

热轧板卷边裂成因浅析及控制

陈 伟^{1,2}, 苏鹤洲²

(1. 昆明理工大学材料与冶金工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 昆明钢铁股份公司技术中心, 云南 昆明 650302)

摘 要:采用金相显微镜、扫描电镜并结合工艺调查,对某厂热轧板卷边裂缺陷成因进行了研究分析。结果表明:冶炼脱氧不良、浇注异常是造成烂边边裂缺陷的主要原因;铸坯待轧时过热过烧是造成翘边边裂缺陷的主要原因。根据研究结果对生产工艺进行了优化,取得了较好的效果,板坯边裂缺陷率由 80~85 炉/月降至 4~5 炉/月,板卷“烂边”缺陷基本消除,“翘边”缺陷率由 17.6%降至 1.2%。

关键词:热轧板卷;边裂;脱氧;加热温度;加热时间

中图分类号:TB303 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-7638(2008)02-0067-06

Analysis and Control on the Edge Cracking of Hot - Rolled Strips

Chen Wei^{1,2}, Su Hezhou¹

(1. School of Materials and Metallurgy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China; 2. Technology Center of Kunming Iron & Steel Co., Ltd, Kunming 650302, Yunnan, China)

Abstract: The cause of edge cracking defect of hot - rolled strips was investigated and analyzed by metallographic microscope, SEM and process investigation. The results showed that bad deoxidization during smelting and the unstable casting operation are the main causes for continuous edge cracking of strips; The overheating and overburning of slab during ready rolling stage are the main causes for non - continuous edge cracking of strips. According to study results, the process was optimized and better results were obtained, the rate of edge cracking defects of slab decreased from 80~85 heats/ month to 4~5 heats / month, the continuous edge cracking of hot - rolled strips was almost eliminated and the rate of the non - continuous edge cracking of hot - rolled strips decreased from 17.6% to 1.2%.

Key words: hot - rolled strips; edge cracking; deoxidation; heating temperature; heating time

0 引言

热轧板卷边裂是影响板带产品质量的主要因素之一。板卷裂纹缺陷产生的原因较为复杂,与钢的化学成分、炼钢脱氧状况、铸机状况、铸坯冷却制度及轧制温度、轧制力等因素都有较大的相关性,特定的裂纹缺陷必须结合特定的工况条件进行分析,才能找出裂纹产生的原因。国内外许多研究结果均表明^[1,2],热轧带钢边裂缺陷产生的主要原因是:板坯

边缘存在角横裂、皮下气泡等缺陷;板坯边缘有夹杂;板坯加热过程中有过热过烧现象;轧件边部温度过低,或轧制张力设定过大;板坯的硫、铜含量较高,轧制时钢板的热脆性大等。

笔者针对某厂板带生产线投产初期热轧板卷表面边裂出现较频繁的情况,通过现场取样,采用金相显微镜、扫描电镜等对热轧板卷表面边裂产生的原因进行了研究分析,采取有针对性的工艺控制措施,取得明显的效果。

收稿日期:2007-11-20

作者简介:陈 伟(1973—),男,云南昆明人,主要从事炼钢工艺技术与新产品研发。

1 热轧板卷边裂缺陷宏观形貌

某厂板带生产线投产初期,炉卷轧机轧制的热轧板卷频繁出现边裂缺陷,对产品质量造成了较大影响。边裂缺陷主要有两种(见图 1)。“烂边”缺陷的主要形貌特征为热轧板卷整个板卷边缘均出现小

块破烂边,这种小的破边常伴有条痕状或鱼鳞状的结疤和折叠现象;“翘边”缺陷的主要形貌特征为热轧板卷出现不连续的局部“边裂”,板卷边缘间断出现小块破烂边,这种小的破边也常伴有条痕状或鱼鳞状的结疤和折叠现象,一般发生在钢卷板面的外表面(即钢板轧制过程中的下表面)。

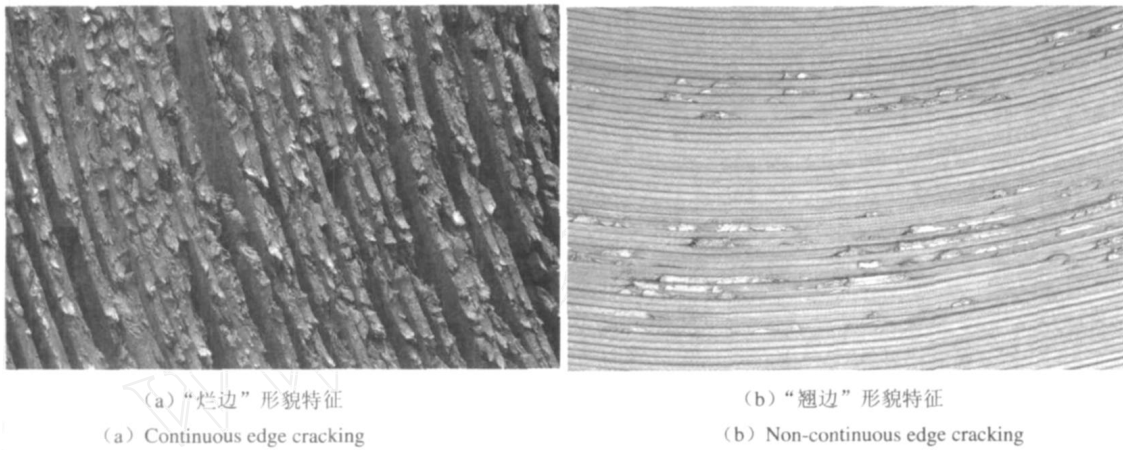


图 1 某厂热轧板卷边裂缺陷形貌

Fig. 1 The edge cracking defect graph of hot - rolled strips

2 热轧板卷边裂缺陷扫描电镜分析

2.1 热轧板卷“烂边”显微形貌及分析

该厂热轧板卷“烂边”显微形貌如图 2 所示。电镜扫描结果可以看出:皮下气泡引起的烂边呈层片状,晶粒粗大引起的烂边呈磊石状。在大量“烂边”板卷裂纹周围存在细小条带状夹杂物(见图 3(a)),显微分析结果表明,这些细小条带状夹杂是连铸坯中氧气泡或者边裂在钢坯轧制后留下的痕迹,这些连铸坯带来的缺陷分割了钢的基体,在轧制过程中

被碾压成细条状裂纹,这些裂纹与外界连通后,钢的基体遭受进一步的氧化,使裂纹扩大,所以裂纹中就形成了氧化铁为主的夹杂,在连铸坯中氧气泡或者边裂较多的情况下,经过炉卷轧机多道次的反复轧制,“烂边”缺陷就不可避免。大量的氧化物、硅酸盐夹杂也能产生这种“烂边”现象,但是在大量试样的分析中,氧化物和硅酸盐类夹杂的量很少,所以此处夹杂物造成“烂边”的可能性很小。

另外,有不少“烂边”板卷裂纹周围存在密集分布的点状夹杂物(见图 3(b)),对 St12 而言,这些点

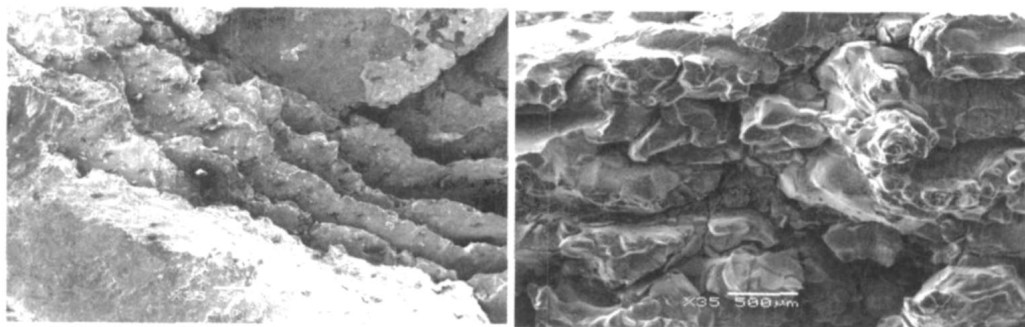
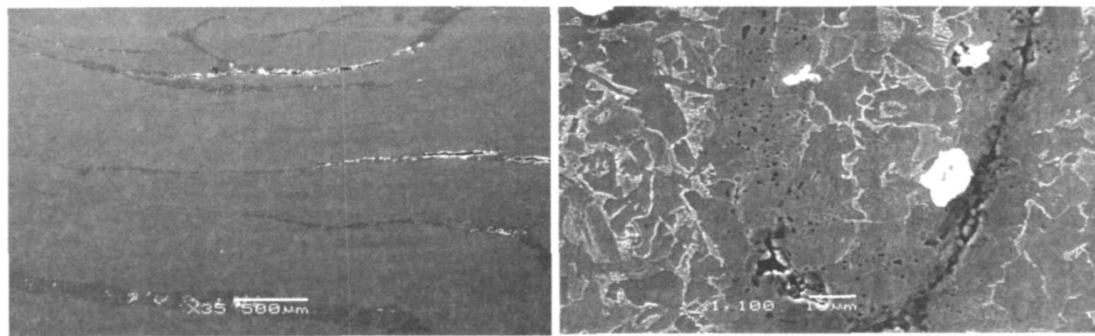


图 2 热轧板卷“烂边”显微形貌

Fig. 2 Continuous edge cracking micrography of hot - rolled strips



(a) 条带状夹杂 (a) Ribbon inclusions
(b) 点状夹杂 (b) Density point inclusions

图 3 “烂边”板卷裂纹边缘密集点状及条带状夹杂

Fig. 3 Inclusions of density point and ribbon situated in the border of continuous edge cracking

状夹杂以氧化铝和硅铝酸盐为主,并有硫、磷元素存在;对 Q235 和 Q345 碳素钢来说,以硫化锰(铁)、锰硅酸盐为主,同时有磷元素的存在。从这些点状夹杂的分布和尺寸来看,很可能是以共晶形式或者高温加热后冷却过程中析出的夹杂。有一部分钢坯本身存在夹杂物(特别是硫化物夹杂)和成分偏析,在高温加热时逐渐溶入奥氏体组织中,并在随后冷却过程中(低于1 150 时)重新析出,这种以共晶形式或者高温加热后冷却过程中析出的夹杂能够严重脆化奥氏体组织,使钢在轧制过程中开裂。另外有一小部分“烂边”板卷边缘和表面存在晶粒粗大现象,说明钢坯在加热过程中存在过热过烧现象。

通过对“烂边”形式的热轧板卷边裂显微形貌分析可以看出,造成热轧板卷“烂边”缺陷的主要原因如下:

(1) 转炉冶炼过程脱氧不良,连铸坯存在较多

的表面气泡或皮下气泡。

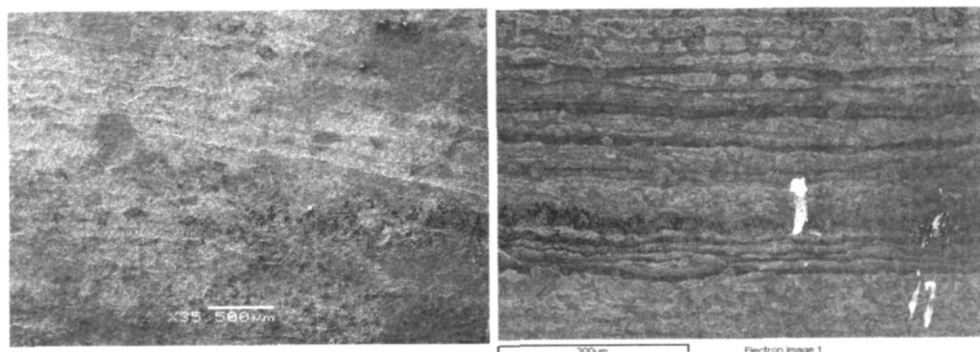
(2) 连铸坯边角区存在成分偏析和夹杂物。就夹杂物而言,试样中所看到的多是铁的氧化物,很难分清这些氧化物是钢浇注时的氧化和卷入的渣液造成,还是铸坯裂纹或轧制开裂后的氧化。但是点状夹杂物肯定在铸坯中有同一类型的夹杂物存在,St12 的点状夹杂大多应是浇注过程中二次氧化生成的夹杂。

(3) 有部分铸坯存在过多的边角区裂纹。

(4) 有少部分钢板边缘和表面存在晶粒粗大现象以及密集细小点状硫化物夹杂的出现,表明钢坯加热过程中有过热现象。

2.2 热轧板卷“翘边”显微形貌及分析

该厂热轧板卷“翘边”显微形貌如图 4 所示。电镜扫描结果可以看出,“翘边”板卷存在碾压划伤的痕迹,有一半试样的“翘边”缺陷呈磊石状。分别从



(a) 碾压划伤引起的翘边 (a) Non-continuous edge cracking for scoring
(b) 夹杂物引起的翘边 (b) Non-continuous edge cracking for inclusions

图 4 热轧板卷“翘边”显微形貌

Fig. 4 Non - continuous edge cracking micrography of hot - rolled strips

缺陷处横向、纵向剖开,磨制抛光进行夹杂物检查,发现缺陷下都有大小不一的裂纹,裂纹内有夹杂物,经能谱仪元素分析确认,内部除存在以氧化铁为主的物质外,氧化铝、硅酸盐类等炼钢带来的夹杂较少,因此炼钢夹杂物导致板卷出现“翘边”缺陷的可

能性很小。对横向、纵向剖面进行金相组织分析,发现近一半的试样在缺陷处有晶粒粗大现象(见图5),同时也发现晶界氧化的痕迹,而另一半试样晶粒正常,这表明钢坯还有边角局部过烧现象存在。

通过对“翘边”形式热轧板卷边裂显微形貌分析

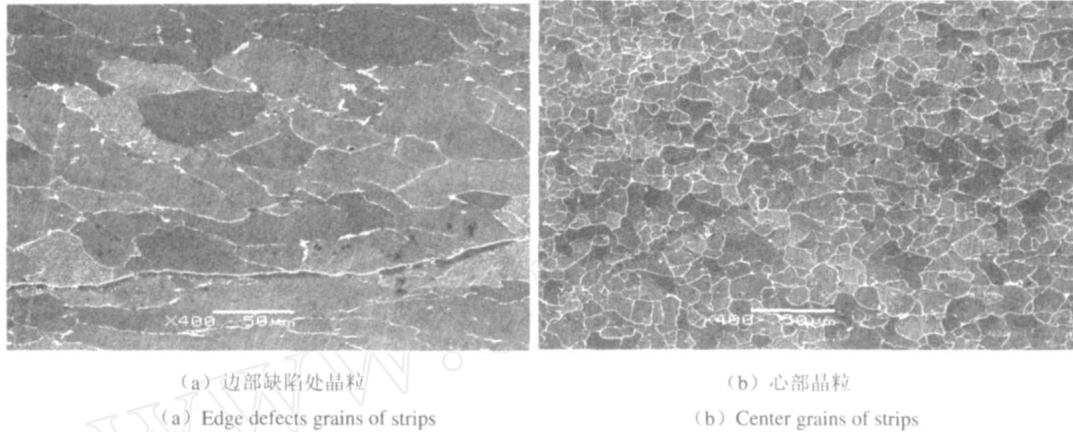


图5 “翘边”板卷边部和心部晶粒大小对比

Fig. 5 Contrast of edge and center grain size of non - continuous edge cracking strips

可以看到,造成热轧板卷“翘边”缺陷的主要原因如下:

(1) 从夹杂物分析情况来看,钢中除氧化铁夹杂外,氧化铝、硅酸盐类等炼钢带来的夹杂较少,可排除炼钢夹杂物的影响。

(2) 在近一半试样的缺陷处有晶粒粗大现象,同时也发现晶界氧化的痕迹,表明钢坯有边角局部过烧现象存在。

(3) 另一半试样的缺陷处没有晶粒粗大现象,可能和前面提到的“烂边”现象一样,是由于钢坯中的气泡或边裂而产生破边;还有可能是钢板在轧制过程中被输送辊、托板或其它物件划伤和擦伤后,被轧辊碾压而形成,因为一些缺陷有划伤和碾压痕迹,并有结疤和折叠缺陷的特征。

(4) 过烧和带有气泡的铸坯在轧制过程中很容易掉块和翘起,在轧制过程中被输送辊、托板和轧辊磨擦带起,从而形成边裂缺陷大部分起源于钢板轧制底面的现象。

3 边裂缺陷工艺情况调查

3.1 “烂边”缺陷工艺调查

对50炉“烂边”形式的边裂缺陷钢所对应的炼钢工艺、轧钢工艺进行调查,没有找到加热温度与该缺陷间的明显对应关系,但发现有4炉钢存在待轧时在炉时间明显偏长的现象;调查轧制的侧压时,发

现都是等宽或展宽轧制;调查冶炼原始数据,发现大部分炉次的Q235、Q345及低碳铝镇静钢St12冶炼终点脱氧剂加入量低于规程下限,St12化学分析[Al]_s含量大都小于0.015%;还发现大于80%的炉次出钢温度超规程上限。另外这类缺陷的板卷中[O]含量较高,为 $90 \times 10^{-6} \sim 140 \times 10^{-6}$ 。

3.2 “翘边”缺陷工艺调查

对38炉“翘边”形式的边裂缺陷钢所对应的炼钢工艺、轧钢工艺进行调查发现,该批钢由于热轧生产不顺先后有20炉钢在待轧时在炉时间存在明显偏长现象;调查冶炼原始数据,发现35炉钢的冶炼终点脱氧剂加入量正常,只有3炉钢稍微偏少;St12化学分析[Al]_s含量全部都>0.025%;另外发现有4炉出钢温度略超规程上限。这类缺陷的板卷中[O]含量大多在 $25 \times 10^{-6} \sim 55 \times 10^{-6}$ 。

4 结果分析与讨论

边裂是热轧板卷生产中较易出现的缺陷,因为轧件边部在展宽时受附加的拉应力,而中间部分是受附加的压应力,金属展宽越大,这种应力也越大。如果金属质量很好,加热、轧制条件正常,则这些应力的存在不影响轧件边缘的完整性,否则,轧件边部受的应力会超过金属的强度,引起破裂。据文献[3,4]报道,导致热轧板边裂的原因有两方面:钢质

方面如板坯边缘出现角裂、气泡,板坯的 S、Cu 含量高,轧制时热脆性大,冶炼和浇注异常等;轧钢方面如在炉时间或加热温度高,使板坯边部过热、过烧,轧件边部温度过低或张力设定过大,轧辊调整不好或辊型与板型配合不好使钢带边部延伸不均,立辊侧压量太小或精轧、卷取的侧导板开口小,冷却水或除鳞水使用不当等。

检验结果及调查情况表明,某厂板卷“烂边”形式的边裂缺陷大多在轧制前就已存在,缺陷产生主要来自炼钢冶炼脱氧不良、浇注卷渣、浇注异常,板坯的表面针孔皮下气泡及角横裂的可能性较大。例如,有 8 块铸坯,轧出 5 块都产生了严重“烂边”缺陷,余下 3 块板坯返回板坯库,待空冷后检查发现铸坯断面存在明显的蜂窝状气泡。皮下气泡在加热炉内暴露后就会氧化,铸坯上的角横裂同样会氧化,暴露的气泡及角横裂内的氧化夹层无法除掉,立辊侧压量大小虽不是产生边裂的主要工序,但它可暴露或缓解边裂缺陷的程度。某厂板卷“翘边”形式的边裂缺陷大多是在轧制后产生的,调查显示该缺陷出现时炼钢工艺控制基本正常,但缺陷板卷有近一半试样的缺陷处都有晶粒粗大现象,同时也发现晶界氧化的痕迹;大部分板坯在待轧时存在过热过烧现象或特征,过热或过烧导致板卷产生边裂。

5 工艺优化及成效

5.1 工艺优化

(1) 严格执行各钢种的操作规程,特别要严格执行脱氧制度。

(2) 改进中包烘烤,加强中包周转,减少乃至消除浇铸头坯的气孔缺陷。

(3) 严格保护浇铸制度,避免敞浇,确保浇铸过程温度、拉速的稳定。

(4) 浇注过程中,不同浇注断面根据水模试验结果严格控制水口插入深度(见表 1)。

(5) 强化各种原、辅料的规范管理,加大覆盖剂、

表 1 浇铸断面与水口插入深度对应关系

Table 1 Correlation of casting cross-section and immersion depth of SEN

浇铸断面/mm × mm	水口插入深度/mm
200 × 1 300	110 ~ 120
200 × 1 500	100 ~ 110
230 × 1 000	120 ~ 130
230 × 1 300	110 ~ 120

注:水口插入深度指结晶器液面至水口侧孔上沿的距离

中间包保护渣的抽查和管理力度等。

(6) 对由角横裂引起的热轧板边裂要减少结晶器卷渣、稳定操作,二冷区采用弱冷却、减少作用在坯壳上的机械外力;铸坯进拉矫机的矫直温度避开 700 ~ 900 的低温脆性区。

(7) 加强铸坯的清理检查验收工作,对脱氧不良或浇注异常的铸坯,要加强管理,尽可能去除板坯表面缺陷。对带有严重蜂窝气泡的铸坯应判废,对带有严重角横裂的板坯要进行处理。

(8) 在轧钢过程中加强对坯料的管理,避免铸坯过热过烧,对加热制度、轧制工艺进行优化改进。

5.2 成效

通过采取以上措施,热轧板卷边裂缺陷得到了有效控制。板坯边裂缺陷率由原来的 80 ~ 85 炉/月降至 4 ~ 5 炉/月,目前板卷“烂边”缺陷基本得到了消除,“翘边”缺陷由原来的 17.6% 降至 1.2%,见图 6。

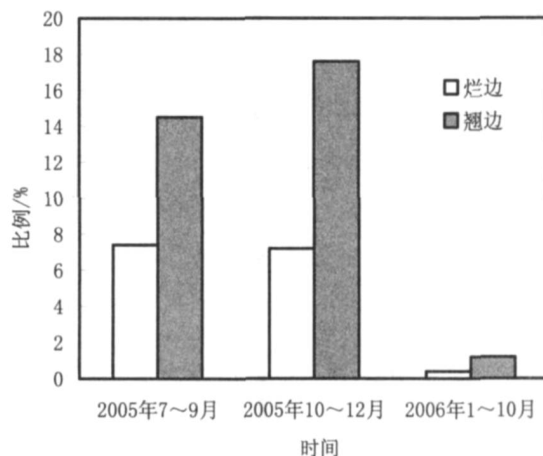


图 6 攻关前后热轧板卷边裂缺陷变化

Fig. 6 Change of edge cracking defects of hot-rolled strips before and after renovation

6 结论

(1) 热轧板卷“烂边”边裂缺陷的主要原因是连铸坯表面皮下气泡较多、冶炼过程脱氧不良。

(2) 热轧板卷“翘边”边裂缺陷处大多存在晶粒粗大、晶界氧化现象,表明铸坯待轧时存在边角局部过热过烧现象。

(3) 针对热轧板卷边裂成因对工艺进行了优化改进,取得了较好效果,板坯边裂缺陷率由 80 ~ 85 炉/月降至 4 ~ 5 炉/月,板卷“烂边”缺陷基本消除,“翘边”缺陷率由 17.6% 降至 1.2%。

参考文献:

- [1] Jiao Guohua, Wu Guangliang, Sun Yanhui, *et al*, Reason and Control of Edge Cracking of CSP Hot - rolled Strips[J]. Iron and Steel, 2006, 41(6): 27 - 31.
(焦国华, 吴光亮, 孙彦辉, 等. CSP 热轧板卷边部裂纹成因及控制[J]. 钢铁, 2006, 41(6): 27 - 31.)
- [2] Yuan Weixia. Overview on Longitudinal Cracks on Continuous Cast Slabs[J]. Steel Making, 1997, (5): 47 - 50, 62.
(袁伟霞. 热轧板坯纵裂纹综述[J]. 炼钢, 1997, (5): 47 - 50, 62.)
- [3] Cai Kaike. Continuous Casting Principle and Process[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1994. 337 - 340.
(蔡开科. 连续铸钢原理与工艺[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994. 337 - 340.)
- [4] Jiang Yafei. Analysis of Surface Defects of Medium Plate Rolled from Continuous Casting Slab[J]. Iron and Steel, 1998, 33(8): 27 - 30.
(姜亚飞. 连铸板坯轧制中板的表面缺陷[J]. 钢铁, 1998, 33(8): 27 - 30.)

编辑 杨冬梅

《钢铁钒钛》征稿启事

《钢铁钒钛》于 1980 年创刊,国内统一刊号为 CN51 - 1245/TF,国际标准刊号 ISSN1004 - 7638,是国内全面而又系统报道钒钛磁铁矿冶炼及钒钛资源综合利用的正式刊物,为中国科技核心期刊、冶金优秀期刊,入编“万方数据—数字化期刊群”、“清华同方中国学术期刊网”、“科技部西南信息中心《中文科技期刊数据库》”,并被国外三大著名数据库(俄罗斯《文摘杂志》、美国《化学文摘》和《剑桥科学文摘》)收录。

本刊主要报道钒钛磁铁矿冶炼、金属材料等方面的基础理论、科研成果和先进工艺技术,并重点报道钒钛资源的综合利用,开发和研究的内容。

为了进一步提高刊物质量,突出刊物特色,扩大期刊知名度,本刊常年向全国从事钒钛磁铁矿冶炼及钒钛资源综合利用的广大科技工作者征稿,重大成果或有基金项目资助的论文优发刊发。

稿件具体要求如下:

1) 来稿力求主题鲜明、观点明确、数据可靠、内容充实、层次清楚、文字简练。试验研究文章以每篇字数不超过 6000 字为宜(包括图、表),综述性文章一般不超过 7000 字。

2) 来稿必须有 200 ~ 300 字的摘要和 3 ~ 8 个关键词,作者还应将文稿题目、作者姓名、单位、摘要、关键词译成英文。

3) 论文稿须用计算机打印,建议采用 Word 进行编辑。论文中的外文字母、符号须分清大小写、正斜体,上下角的标识应区别明显。计量单位一律采用国家标准规定的法定计量单位,切忌使用淘汰和废弃的单位。

4) 论文中图表须有中英文图题和表题。插图请注明作图软件名称,并提供原始格式。

5) 参考文献以文中出现的先后次序编排,非公开发表的资料一般不用。著录规则按国家标准规定的要求进行。非英文的文献应提供英文对照。

6) 来稿将在 1 个月内通知作者是否录用,超过此期限未收到刊用通知,作者可自行处理,本刊一律不退稿。

7) 来稿请注明作者详细地址,以便联系。第一作者需提供有关资料,包括:姓名、性别、籍贯、民族、职务、职称、专业、长期从事的工作及主要研究方向等。

敬请广大作者、读者协助,共同办好本刊。欢迎赐稿,欢迎咨询。

来稿请寄:四川省攀枝花市攀枝花钢铁研究院《钢铁钒钛》编辑部。

邮编:617000

电话:(0812) 3380539 (0812) 3380764

E-mail: pgbjb @263. net

gftbjb @sina. com

传真:(0812) 3380533

《钢铁钒钛》编辑部

2008 年 5 月