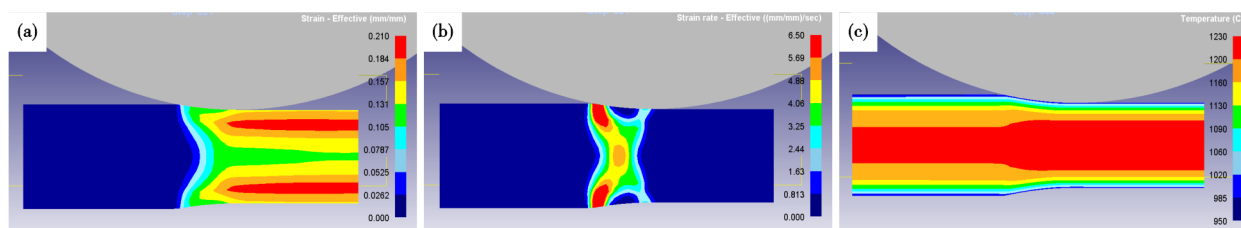


图4 轧制过程中(a)等效应变、(b)应变率和(c)温度云图

Fig. 4 Equivalent strain (a), strain rate (b) and temperature distribution nephogram (c) during rolling process

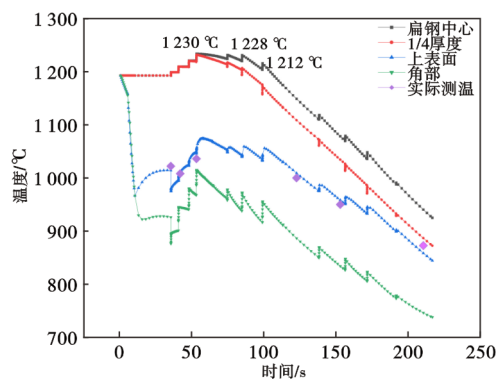
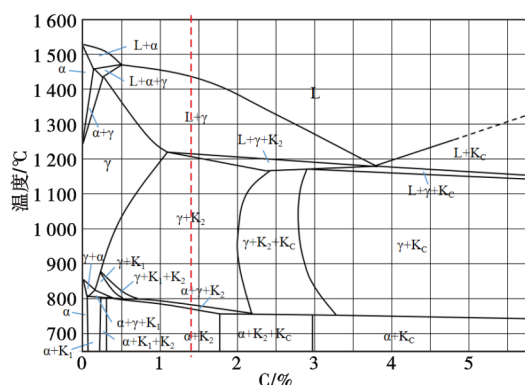


图5 轧制过程中扁坯不同位置的温度

Fig. 5 Temperature curves of different positions of flat billet during the rolling process

图6 8%Cr钢的Fe-C-Cr相图^[11]Fig. 6 Fe-C-Cr phase diagram for 8%Cr steel^[11]

按照8%Cr钢的Fe-C-Cr相图,Cr8钢的固相线温度约为1230℃,经数值模拟可以看出,Cr8扁钢轧制中最高温度已达到该温度。为研究温度对Cr8钢共晶碳化物形貌的影响,在扁钢1/4对角线位置取4块厚度10mm的纵向试样,分别加热至1180、1200、1220、1250℃保温15min后空冷,845℃保温4h退火后检验显微组织,作为对比,同时检验Cr8扁钢及坯料的显微组织,如图7所示。

从图7中可以看出,Cr8扁钢及1180℃的碳化物呈拉长的网状,部分三角晶界区域有鱼骨状碳化物堆积,碳化物不均匀度3级;1200℃时多数碳化

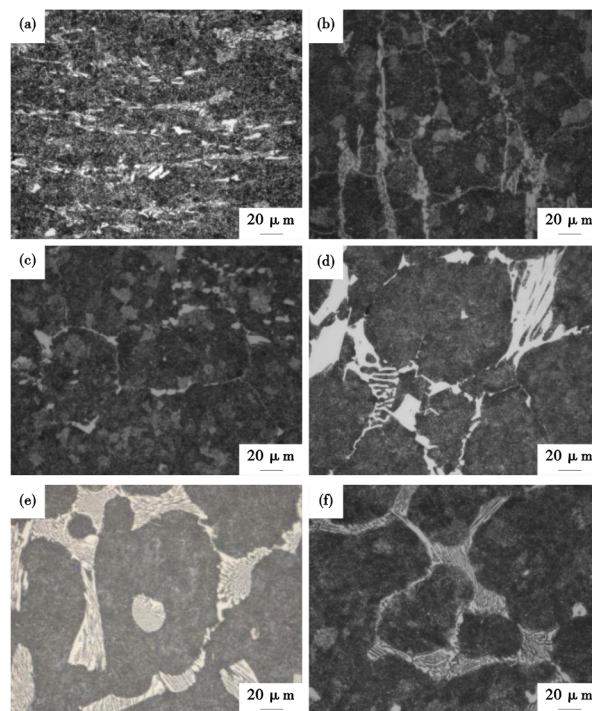


图7 Cr8扁钢不同温度保温及Cr8坯料显微组织:(a)Cr8扁钢,(b)1180℃,(c)1200℃,(d)1220℃,(e)1250℃,(f)Cr8坯料

Fig. 7 Microstructure of Cr8 billet and Cr8 flat steel holding at different temperatures : (a) Cr8 flat steel, (b) 1180 °C, (c) 1200 °C, (d) 1220 °C, (e) 1250 °C, (f) Cr8 billet

物已经溶解,仅三角晶界区有少量角状未溶碳化物,碳化物不均匀度1级。1220℃时晶粒明显粗化,晶界处重新出现粗大的鱼骨状碳化物,碳化物不均匀度5级。1250℃晶内及三角晶界处均出现大量粗大鱼骨状碳化物,碳化物不均匀度6级。Cr8扁钢原始连铸坯料晶界处有大量鱼骨状碳化物呈网状分布;可知温度超过1220℃时晶界会重新析出粗大鱼骨状碳化物。

扁钢轧制过程中,1/4厚度至中心区域最高温度均达到1230℃,导致Cr8扁钢在晶界处熔化,并在后续冷却中重新析出粗大的鱼骨状共晶碳化物,导致Cr8扁钢碳化物级别超标。

为降低碳化物不均匀度,应控制轧制过程中加热温度不超过 1 200 ℃,因此,需要对加热工艺进行调整。原工艺轧制过程最高温度为 1 230 ℃,须降低至 1 200 ℃以下,加热温度至少需要降低 30 ℃,但考虑到轧制温升的影响,为确保达到工艺要求,将加热温度降低 40 ℃,由 1 190 ℃降低至 1 150 ℃,轧制后 Cr8 扁钢碳化物不均匀度 2 级,如图 8 所示。

3 结论

(1)对 Cr8 扁钢轧制过程进行有限元模拟,模拟温度与实际相符,说明有限元模型可信。

(2)通过模拟可知,Cr8 扁钢轧制过程中由于形变温升,扁钢 1/4 厚度及心部区域温度高达 1 230 ℃,在晶界处重新析出鱼骨状共晶碳化物,导致碳化物不均匀度级别超标。

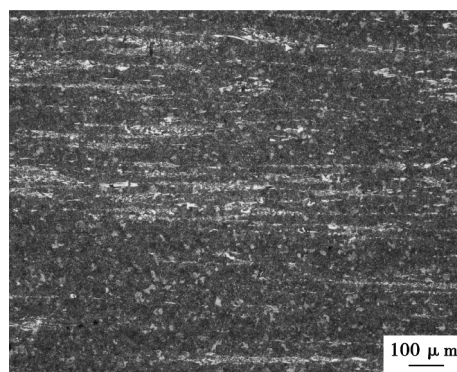


图 8 Cr8 钢的碳化物不均匀度 2 级

Fig. 8 The carbide inhomogeneity of Cr8 steel is grade 2

(3)降低加热温度至 1 150 ℃,控制轧制过程温度不高于 1 200 ℃,可以将厚度 24 mm 的 Cr8 扁钢碳化物不均匀度由 4 级降低至 2 级。

参考文献

- [1] 陈再枝,蓝德年,马党参. 模具钢手册[M]. 2 版. 北京:冶金工业出版社,2020: 59.
- [2] 迟宏宵. Cr8 型冷作模具钢高性能化研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2011: 24.
- [3] 张力伟. 高 Cr 莱氏体钢模具失效原因和解决策略概述[J]. 铸造技术,2014, 35(1): 79-80.
- [4] 肖志霞,李海鹏,何继宁,等. 高速钢中共晶碳化物的研究进展[J]. 铸造,2017, 66(10): 1067-1072.
- [5] 韩风军,李 涛,孙大力,等. 锻造方法对高合金工具钢碳化物不均匀度的影响[J]. 钢铁研究,2016, 44(1): 32-34.
- [6] 陈雷雷. 高速钢合金碳化物控制研究[D]. 南京:东南大学,2016: 16.
- [7] 吴红庆,宁 辉,胡峰荣,等. Cr8Mo1SiV 冷作模具钢大颗粒共晶碳化物的控制工艺研究[J]. 模具工业,2019, 45(12): 42-46+63.
- [8] 胡峰荣. Cr8Mo2SiV 模具扁钢工艺研究[J]. 特钢技术,2009, 15(1): 35-37.
- [9] 朱喜达,陆家生,赵勇智,等. 冷作模具钢(Cr12MoV)短流程生产工艺实践[J]. 特殊钢,2023, 44(3): 10-13.
- [10] 徐乐钱,高宇波,孟晓玲. mini 轧机轧制 AISI1015 钢轧件温升和应变的有限元模拟[J]. 机械工程材料,2021, 45(2): 78-84.
- [11] Bungardt K, Kunze E, Horn E. Investigation of the structure of the iron-chromium-carbon system [J]. Archiv fur das Eisenhwn, 1958, 29: 193.