

影响 ML08Al 钢冷顶锻开裂的原因分析

陈建东¹, 刘玉君²

(1. 河北敬业集团钢铁有限公司 技术研究中心, 河北 石家庄 050409; 2. 江苏沙钢集团 转炉炼钢厂, 江苏 张家港 215625)

摘要: 从生产工艺上分析了影响 ML08Al 钢冷顶锻开裂的原因。分析结果认为: [Al]_s 低, [N] 含量高, [Al]_s/[N] 小于 6.0 的比例大, 且冷墩前氮的时效硬化危害没有得到有效消除; 保护渣卷入铸坯、钙处理效果不好等多方面因素导致了 ML08Al 钢冷顶锻开裂。

关键词: ML08Al 钢; 冷顶锻开裂; 原因

中图分类号: TG142.1

文献标识码: B

文章编号: 1006-5008(2017)09-0057-06

doi: 10.13630/j.cnki.13-1172.2017.0915

ANALYSIS OF THE CAUSE OF COLD FORGING CRACKING OF STEEL ML08Al IN COLD HEADING UPSETTING

Chen Jiandong¹, Liu Yujun²

(1. Technology Research Center, Hebei Jingye Group Iron & Steel Co., Ltd., Pingshan, Hebei, 050409; 2. Converter Steel-making Plant, Jiangsu Shasteel Group Co., Ltd. Zhangjiagang, Jiangsu, 215625)

Abstract: The causes of cold heading upsetting cracking of ML08Al steel were analyzed from the production process. The result showed that many factors led to cold heading upsetting cracking of ML08Al steel, including the lower [Al]_s, the higher content of Nitrogen, the larger proportion of [Al]_s/N ≤ 6, the failure of effective elimination of aging hardening hazards of nitrogen before cold forging, mold powder entrapment in casting blank, poor effect of Calcium treatment.

Key Words: ML08Al steel; cold heading upsetting cracking; cause

0 引言

ML08Al 钢可用于生产低级别的紧固件, 如螺栓、螺钉、螺母、销钉等, 市场容量较大。其冷顶锻变形量 1/3 ~ 1/4^[1], 成型速度超过 100 只/min。因此, 除轧材必须要有良好的表面质量外, 还需要对 ML08Al 铸坯的化学成分、钢水氮含量进行有效地控制, 确保 ML08Al 钢具有高的韧性、低的抗拉强度、氮的时效硬化危害小、大的断面收缩率和伸长

率, 以满足大变形量的加工需要。

1 工艺流程

河北敬业钢铁集团有限公司 ML08Al 钢生产工艺流程: 铁水 KR 预处理 → 150 t LD → 150 t LF → R9 m CC (10 机 10 流 165 mm × 165 mm) → 热送加热炉 → 高速线材轧机 → 成品检验入库。ML08Al 钢的化学成分见表 1。

表 1 ML08Al 钢的化学成分
Tab. 1 Chemical composition of ML08Al

wt%
wt%

项目	C	Si	Mn	P	S	Al
国标要求	0.05 ~ 0.10	≤ 0.10	0.30 ~ 0.60	≤ 0.035	≤ 0.035	≥ 0.020
内控要求	0.05 ~ 0.08	≤ 0.05	0.30 ~ 0.40	≤ 0.025	≤ 0.010	0.030 ~ 0.045

收稿日期: 2017-06-06

作者简介: 陈建东 (1967-) , 男, 工程师, 1989 年毕业于华东冶金学院钢铁冶金专业, 现在河北敬业钢铁有限公司技术研发中心从事纯净钢的冶炼技术研究, E-mail: chenjiandong0731@126.com

2 控制要点

2.1 提高 $[Al]_s$ 含量

适当提高 $[Al]_s$,将 $[Al]_s/[N]$ 的比值控制在 6.0 以上,可以保证 ML08Al 钢的冷加工性能^[2]。

2.2 降低 $[N]$ 含量

ML08Al 钢中的氮是有害的。氮使钢产生时效硬化,强度上升、韧性和塑性下降;氮使钢产生蓝脆,即出现强度最大而塑性、韧性极差的现象^[3,4]。

3 冶炼工艺研究

3.1 转炉工艺

3.1.1 入炉铁水要求

通过 KR 处理后,入炉铁水成分、温度见表 2。

表 2 入炉铁水成分、温度

Tab. 2 Hot metal composition and temperature

C/%	Mn/%	P/%	S/%	T/℃
4.0~4.5	0.45~0.60	≤0.15	≤0.008	≥1 300

3.1.2 转炉终点控制

(1) 全程底吹氩气,加强熔池搅拌。

(2) 前期高枪位化渣,增加炉渣的氧化性及流动性,开吹 6 min 左右,倒“初渣”,目的是低温下提前去除钢水中部分磷。

(3) 采用拉低碳增碳法,终点 $[C] \leq 0.04\%$ 。

(4) 选用前期出钢孔,出钢时间 >270 s,出钢过程保持钢流呈圆柱状不散流,下渣量得到有效控制。

(5) 终点温度 $\geq 1\ 660$ ℃。

3.1.3 炉后合金化及预脱氧

根据终点碳情况,经过多炉次试验,确定 ML08Al 终点 $[O]$ 溶为 685~1 000 ppm,炉后加铝锰铁(含铝 22%、锰 45%) 5 kg/t、钢芯铝(含铝 50%) 1 kg/t、适量电石粒、石灰 4 kg/t、萤石 1 kg/t 脱氧合金化。炉后 $[Al]_t$ 控制目标 0.060%~0.075%、 $[Mn]$ 进入控制目标、 $[C]$ 入规格下限。

3.2 150 t LF 精炼

ML08Al 钢冶炼虽然可以选用非精炼工艺,但是考虑到中间包水口絮流、转炉终点温度与终点磷相匹配等问题,最终还是确定选用 LF 流程。

3.2.1 渣系的选择

针对 ML08Al 钢的特点,选用 $CaO-Al_2O_3-CaF_2$ 三元渣系。该渣系的特点是熔点低、碱度高、流动性好,吸附夹杂物的能力强。任选 5 炉精炼终渣检测其化学成分,结果见表 3,这 5 炉精炼终渣在 $CaO-Al_2O_3-CaF_2$ 基渣系相图上的分布情况如图 1 所示。

表 3 精炼终渣的化学成分

Tab. 3 Chemical composition of final slag in refining

炉号	CaO/%	SiO ₂ /%	Al ₂ O ₃ /%	MgO/%	CaF ₂ /%	MnO/%	TFe/%	S/%	C/A	二元碱度(R)
17603211	43.90	3.2	34.0	6.45	10.6	0.20	0.54	0.505	1.29	13.72
17603214	43.04	2.8	36.1	7.02	9.5	0.20	0.63	0.509	1.19	15.37
17603215	40.53	2.4	38.3	6.20	11.2	0.16	0.47	0.484	1.06	16.89
17603226	43.41	3.3	35.4	7.31	9.0	0.23	0.51	0.576	1.23	13.15
17603230	44.17	2.1	34.9	6.58	10.9	0.19	0.45	0.513	1.27	21.03

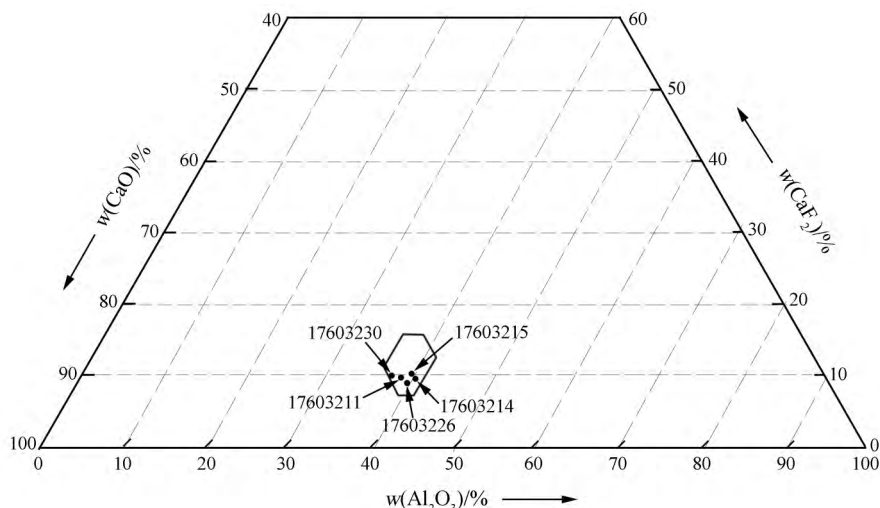


图 1 精炼渣在 $CaO-Al_2O_3-CaF_2$ 基渣系中的分布情况

Fig. 1 Distribution of refining slag in $CaO-Al_2O_3-CaF_2$ -based slag system

3.2.2 控[Al]_t要点

第一样必须在白渣下取样分析,根据第一样分析结果,按喂线后铝的收得率 75% 计,将[Al]_t调整到 0.050% ~ 0.065%,直到精炼终点,不得再喂铝线及加含铝的脱氧剂。该过程(包括 LD 炉后控铝)的根本目的是尽可能延长 Al₂O₃ 的上浮时间。铝脱氧生成的 Al₂O₃ 是熔点很高的、细小不规则形状的质点,难于聚合成大质点,它能在钢液强大的对流作用下上浮去除一部分,主要是因为钢液对 Al₂O₃ 的粘附能力小,不易为钢液所润湿^[5]。

3.2.3 控[N]

(1) 埋弧操作,减少钢水吸氮。第一样前用 Al 粉 + 电石粒(1:1)脱氧,第一样之后只采用电石粒脱氧。

(2) 尽可能缩短 LF 升温时间。因为电弧区的温度高达 6 000 ℃ 以上,足以分解空气中的 N₂,精炼时间越长,钢水增氮越多^[6]。

(3) 严格氩气控制制度,大流量氩气搅拌升温 5 min → 中流量氩气升温 → 1 570 ℃ 左右时小流量氩气保温 → 喂钙线后微流量氩气(不露钢水)软吹。

3.2.4 控温

ML08Al 钢水的液相线温度是 1 528 ℃,中间包

钢水过热度 15 ~ 35 ℃,钙处理前钢水温度 1 595 ~ 1 605 ℃,LF 炉出钢温度 1 575 ~ 1 585 ℃(正常连浇)。

3.2.5 重钙处理

ML08Al 成品[Al]_t为 0.030% ~ 0.045%,Al₂O₃ 夹杂物变性需要采用重钙处理,确保 LF 炉吊包前 T[Ca]/[Al]_s = 0.08 ~ 0.11, T[Ca]需控制到 0.002 5% ~ 0.003 5%,按 2.0 ~ 2.2 m/t 喂入纯实心钙线(285 g/m),喂入速度 ≥ 3.5 m/s;喂入 Ca 线后,必须保证软吹时间 ≥ 15 min 方可吊包转运连铸,连铸工序可以拒绝软搅拌时间 < 15 min 的精炼钢水。

3.3 连铸工艺

ML08Al 钢冶炼选用低碳冷镦钢专用保护渣^[7],保护渣成分见表 4;全程保护浇铸,中间包液面采用中空型覆盖剂覆盖液面,连浇 6 ~ 7 炉炉后,浸入式水口插入深度控制在 90 ~ 120 mm 之间,水口氩气流量 0.05 ~ 0.08 L/min,中间包使用寿命 ≥ 16 h;采用 M-EMS 电磁搅拌,搅拌电流 480 A、频率 3 Hz。二冷比水量 1.15 ~ 1.35 L/kg,拉速控制在 1.7 ~ 2.0 m/min。

表 4 ML08Al 钢专用保护渣成分

Tab. 4 Composition of specialized mold powder of ML08Al steel

型号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	F	TC
BRK-Z	29.28	4.22	0.63	34.46	2.52	8.84	9.4	6.75

wt%

wt%

4 试制结果及分析

4.1 冷镦开裂情况分析

4.1.1 裂口处有外来非金属夹杂物

螺栓、螺母冷顶锻 1/4 时的鼓形外侧开裂照片如图 2 所示。用户采用高速一次成型工艺,所加工产品的开裂量占总冷顶锻量的 7% ~ 8%。图 3 为裂口处夹杂物的能谱分析结果,图 4 为裂口处的夹杂物形貌。

从裂口处夹杂物能谱分析结果来看,Ca、Al、C、O、K、Cl、S 都有显示,但铝没有峰值,钠含量很少,被归一化了,说明在裂口处出现了 Ca、C、K、Cl、S、O 等的微区富集现象。硫在夹杂物中以 CaS 的形式存在,不排除重钙处理时 Ca 线与钢水中的硫发生反应,有一部分 CaS 黏附在钙铝酸盐上。图 3 能谱分析结果与方坯保护渣相似(表 3)。



图 2 ML08Al 冷镦产品开裂现象

Fig. 2 Cold forging cracking of ML08Al product

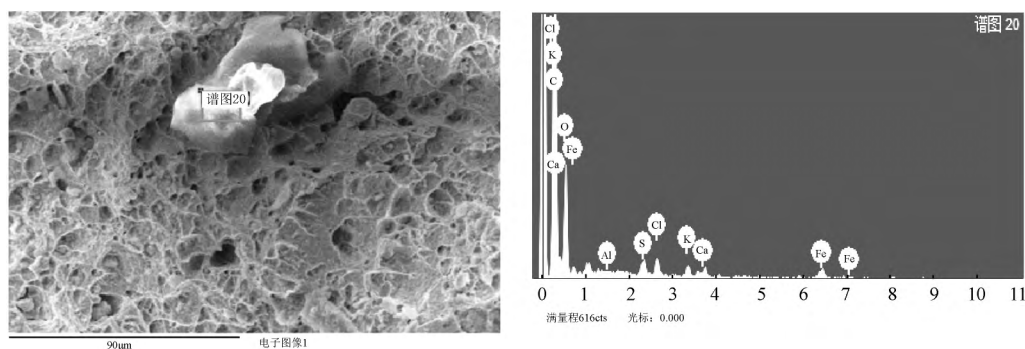


图 3 裂口处夹杂物成分能谱分析结果

Fig. 3 Energy spectrum analysis result of crack inclusions

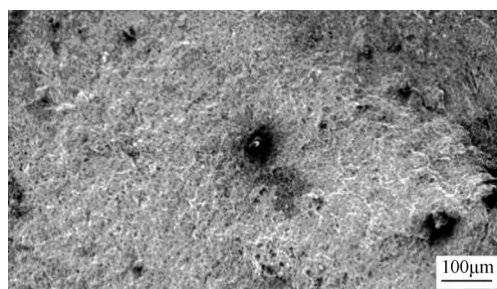


图 4 夹杂物分布形貌

Fig. 4 Morphology of inclusion distribution

图 4 表明,ML08Al 钢冷镦开裂处的夹杂物粒径大于 $70\ \mu\text{m}$,是外来非金属夹杂。由表 3 可以看出,保护渣的成分跟该外来夹杂物的成分相近,说明夹杂物是浇铸过程中卷入的保护渣,该级别的夹杂物足以成为 ML08Al 钢冷顶锻时大变形的裂纹源。

4.1.2 [N]超标

表 5 是 ML08Al 钢一个浇次(20 炉钢)冶炼过程的主要化学成分,Alt、Als、T[Ca]为中间包成品样。

表 5 ML08Al 钢冶炼过程的化学成分

Tab. 5 Chemical composition of ML08Al during smelting process

炉号	[N]/ppm				Alt/%	Als/%	T[Ca]/%	T[Ca]/[Al]s
	入 LF 炉	喂 Ca 线前	吊包前	铸坯/盘圆				
17503209	31.8	45.2	48.8	56.8	4.93	0.037	0.028	0.002 1
17503210	27.4	42.7	47.8	56.3	5.68	0.039	0.032	0.002 4
17503211	30.9	45.4	49.3	58.2	5.50	0.041	0.032	0.001 9
17503212	31.8	46.6	51.2	60.5	4.96	0.037	0.030	0.002 8
17503213	32.5	46.4	50.8	59.1	5.58	0.040	0.033	0.002 2
17503214	26.3	42.2	46.2	54.7	6.40	0.043	0.035	0.003 1
17503215	29.0	44.7	49.3	59.0	4.92	0.037	0.029	0.002 3
17503216	32.1	47.7	51.9	59.8	6.02	0.042	0.036	0.003 7
17503217	30.6	45.4	50.0	59.6	5.03	0.038	0.030	0.002 7
17503218	33.4	47.4	52.2	61.1	5.72	0.040	0.035	0.002 0
17503219	27.8	43.5	47.8	57.8	5.53	0.038	0.032	0.003 3
17503220	29.6	44.8	48.5	57.6	6.07	0.041	0.035	0.002 4
17503221	32.4	46.6	51.6	61.4	5.54	0.039	0.034	0.001 8
17503222	31.5	45.4	50.0	58.3	5.49	0.040	0.032	0.002 9
17503223	34.2	49.5	53.8	61.7	4.70	0.037	0.029	0.003 7
17503224	27.5	43.8	48.3	58.2	6.19	0.042	0.036	0.002 8
17503225	29.3	45.0	49.3	58.1	5.34	0.039	0.031	0.002 3
17503226	28.3	45.0	48.8	57.2	5.07	0.037	0.029	0.003 1
17503227	27.6	42.3	47.0	55.6	5.39	0.038	0.030	0.002 6
17503228	30.6	45.3	49.5	56.4	6.03	0.040	0.034	0.003 0

由表 5 可知,该浇次中,从入 LF 工位到吊包转运连铸期间,平均增氮为 19.38 ppm;连铸平均增氮 8.76 ppm。盘圆上的 $[Al]_s/[N]$ 平均 5.50, $[Al]_s/[N]$ 大于 6.0 的比例占 25%,氮对 ML08Al 冷顶锻的有害作用没有得到有效地控制,盘圆外表面 HV 平均为 195.5,比邯钢的 HV 高出 20。图 5 为冶炼各阶段 $[N]$ 变化情况。

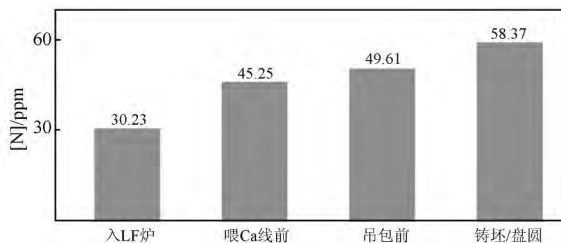


图 5 各阶段 $[N]$ 的变化情况

Fig. 5 The change of $[N]$ content in each stage

造成 LF 炉增氮的主要原因:一是钢包口粘结大量冷钢,炉盖与包口缝隙大;二是组织协调不到位,钢包在 LF 炉蹲包时间长,温降大,升温时吸氮多;三是底吹氩气制度执行不到位,特别是升温期氩气流量大、喂线时氩气流量大,钢水裸露严重。

另外,钢包到铸坯/盘圆增氮也很明显。主要原因:一是氩封漏气,有空气随钢流卷入中间包;二是中间包冲击区钢水裸露时间长,不能严格执行中间包黑渣操作制度;三是换包期间长水口频繁进出中包液面,空气卷入多;四是保护渣性能差,浸入式水口壁上时常有红渣出现,保护渣补加不及时。

4.1.3 重钙处理不到位

从中间包成品样来看, $T[Ca]$ 小于 0.002 5% 的比例占 45%, $T[Ca]$ 小于 0.003 0% 的比例占 70%, $T[Ca]/[Al]_s \geq 0.09$ 的比例只有 30%,钙处理效果不明显^[8]。部分 Al_2O_3 没有得到变性,进入铸坯,这些高熔点脆性夹杂也是造成 ML08Al 钢冷顶锻开裂的原因之一。

4.2 其他因素对冷顶锻开裂的影响分析

4.2.1 盘圆外观质量

部分炉次盘圆外表面轧制后出现较多量“赘肉”,如图 6 所示。采集制样后通过能谱分析,这些缺陷部位与基体是同一铁基材料、组织相同,这些“赘肉”是由于精轧机轧辊掉块所致。

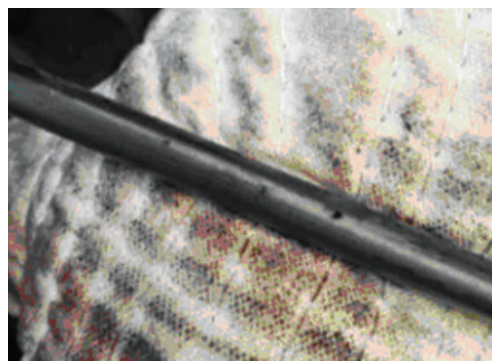


图 6 刚刚下线的 ML08Al 盘圆外表面结疤

Fig. 6 External surface scarring of wire rod of ML08Al just produced

4.2.2 裂口处的金相组织

ML08Al 钢的金相组织,主要是铁素体 + 珠光体。裂口处的形貌、金相组织分别如图 7、图 8 所示,裂口深 0.1 ~ 0.5 mm,裂纹末端比较尖,未见明显的氧化圆点,基本判断并不是铸坯带入的微裂纹。从金相提供的照片上只能判断开裂是由于在冷加工过程中,ML08Al 本体的变形量承受不了基体所能承受的最大塑性流动量,在外力作用下因表面过硬导致撕裂。

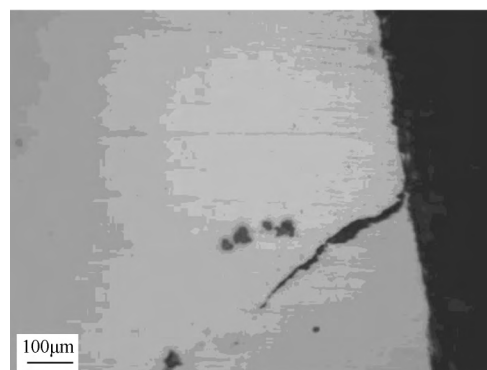


图 7 裂口处形貌

Fig. 7 The morphology of the cracking

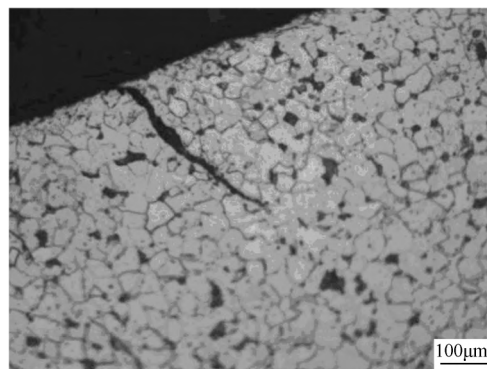


图 8 裂口处金相组织

Fig. 8 The metallographic structure of the cracking

5 结论

(1) $[Al]_s$ 含量低, $[Al]_s/[N]$ 值小(小于 6.0), 引起 ML08Al 材质冷镢开裂。

(2) $[N]$ 含量偏高, 且冷镢前氮的时效硬化导致 ML08Al 钢的塑性、韧性变差, 引起冷镢开裂。

(3) 浇铸过程有保护渣卷入, 产生外来非金属夹杂, 引起螺栓、螺母冷顶锻开裂。

(4) 冷镢断口上 500 倍金相检测没有发现引起开裂的微裂纹源, 工件表面过硬导致螺栓、螺母冷镢时撕裂。

(5) 盘圆外表面的“赘肉”是由于精轧机轧辊掉块所致, 并不是造成螺栓、螺母冷镢开裂的微裂纹源。

参考文献

- [1] 刘学华, 韩传基, 蔡开科, 等. 小方坯连铸低碳低硅铝镇静钢可浇性[J]. 北京科技大学学报, 2006 (8): 432 ~ 434.
- [2] 孔祥涛, 王丽萍, 李舒筋, 等. 连铸工艺开发冷镢钢 ML08Al 生产实践[C]//第七届(2009)中国钢铁年会论文集, 2009: 592 ~ 596.
- [3] 雷亚, 杨治立, 任正德, 等. 炼钢学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010: 65.
- [4] 贾育华, 张治广, 赵艳军, 等. 酸溶铝在 ML08Al 钢中行为的研究[J]. 河北冶金, 2004 (2): 14.
- [5] 黄希祐. 钢铁冶金原理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010: 396.
- [6] 魏军. BOF-LF-CSP 流程低碳铝镇静钢非金属夹杂物行为研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2004: 49 ~ 56.
- [7] 孔俊其, 张玉军, 王志义, 等. ML08Al 钢表面缺陷分析及改进措施[J]. 河北冶金, 2004 (2): 49.
- [8] 蔡开科. 连铸坯质量控制[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010: 57.

欢迎订阅 2018 年《河北冶金》

主管: 河北省金属学会

主办: 河北省金属学会 河钢集团有限公司

办刊宗旨: 服务于冶金行业、服务于广大读者, 促进冶金工业的发展

读者对象: 冶金企事业单位、高等院校、科研院所、图书馆及有关单位的工程技术人员

内容: 与冶金工业和冶金研究有关的、冶金行业关注的新技术、新材料、新工艺、新设备

刊物定位: 学术性、实用性、技术性

主要栏目: 专题报道、综述评论、试验研究、技术交流、节能减排、经济管理、信息文摘、学会动态等

联系电话: 0311 - 89874718 85671316

传真: 0311 - 85062956

联系地址: 河北省石家庄市跃进路 167 号

邮编: 050031

电子信箱: hbyj@chinajournal.net.cn

网址: www.hbyjqk.com

国际标准连续出版物号: ISSN1006 - 5008

国内统一连续出版物号: CN13 - 1172/TF

邮发代号: 18 - 334(国内) BM1823(国外)

刊期: 月刊

发行范围: 国内外公开发行

广告经营许可证号: 冀工商广字 1301024D00041

单价: 20 元

全年价: 240 元(含邮寄费)

订阅方式: 本刊编辑部或全国各地邮局