

利用冶金渣试制蒸压粉煤灰标准砖研究

粉煤灰综合利用公司 何俊廷

摘要 利用高炉矿渣、冶金铬渣、不锈钢渣和珠光砂试制蒸压粉煤灰标准砖。检测不同固体废弃物试制粉煤灰砖的抗折、抗压强度,为蒸压粉煤灰标准砖工艺创新寻找思路。探索冶金行业主要固体废弃物在蒸压粉煤灰标准砖方面的资源化综合利用途径。

关键词 蒸压粉煤灰标准砖 高炉矿渣 冶金铬渣 不锈钢渣 珠光砂 强度

1 引言

蒸压粉煤灰标准砖是指以粉煤灰、石灰或水泥为主要原料,掺加适量石膏和集料经混合料制备、压制成型、高压的粉煤灰砖。蒸压粉煤灰砖的尺寸为 240mm × 115mm × 53mm,与普通实心粘土砖完全一致,抗压强度至少可达到 10MPa,所以用蒸压砖可以直接代替实心粘土砖用于建筑工程。蒸压粉煤灰标准砖具有潜在活性,在潮湿环境中能继续产生水化反应而使砖的内部结构更为密实,有利于强度的提高。

目前太钢(集团)粉煤灰综合利用有限公司生产的蒸压粉煤灰标准砖所用生产原料主要有粉煤灰、生石灰、石子和炉底渣。本文尝试利用高炉矿渣、冶金铬渣、不锈钢渣和珠光砂试制蒸压粉煤灰标准砖,主要目的是为蒸压粉煤灰标准砖工艺创新寻找思路,探索冶金行业主要固体废弃物在生产蒸压粉煤灰标准砖方面的资源综合利用途径。

2 试验

2.1 原材料

(1)粉煤灰。采用太钢自备电厂产生的

粉煤灰。烧失量 $\leq 8\%$,细度 $\leq 45\%$ (0.045mm 筛余)。

(2)生石灰。试验用生石灰 A_{CaO} 含量为 $\geq 55\%$,消解速度 $\leq 10\text{min}$,消解温度 $\geq 45^\circ\text{C}$ 。

(3)石子。采用粒径 0~10mm 石子。

(4)粗渣。即炉底渣,烧失量 $\leq 15\%$,含水率 $\leq 30\%$ 。

(5)矿渣。太钢高炉水渣,为炼铁熔融的矿渣在骤冷时,来不及结晶而形成的玻璃态物质,呈细粒状。含 SiO_2 多的矿渣为酸性矿渣,含 Al_2O_3 和 CaO 多的为碱性矿渣。碱性矿渣的活性比酸性矿渣高。矿渣由于具有一定的自身水硬性,不宜长期存放。

(6)铬渣。主要指在生产不锈钢过程中冶炼铬矿石时产生的废渣。其所含主要矿物有方镁石(MgO)、硅酸钙($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)、布氏石($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$)和 1%~10% 的残余铬铁矿等。

(7)不锈钢渣。冶炼不锈钢过程中产生的废渣。

(8)珠光砂。由酸性火山玻璃质熔岩经破碎、预热、焙烧膨胀而制成的具有多孔结构的、白色、粒状松散材料,具有容量小、导

热系数低、化学稳定性好、不燃、无毒、无味、吸音等特性。

各类原料化学成分见表1。

2.2 试验方法

首先使用砂浆搅拌机混合搅拌各类物料,将混合物料置于封闭容器消解2h。然后使用试验压力机与钢模具压制成型,压力13MPa。最后将砖坯放入蒸养釜进行蒸压养护,蒸养温度174℃,蒸养时间12h。蒸养结束检测抗折、抗压强度。

2.3 试验方案

分批次使用铬渣、不锈钢渣替代蒸压粉煤灰标准砖的骨料部分进行试制;使用矿渣替代石子和生石灰进行试制;使用珠光砂部

分替代粗渣进行试制,检测不同物料的掺入对蒸压粉煤灰标准砖强度产生的影响,研究各类固体废弃物在制备粉煤灰砖方面的可行性。试验配比见表2、表3、表4和表5所示。

3 数据记录和分析

不同种类固体废弃物试制粉煤灰砖的单块重量、强度记录见表6~9。

通过试验结果可以看出,超细粉替代骨料试制的粉煤灰标砖平均抗折、抗压强度均不能达到MU10级最低要求,试验1使用超细粉替代生石灰,对粉煤灰标砖的抗折、抗压强度没有显著影响,其中抗折强度与原配

表1 试制蒸压粉煤灰标准砖原料化学成分/%

	TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	K ₂ O	C
粉煤灰	2.89	47.96	27.88	1.9	0.39	0.077	0.1	1.02	7.52
粗渣	3.71	55.62	34.48	2.55	0.31	0.07	0.04	0.75	1.52
矿渣	0.13	18.33	6.55	21.03	3.38	0.01	1	-	-
不锈钢渣	2.67	26.6	3.27	52.4	8.25	0.01	0.31	-	-
珠光砂	-	72.0	12.31	1.00	0.14	0.04	-	4.67	4.94

表2 使用矿渣试制粉煤灰砖试验配比/%

试验序号	粉煤灰	生石灰	粗渣	碎石	矿渣
对比组	47	11	18	24	0
1	47	11	18	19	5
2	47	6	18	24	5

表3 使用铬渣试制粉煤灰砖试制配比/%

试验序号	粉煤灰	除尘灰	粗渣	铬渣
对比组	47	13	22	18
1	37	13	0	50
2	47	13	0	40
3	57	13	0	30

表4 使用不锈钢渣试制粉煤灰砖试验配比/%

试验序号	粉煤灰	除尘灰	不锈钢渣
1	47	13	40
2	37	13	50
3	30	10	60
4	25	5	70

表5 使用珠光砂试制粉煤灰砖试验配比/%

序号	除尘灰	粉煤灰	骨料	粗渣	珠光砂
1	13	47	28	0	12
2	13	47	18	11	11

表 6 使用矿渣试制粉煤灰砖检测结果

	重量 /kg	抗折强度 /MPa	抗压强度 /MPa
对比组	1.35	4.10	16.23
1	1.44	2.43	8.53
2	1.38	4.83	15.40

表 7 使用铬渣试制粉煤灰砖检测结果

	重量 /kg	抗折强度 /MPa	抗压强度 /MPa
对比组	1.45	4.13	19.46
1	1.55	4.28	23.46
2	1.53	4.47	19.75
3	1.44	4.45	20.08

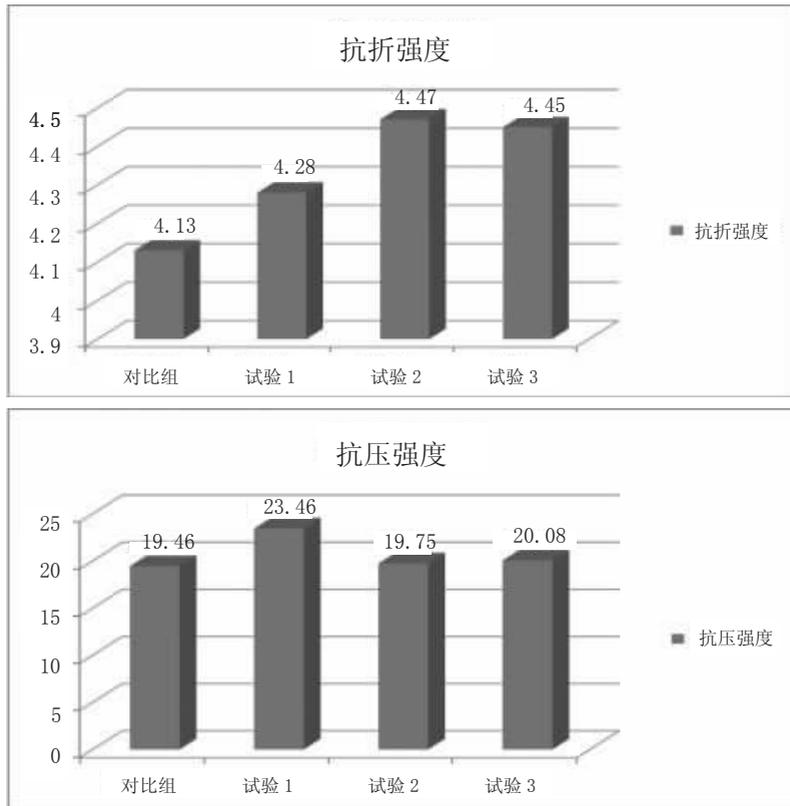


图 1 使用铬渣试制粉煤灰砖抗折、抗压强度对比

表 8 珠光砂粉煤灰蒸压砖强度检测结果

序号	重量 /kg	抗折强度 /MPa	抗压强度 /MPa
1	1.29	2.40	10.10
2	1.46	2.20	10.75

表 9 珠光砂与粗渣指标对比

	含水率 /%	密度 /kg·m ⁻³
珠光砂	40.2	141.1
粗渣	25 ± 4	445.7

比对比还有所提升。

通过图 1 的对比可以看出,试验 2 的抗折强度最佳,且高于原配比。但是抗折强度值差别并不大,最低值(对比组的 4.13MPa)

与最高值(试验 2 的 4.47MPa)相差仅 3.8%。在抗压强度方面,四组配比均达到或接近 20MPa,其中试验 1 抗压强度最高,达到 23.46MPa。对比组与试验 2 抗压强度接近原

配比。四组配比试制灰砖均达到 MU15 级。

使用珠光砂试制的粉煤灰砖抗折、抗压强度均达不到 MU15 级要求。珠光砂与粗渣含水率、密度检测对比见表 10。

表 10 珠光砂与粗渣指标对比

	含水率 /%	密度 /kg·m ⁻³
珠光砂	40.2	141.1
粗渣	25 ± 4	445.7

通过对比可以发现,珠光砂自身含水率较高,密度约为粗渣的 1/3。

4 结论

(1)矿渣少量取代骨料对抗折、抗压强度不利,但对增加单块砖密实度有益。石子的骨架效应不能由超细粉替代。

(2)矿渣超细粉少量取代生石灰对粉煤灰砖的使用没有显著影响,在 5%的比例下能够制成符合 MU15 级使用要求的粉煤灰蒸压标准砖。

(3)不锈钢渣能够完全替代现有粉煤灰蒸压砖配比中的骨料和粗渣,其中掺加量为 40%时能够得到最佳抗折与抗压强度。但是铬钢渣的毒性有待于进一步研究和改进。

(4)珠光砂砂质轻多孔,砂体自身强度较低(可用手指捏碎),多孔结构不利于成型,压制时易形成憋气(从破坏断面出现的层片状断层可以看出)。珠光砂密度小,同质量配比下所占体积约为粗渣的 3 倍,不便于计量、称量和搅拌,不能用于生产粉煤灰蒸压标准砖。

太钢获全球最大烤炉生产企业“最佳供应商”称号

日前,全球最大烤炉生产商——冠荣 / 冠立金属制品有限公司在其建厂十五周年庆典上,授予太钢不锈钢“2016 年度最佳供应商”称号,并颁发奖牌。太钢也是唯一获此殊荣的钢厂。

冠荣 / 冠立金属制品有限公司成立于 2002 年,是一家港商合资企业,主要从事燃气式烧烤炉、取暖炉等五金产品的研发、设计、生产与出口销售。目前,冠荣 / 冠立金属制品有限公司具备年产 400 万台烧烤炉的能力,年销售额达 5 亿美金,在烧烤炉行业雄居全球产量第一,北美市场占有率超过 30%,与全球最大烤炉经销品牌商厨之宝建立长期战略合作,此外与韦伯、维克、家乐福

等烤炉品牌建立长期合作,该公司的宗旨是争取成为“全球最大最强的烧烤炉王国”。

太钢与冠荣 / 冠立的合作始于 2007 年。由于不锈钢产品主要应用在烤炉的壳体、管件等关键部位,因此对不锈钢表面质量、拉伸性能有着非常严格的要求。为此,太钢对其产品进行“量身定制”,确保了用户满意。此外,太钢在运输、包装等方面不断改进,使该生产商满意度不断提高。2014 年,太钢冷连轧生产线投产,此生产线生产的不锈钢产品以其稳定均衡的产品质量得到了该生产商的青睐,采购量不断攀升,使太钢不锈钢产品在烤炉行业长期保持市场占有率第一。(摘自相关报道)

蒸压粉煤灰砖生产工艺研究

粉煤灰综合利用公司 张美霞 李 薇 邢桂军

摘 要 本文针对粉煤灰制备蒸压粉煤灰砖生产用原料(生石灰、粉煤灰、碎石、粗渣)对制品强度的影响进行了研究,发现粉煤灰掺量为 46%、生石灰掺量为 12%、粗渣为 15%、碎石为 27%时,砖坯的强度高且经济性优。同时针对骨料(粉煤灰、碎石)的细度提出最优范围,对于超标参数提出调整办法。

关键词 蒸压粉煤灰砖 正交试验 颗粒级配

1 引言

随着粉煤灰综合利用的不断发展及粘土砖的禁用,蒸压粉煤灰砖因其环保、绿色、性能稳定等特点,生产、使用的越来越多。蒸压粉煤灰砖的主要原材料有粉煤灰、生石灰、除尘灰、粗渣、碎石及水。其中生石灰、除尘灰和部分粉煤灰与水反应,生成胶凝体,起胶结作用,而未参加反应的粉煤灰、碎石、粗渣作为骨料起支撑作用。由于原料基本来自于厂址的周边,原料变化大,对制品的强度影响较大,造成砖坯的质量良莠不齐。本

文针对原料的不同,分析了影响强度的关键因素及各原料性能对制品的影响,并提出改进措施。

2 材料准备

粉煤灰选取太钢电厂的粉煤灰,检测其化学成分如表 1 所示, SiO_2 与 Al_2O_3 的总含量超过 80%,为硅钙反应提供充足的硅质材料。粗渣指从电厂锅炉底部排出经水淬急冷而成的煤粉炉渣,含硅玻璃体(Al_2O_3 和 SiO_2),及少量的未燃煤等。碎石来自于太原周边采石厂。

表 1 粉煤灰化学组成 /%

TFe	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	P
5.14	50.77	31.7	1.66	0.77	0.79

3 试验方法

粉煤灰、生石灰、碎石、粗渣、水渣各种物料按照一定比例配加,送入搅拌机后进行混合搅拌。在混合料充分预混后,将搅拌水逐步加入搅拌机内进行混拌。将混合料进行消化,消化时间 2h。使用成型压力机压制 $240 \times 115 \times 53\text{mm}$ 的砖坯,静停 2h,送入蒸

压釜蒸压养护。

每组试验选取成品 10 块试样进行检测,检测项目包括:抗压强度、抗折强度、砖坯密实度。

4 结果讨论

4.1 原料对成品强度的贡献大小

根据各原料的特点,结合生产实际中的

各原料的合理添加范围,设计了一组四因素三水平的正交表(生石灰替代除尘灰),分析各原料对强度影响的贡献大小,并找出最优配比。表2为正交试验方案、表3为正交试

验配比及成品强度对照、表4为正交表数据处理。试验使用生石灰的CaO为54%,混合物料的含水率为13%。

由表4可以看出,对抗压强度影响程度

表2 正交试验方案

因素	A 粉煤灰 /%	B 生石灰 /%	C 碎石 /%	D 粗渣 /%
	50	10	15	15
水平	47	12	22	21
	45	14	28	27

表3 正交试验配比及成品强度对照

水平	A 粉煤灰 /%	B 生石灰 /%	C 碎石 /%	D 粗渣 /%	平均抗压强度 /MPa
L1	50	10	15	15	14.56
L2	50	12	22	21	15.97
L3	50	14	28	27	17.8
L4	47	10	22	27	16.71
L5	47	12	28	15	19.1
L6	47	14	15	21	19.45
L7	45	10	28	21	16.31
L8	45	12	15	27	18.37
L9	45	14	22	15	19.28

表4 正交表数据处理

	A 粉煤灰	B 生石灰	C 碎石	D 粗渣
Σk_1	48.33	47.58	52.38	52.94
Σk_2	55.26	53.44	51.05	51.73
Σk_3	53.96	56.53	49.97	52.88
极差	6.93	8.95	2.41	1.21

的大小次序为:生石灰>粉煤灰>碎石>粗渣,影响抗压强度的主要因素为生石灰与粉煤灰的掺量。

结合上述试验方案与数值抗压强度的主效应图(图1),当粉煤灰取2水平,生石灰取3水平、碎石取3水平、粗渣取1水平可以使抗压强度达到最高值,即粉煤灰的掺

量47%,生石灰的掺量14%,碎石的掺量28%,粗渣的掺量15%时,蒸压粉煤灰砖的强度最高。考虑到生石灰为外购材料,且价格贵,应尽量减少添加量。试验中采用粉煤灰取2水平,生石灰取2水平、碎石取3水平、粗渣取3水平时,即粉煤灰的掺量47%,生石灰的掺量12%,碎石的掺量28%,粗渣

的掺量 15%时(L5 试验),成品抗压强度达到 19.1MPa,远高于 15MPa,可作为理想的工艺配比,按照 100%核算,得到最优配合比为:粉煤灰的掺量 46%,生石灰的掺量 12%,碎石的掺量 27%,粗渣的掺量 15%。

4.2 粉煤灰细度对坯体密实度的影响

实验室利用 0.045mm 孔径的筛子,筛分得到粒径小于 45 μm 和大于 45 μm 的粉煤灰,按照重量比得到 45 μm 筛余 0%、10%、30%、50%、70%、100%的粉煤灰,试制 240mm × 115mm × 53mm 的标砖试块,成品

重量如图 2。

随着粉煤灰细度的增加,成品重量呈现先增加后降低的趋势。粉煤灰细度越小,活性高,比表面大,与钙质材料反应充分,且砖坯的密实性高,制品的强度优。但粉煤灰并非越细越好,粉煤灰过细,物料的流动性差,在砖机成型过程中气体排出困难,成型质量差,强度低。对于粉煤灰标砖的生产来说,筛余量在 30%~50%时生产过程稳定,产品质量优良。

生产中,粉煤灰的细度是重点关注参

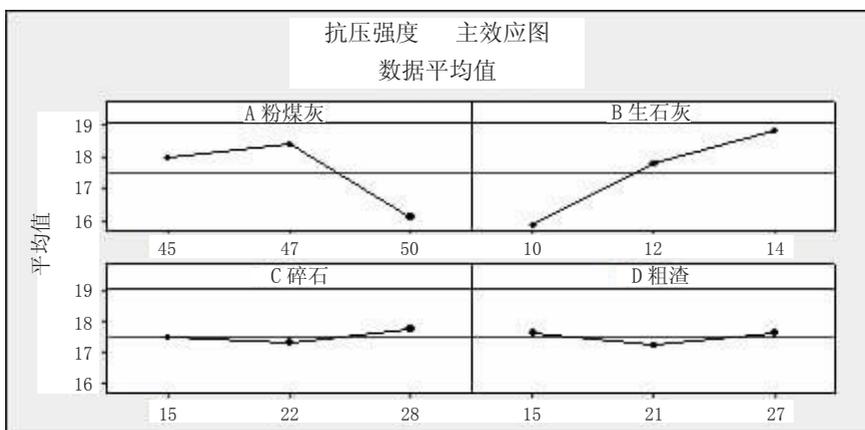


图 1 抗压强度主效应图

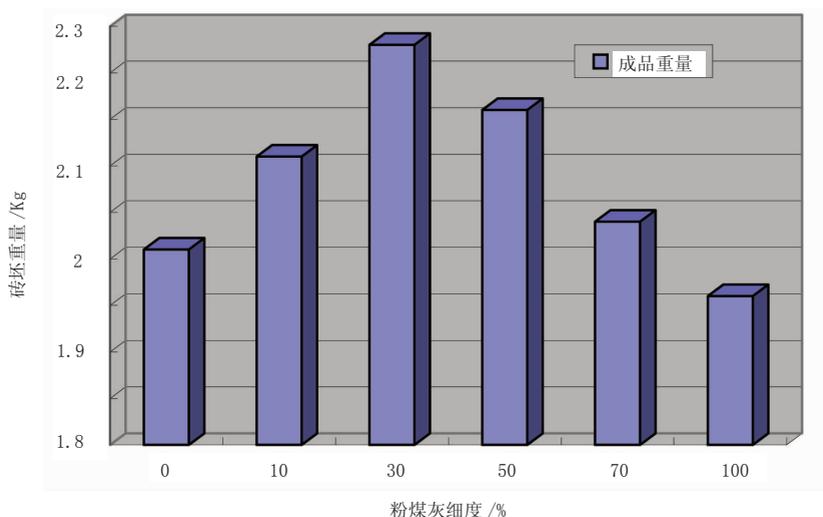


图 2 粉煤灰细度与成品重量的关系

数,针对不同细度的粉煤灰会采取不同的工艺手段:对于细度小于30%的粉煤灰,在砖机成型过程中要适当延长给压时间,使空气有时间排出;当粉煤灰细度大于50%时,适当增加粉煤灰掺加量,降低细骨料的用量。

4.3 碎石颗粒级配对坯体成型参数的影响

碎石是蒸压粉煤灰的主要的细集料之一,它能够提高机压成型时的排气速度,减

少砖坯的分层裂缝,改善砖坯成型时的其他性能,同时碎石的骨架作用可提高砖的强度。碎石的颗粒级配对于其作用的发挥有重要作用。使用实验室的破碎机破碎不同时间,得到不同颗粒级配的碎石(如表5),研究不同颗粒级配的碎石对于成型、成品的影响。

由图3可知:粒径大于5mm的颗粒比

表5 碎石颗粒级配 /%

颗粒分布 /mm	<0.75	≤1.25	≤2.5	≤5	≤10	>10
方案1	11.2	38.6	27.3	12.4	10.5	0
方案2	7.4	20.9	26.8	29.5	15.4	0
方案3	5.4	11.2	15.1	43.4	22.4	2.5
方案4	2.1	8	11.8	44.8	28.8	4.5

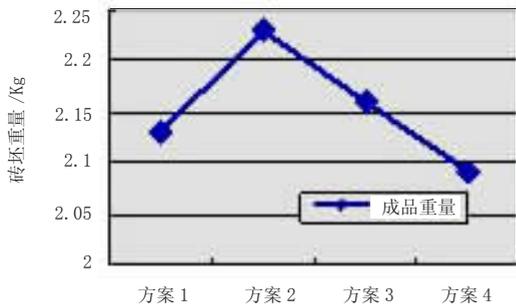


图3 碎石级配对成品重量的影响

例大于20%后(方案3、4),尤其是大于10mm的大粒径颗粒的增多,颗粒间的缝隙过大,填充不充分,强度偏低;当小于0.75mm的粉料大于10%时(方案1),粉料的比表面积大,其分散了粉煤灰的凝胶作用,并产生未能胶结的软弱部分,降低粉煤灰砖的强度。当小于5mm的粒径达到80%以上、小于0.75mm的颗粒比例小于7%时,产品强度最优。

生产过程中,从两方面控制碎石的指标。一是严格控制入厂碎石的含泥量,与颗粒粒径,含泥量小于5%,颗粒粒径小于

5mm。二是通过调整高细破碎机破锤与篦子间距精细控制高细破出料的颗粒级配,既不能有过大颗粒,又要避免粉料的过量。由于环保原因,碎石的质量并不能得到保证,第二方面就显得尤为重要。

5 结论

(1)粉煤灰掺量为46%,生石灰掺量为12%,粗渣为15%,碎石为27%,砖坯的强度高且经济性优。

(2)对于粉煤灰标砖的生产来说,筛余量在30%~50%时生产过程稳定,产品质量优良。细度小于30%的粉煤灰,在砖机成型过程中要适当延长给压时间,使空气有时间排出;当粉煤灰细度大于50%时,适当增加粉煤灰掺加量,降低细骨料的用量。

(3)碎石的粒径小于5mm的达到80%以上、小于0.75mm的颗粒比例小于7%时,产品强度最优。日常生产中要定时调整高细破碎机破锤与篦子间距,精细控制高细破出料的颗粒级配。

含钛不锈钢连铸“结鱼”问题分析及改进措施

炼钢二厂 陈法涛

摘要 针对含钛不锈钢易“结鱼”的难题,炼钢二厂北区通过采取优化钢种成分设计、强化过程钢水温度控制、规范开浇操作和加强浇铸过程保护浇铸等措施,不断改进含钛不锈钢连铸工艺,有效降低了含钛不锈钢发生“结鱼”的几率,保证了含钛不锈钢的铸坯质量。

关键词 含钛不锈钢 结鱼 TiN

1 前言

钛稳定化不锈钢具有优越的抗腐蚀性能,但含钛不锈钢在连铸过程中容易出现“结鱼”(又称结壳或结块)。结晶器“结鱼”会在连铸坯表面形成大量表面缺陷,修磨工艺无法彻底清除,若流通至后部工序,不锈钢中、薄板表面也会形成大量表面缺陷,严重影响板坯表面质量。

炼钢二厂北区不锈钢品种多,易发生结晶器“结鱼”钢种主要集中在含钛 321 系、含钛 316 系、409 系及超纯等,见图 1。2015 年以来,针对含钛不锈钢易“结鱼”的难题,炼

钢二厂北区采取多项措施,不断改进含钛不锈钢连铸工艺以减少钢液中 TiN 的析出,使含钛不锈钢结晶器“结鱼”的次数明显下降,有效保证了含钛不锈钢铸坯质量。

2 “结鱼”机理

结晶器“结鱼”是指含钛不锈钢连铸过程中在结晶器中形成的结壳,即在结晶器内形成的、漂浮在钢液与保护渣接触区域的凝固钢块,图 2 为结晶器“结鱼”示意图^[1],图 3 为结晶器捞出的“结鱼”实物图,图 4 为“结鱼”铸坯经修磨后的表面图,图 5 为对连铸“结鱼”缺陷的扫描电镜图。

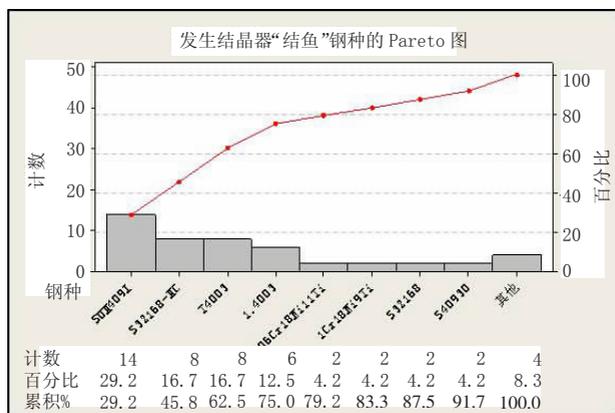


图 1 发生结晶器“结鱼”的钢种柏拉图

量成为解决含钛不锈钢“结鱼”难题的关键。因此,炼钢二厂北区含钛不锈钢防“结鱼”工艺的重点工作主要包括优化钢种成分设计、强化过程钢水温度控制、规范开浇操作、加强浇铸过程保护浇铸等几个方面。

3.1 优化钢种成分设计

研究表明,TiN 的析出与钢液中氮钛积有关([Ti][N]%),减少钢液中[Ti]、[N]的含量可以有效减少钢液中 TiN 的析出,TiN 的析出公式如下:

$$[Ti]+[N]=TiN(S)$$

$$\Delta G_0 = -308799 + 114T \text{ J/mol} \dots\dots (3)$$

同时,含钛不锈钢通过添加合金钛来固碳,防止晶间析出碳化铬,以提高钢种的抗晶间腐蚀能力,因而钢水中[Ti]%含量与钢种[C]%有着密切的关系。

因此,通过降低钢水中 C%、N%、(C+N)%、Ti%和[Ti][N]%等含量,同时严格控制钢液中 Al%含量,保证钢水纯净度,以减少 TiN 的析出,可以有效避免含钛不锈钢的结晶器“结鱼”。

3.2 强化过程钢水温度控制

由 TiN 的析出公式(3)可知,钢水中 TiN 的析出为放热反应。如果钢水温度降低,将增加钢液中 TiN 的析出。因此,适当提高含钛不锈钢的浇铸温度,可以有效减少钢液中 TiN 的析出。

(1)提高钢水出钢温度,增加钢水过热度:普通不锈钢的过热度控制在 25~5℃,含钛不锈钢过热度控制为 35~45℃;同时,避免使用冷包,避免因钢包吸热过多导致钢水温降过大。

(2)加强中包烘烤:针对部分浇次因中包烘烤不足导致钢水温降大而引发的开浇

“结鱼”问题,含钛不锈钢中包烘烤时间以 2.5h 为宜(普通不锈钢中包烘烤时间控制在 2h);同时,生产人员负责对中间包烘烤效果进行二次确认,确保开浇前中包塞棒区包壁温度和下水口内壁温度达到 1100℃以上。

3.3 规范开浇操作

2012 年以来,多起含钛不锈钢“结鱼”发生在开浇过程,随浇铸的进行,“结鱼”问题不断恶化,导致停浇,严重影响生产的顺行。为此,针对连铸开浇过程规范如下:

(1)缩短中包烘烤结束至大包开浇时间至≤5min,降低中间包包内温度损失,严禁出现大中包一起开现象;同时,中包烘烤器抬升至规定位置后,中包冲击区和塞棒区须吹氩气,保证开浇前中包内为无氧化氛围,防止钢水的二次氧化。

(2)首炉开浇 10t 进行测温操作,测温完毕添加覆盖剂,其中冲击区 10 袋、塞棒区 8 袋。待中包液位稳定至正常吨位后,冲击区补加 3 袋、塞棒区 2 袋,确保中包内无钢液裸露。

(3)合理的起注渣加入量:1500mm 以下断面加入 2.5kg,大于 1500mm 断面加入 5kg,避免结晶器液面附近钢水温度因开浇冷却强度过大导致过低。

(4)合理控制出苗时间:若开浇温度符合中包温度要求范围,严格执行表 1 规定的出苗时间要求;若钢水温度出现异常,出苗时间根据实际温度控制情况进行合理控制,含钛铁素体不锈钢出苗时间如表 1 所示。

(5)开浇起步后,检查结晶器液面是否存在“结鱼”或冷钢;确定结晶器无“结鱼”问题,待铸坯行走 2m 后,严禁对结晶器液面大幅度的搅动,保证结晶器液面处于相对稳

表1 含钛铁素体不锈钢出苗时间表

规格 /mm	≤1300	1300 ~ 1600	1600 ~ 1800	≥1800
出苗时间 /s	90	100	110	120

定的状态。

(6)严格控制水口插入深度,确保插入深度符合 $140 \pm 5\text{mm}$ 要求。

3.4 加强浇铸过程保护浇铸

结晶器“结鱼”过程析出的 TiN 主要以钢中 Al_2O_3 或 $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 为核心,因此加强浇铸过程的无氧化保护操作,减少钢水的二次氧化,保证钢水的纯净度,可以有效降低 TiN 析出的动力学条件;同时,通过强化保护浇铸,确保连铸过程增氮量 $\leq 10\text{ppm}$,也降低了连铸“结鱼”发生的几率。

(1)浇铸过程加强对中间包钢液的关注,及时添加覆盖剂,确保中包内无钢液裸露。

(2)长水口碗处使用自膨胀型石棉垫圈,同时通氩气保护,可以有效避免空气沿长水口与大包下水口的缝隙处进入钢液中,避免

了钢水的二次氧化。

4 改善效果

2012年至2014年,炼钢二厂北区共生产含钛不锈钢2042炉次,发生“结鱼”46炉次,含钛不锈钢发生“结鱼”率为2.25%;自2015年含钛不锈钢防“结鱼”连铸工艺改善以来,截止2016年5月,炼钢二厂北区共生产含钛不锈钢1011炉次,含钛不锈钢发生“结鱼”2炉次,同比减少20炉次,同期含钛不锈钢发生“结鱼”比率为0.20%(图6),有效保证了含钛不锈钢的生产质量。表2为炼钢二厂北区2012年以来不锈钢连铸发生“结鱼”几率明细。

5 结论

(1)钢液中 TiN 的析出数量多少是含钛

表2 2012年以来北区连铸“结鱼”对比

时间	“结鱼”次数	含钛不锈钢总炉数	“结鱼”占比/%
2012年	24	487	4.93
2013年	14	662	2.11
2014年	8	893	0.90
2015年至2016年5月	2	1011	0.20



图6 工艺改善前后含钛不锈钢“结鱼”对比图

不锈钢能否发生结晶器“结鱼”的主要因素,研究如何能够减少钢液中析出 TiN 成为解决含钛不锈钢“结鱼”难题的关键。

(2)炼钢二厂北区通过采取优化钢种成

分设计、强化过程钢水温度控制、规范开浇操作和加强浇铸过程保护浇铸等措施,使含钛不锈钢结晶器“结鱼”的次数明显下降,有效保证了含钛不锈钢生产质量。

参考文献

- [1] 郑宏光.含钛不锈钢连铸水口结瘤和结晶器“结鱼”[J].宝钢技术,2008(01):50-54.
- [2] 杨辉,陈根保,戴伟等.改善321含钛钢水口堵塞及结晶器“结鱼”现象的工艺实践[J].云南冶金,2014,6(43),50-55.
- [3] 郑宏光,陈伟庆,陈宏.钛稳定化321不锈钢连铸结晶器“结鱼”的研究[J].特殊钢,2005(4):50-52.

不同冷轧变形量下 Mn13 钢的组织与加工硬化机制

技术中心 张宇斌 张志波

摘要 对不同冷轧变形量下 Mn13 钢的力学性能、组织形态及加工硬化机制进行了分析和研究。结果表明:随着冷轧变形量的增加,Mn13 钢的强度、硬度及屈强比等明显增加;加工硬化过程中,没有诱发马氏体转变,形变孪晶的数量和位错密度增加;大量的形变孪晶、高密度位错是 Mn13 钢产生加工硬化的主要原因。

关键词 Mn13 加工硬化 孪晶 位错

Mn13 钢的主要特点是当表面经受较大应力、冲击力或摩擦力时,迅速产生加工硬化,表面硬度急剧升高^[1-3],目前已有多种解释高锰钢的加工硬化机制理论,如位错强化理论^[4]、形变孪晶硬化理论^[5]、动态应变时效硬化理论^[6]、形变诱发马氏体相变硬化理论^[6]、Fe-Mn-C 原子团硬化理论^[7]等。由于 Mn13 钢具有优良的耐磨性能,非常适合用于既受冲击又受磨损的场合,因而广泛用于球磨机衬板、颚式破碎机齿板及坦克和拖拉机的履带板等,来代替价格昂贵的其它合金钢。

Mn13 钢在高速冲击载荷下所表现出的高耐磨性能,一般认为与高速冲击载荷下磨损表面形成的纳米晶和非晶态组织有关^[8]。但在中低速冲击载荷或磨粒磨损工况条件下,由于磨损接触面没有足够高的表面冲击能量,不能达到充分的加工硬化,使高锰钢未能表现出较高的耐磨性。目前使用的 Mn13 钢初始状态大多为热轧态或固溶态,在没有外加压力和冲击力较小等低应力作用下,加工硬化特征不明显,优良的耐磨性不能显示出来。因此,研究如何通过合适的冷轧变形提高材料初始表面硬度、增强材料的耐磨性

能,摸索不同冷轧变形量下 Mn13 钢力学性能及组织演变规律就显得尤为重要。

本文采用国内唯一的单机架 2300mm 高强度宽幅冷轧机对固溶状态的 Mn13 热轧中板原料进行不同冷轧变形量轧制试验,研究不同冷轧变形量下 Mn13 钢的力学性能变化及组织演变规律。

1 试验材料及方法

试验材料取自太钢冷轧硅钢厂 2300mm 宽幅冷轧机所轧制的 Mn13 冷轧成品,化学成分(质量分数,%)为:0.98C、0.45Si、13.1Mn、0.024P、0.002S、0.65Cr、0.06Mo、0.05V。原料厚度为 11.35mm,坯料经固溶处理、酸洗后,分别冷轧成厚度为 10.0mm、9.5mm、9.0mm、8.5mm、8.0mm、7.5mm 和 7.0mm 的冷轧成品,见表 1 所示。

采用水切割试验机,把试验材料加工成拉伸、硬度、金相及磁导率试样。根据 GB/T228.1-2010《金属材料室温拉伸试验方法》、GJB937-1990《弱磁材料磁导率的测量方法》和 GB/T231.1-2009《金属布氏硬度试验方法》等标准要求,在 ZWICK/FOELL300KN

表1 不同冷轧变形量下成品规格

序号	原规格 /mm	成品规格 /mm	变形量 ϵ /%
01	11.35	7.0	38.3
02	11.35	7.5	33.9
03	11.35	8.0	29.5
04	11.35	8.5	25.1
05	11.35	9.0	20.8
06	11.35	9.5	17.0
07	11.35	10.0	12.7

电子拉伸试验机、NM2000ES 弱磁钢测量仪及 HB-3000 布氏硬度计等设备上分别进行了力学性能、硬度及磁导率性能检测。

将金相试样磨平抛光，采用 4%硝酸酒精溶液腐蚀后在莱卡 DM4000 金相显微镜下观察了试样的组织；同样方法取样，经机械减薄并电解双喷，获得的金属薄膜样品在 JEM 2100 透射电镜下观察微观形貌；并利用金相试样在 Ray-12 X(Co 靶)光衍射仪下

测试了钢中的马氏体含量。

2 试验结果及讨论

2.1 不同冷轧变形量对 Mn13 钢性能的影响规律

对试样进行力学和工艺性能检测，结果如图 1~4 所示。

Mn13 热轧板经固溶处理后，组织为单一的奥氏体(见图 5(a))，表面硬度基本保

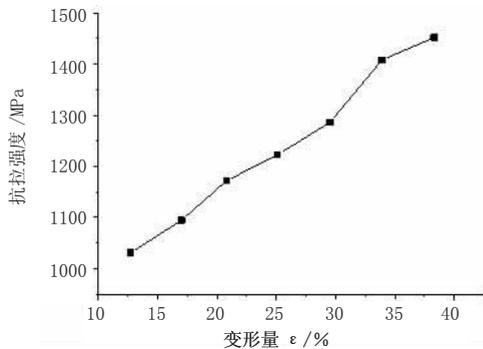


图 1 变形量与抗拉强度的关系

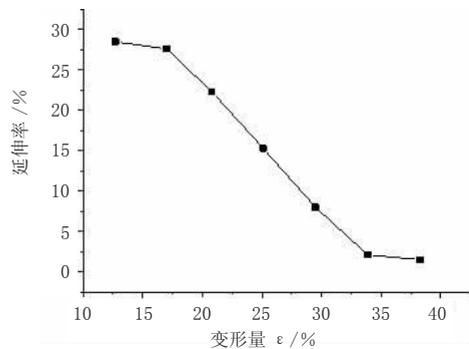


图 2 变形量与伸长率的关系

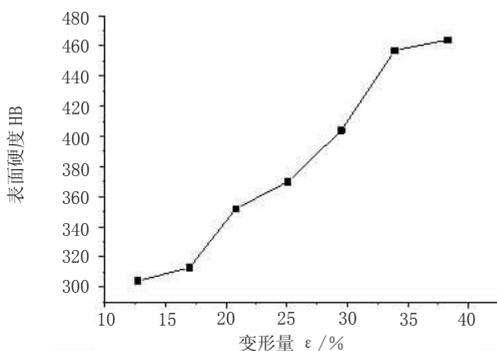


图 3 变形量与表面硬度的关系

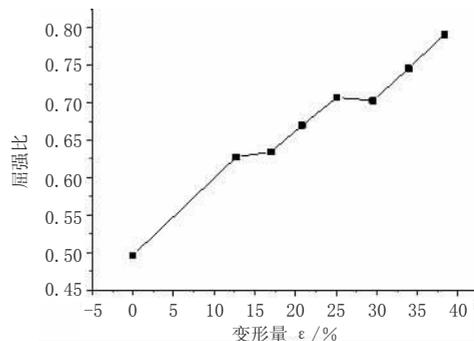


图 4 变形量与屈强比的关系

持在 HB190 左右, 屈服比接近 0.5, 断后伸长率均在 50% 以上。随着冷轧变形量增加, 硬度与强度呈现明显提高、延伸率呈现明显降低的趋势。当变形量接近 30% 时, 延伸率显著降低到 10% 以下, 此时硬度值提高到 HB400 以上。从变化趋势来看, 当形变量接近 35% 时, 表面硬度 HB 变化趋于缓慢, 变形量对表面硬度的影响减弱。另外, 随着变形量的增加, 屈服比 ($R_{p0.2}/R_m$) 呈现逐渐增加趋势, 由热轧板时的接近 0.5 提高到 0.79, 表明钢中变形组织对性能的影响越来越大。

2.2 不同冷轧变形量对 Mn13 钢组织的影响规律

图 5 为 Mn13 热轧板及不同变形量下冷轧板的金相组织形态。(a) 为热轧板固溶状态的金相组织; (b) ~ (h) 为不同变形量下冷轧板的金相组织。固溶态组织为典型的奥氏体组织形态, 晶界平直且清晰。随着冷轧变形量的增加, 奥氏体晶粒的变形程度逐步

加大, 晶粒边界变的不规则及界面增多, 已看不到完整的奥氏体晶粒, 晶粒沿轧向拉扁拉长, 呈现出明显的方向性。

2.3 Mn13 钢冷加工硬化机制探讨

图 6 为冷轧变形量 ϵ 为 25.1% 和 38.3% 下的 TEM 形态。可见, 组织中出现了许多平直的变形孪晶, 孪晶束之间存在大量的位错。随着变形量的增加, 孪晶数量增加; 且孪晶与孪晶之间, 孪晶与位错之间发生交互作用, 导致位错密度增加, 晶粒变形严重, 畸变增加, 晶粒细化。由此可见, 形成大量的形变孪晶及高密度的位错是 Mn13 钢产生加工硬化的主要原因。

2.4 变形量 $\epsilon=38.3\%$ 下钢中马氏体含量测试及相对导磁率性能

通常认为, Mn13 钢加工硬化过程伴随诱发马氏体转变^[9-10]。对冷轧变形量 $\epsilon=38.3\%$ 的试样, 利用 X 光衍射仪测试了钢中马氏体含量, 如图 7。同时, 对不同冷轧变形量的试样测试了磁场强度 A 为 16000A/m 下的

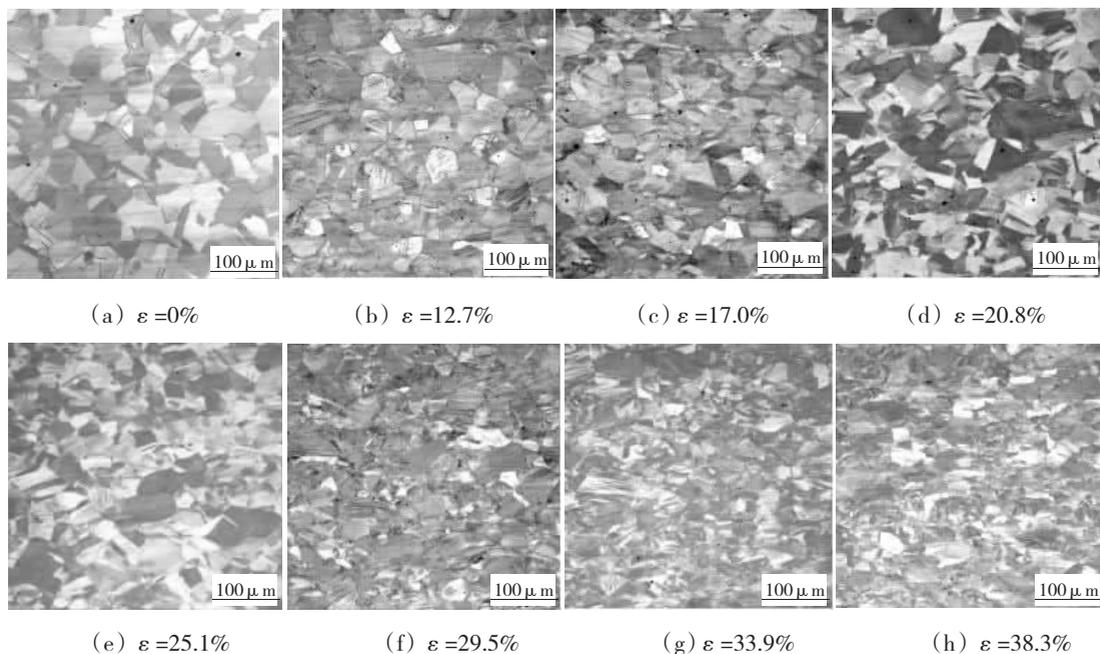


图 5 不同冷轧变形量下的金相组织

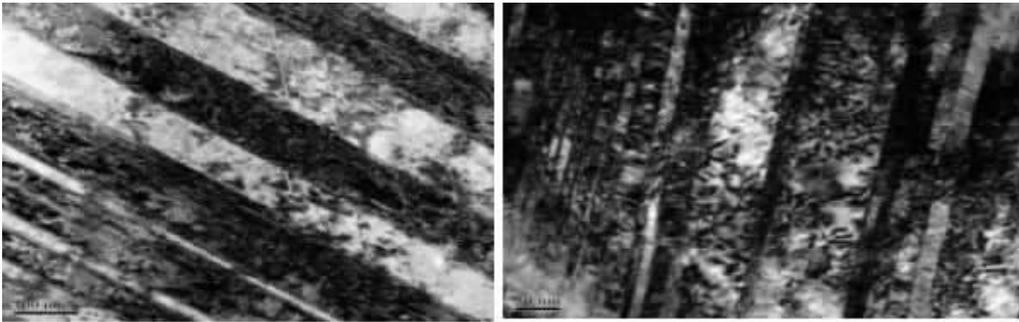
相对导磁率性能,见表2。

测试结果为,钢中不含马氏体相;相对导磁率值较低,符合顺磁性材料的磁性特征。以上结果表明:Mn13钢在变形量 ϵ 接近40%的冷加工硬化过程中,没有诱发马氏体

转变。

3 结论

(1)随着冷轧变形量的增加,硬度与强度均呈现明显提高、延伸率呈现明显降低的



(a) $\epsilon = 25.1\%$

(b) $\epsilon = 38.3\%$

图6 冷轧变形量 ϵ 为25.1%和38.3%下的TEM形态

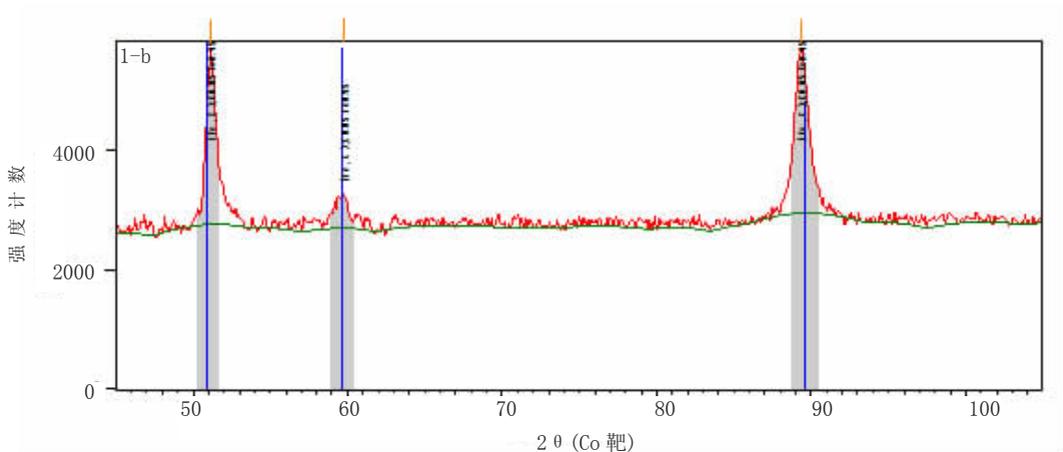


图7 $\epsilon = 38.3\%$ 下XRD衍射图谱

表2 磁场强度16000A/m下不同冷轧变形量Mn13钢的导磁率

序号	规格 / mm	变形量 $\epsilon / \%$	相对导磁率 / μ_r
01	7.0	38.3	1.10
02	7.5	33.9	1.09
03	8.0	29.5	1.09
04	8.5	25.1	1.09
05	9.0	20.8	1.08
06	9.5	17.0	1.09
07	10.0	12.7	1.07

趋势。当变形量接近 30%时,表面硬度 HB 值可提高到 HB400 以上。当变形量接近 35%时,变形量对表面硬度的影响减弱。另外,随着冷轧变形量的增加,屈强比 ($R_{p0.2}/R_m$) 明显增加,钢中变形组织对性能的影响越来越大。

(2)随着冷轧变形量增加,奥氏体组织形态由原来的晶界平直且清晰逐渐变得不规则、界面增多,形变孪晶数量及位错密度增加。在变形量 ε 接近 40%的冷加工硬化过程中,没有诱发马氏体转变。大量的形变孪晶、高密度位错是 Mn13 钢产生加工硬化的主要原因。

参考文献

[1] 赵振东. 浅论高锰钢的硬化及其性能改善[J]. 建筑机械, 1998(9): 35-37.
 [2] 石德珂, 刘军海. 高锰钢的变形与加工硬化[J]. 金属学报, 1989, 25(6): 282-285.
 [3] 杨芳, 丁志敏. 耐磨高锰钢的发展现状[J]. 机

车车辆工艺, 2006(6): 6-9.

[4] 许云华, 袁善良, 罗勤业, 等. 高能量冲击接触载荷下高锰钢磨损机理的研究[J]. 热加工工艺, 2000(1): 10-12.

[5] 张旺峰, 陈瑜眉. 低层错能奥氏体钢的变形硬化特点[J]. 材料工程, 2000, 14(6): 25-27.

[6] Shun Tao tsung, Wan C M, Byrne J G. A study of work hardening in austenitic Fe-Mn-C and Fe-Mn-Al-C alloys [J]. Acta. Metall. Mater. 1992, 40(12): 3407-3412.

[7] Hidetoshi S. Effect of solid-solution strengthening on fracture toughness in extruded Mg-Zn alloys [J]. Scripta. Metall. Mater. 2006, 55(7): 593-596.

[8] 许云华, 熊建龙, 武宏, 等. 高能量冲击载荷下高锰钢的耐磨性[J]. 材料研究学报, 2000, 14(6): 665-669.

[9] 赵欣, 张恒, 王庆良, 等. 热轧高锰钢 Mn13 的冲击磨料磨损性能研究[J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2014, 29(4): 61-66.

[10] 储凯, 傅建. ZGMn13 钢形变诱发马氏体相变及在锤击件上的应用 [J]. 机械工程材料, 2000, 24(5): 52-53.

太钢不锈、武进不锈、攀长特部分不锈钢产品 获 2016 年度冶金产品实物质量“金杯奖”

2016 年 12 月 12 日, 中国钢铁工业协会公布了 2016 年冶金产品实物质量认定产品名单。

其中, 太钢不锈生产的 06Cr19Ni10、022Cr19Ni10、022Cr17Ni12Mo2 不锈钢热轧中厚板(规格为 6~40×1000~2000×2000~8500mm)、攀钢集团江油长城特殊钢

有限公司生产的不锈钢热轧棒材(材质 12Cr13、40Cr13, 直径 $\Phi 25 \sim \Phi 85\text{mm}$; 材质 20Cr13、30Cr13, 直径 $\Phi 16 \sim \Phi 100\text{mm}$)、江苏武进不锈股份有限公司生产的锅炉、过热器和换热器用 TP347H 奥氏体不锈钢无缝钢管(规格为 $\Phi 25 \sim \Phi 426 \times 2.0 \sim 55\text{mm}$)被授予“金杯奖”。(摘自相关报道)

冷轧压下率对无取向硅钢织构和磁性能的影响

技术中心 董爱锋 苗 晓 张文康

摘 要 研究了冷轧压下率对 $w(\text{Si})=2.4\%$ 无取向硅钢织构演变、磁感、铁损和各向异性的影响。结果表明,在 $74\% \sim 86\%$ 压下率范围内随着冷轧压下率的增加,成品中对磁性不利的织构组分增加,有利织构组分减少,磁感降低,各向异性增加,但晶体织构对铁损没有显著的影响。在化学成分和晶粒尺寸一定的情况下,影响铁损的主要因素是钢板厚度,钢板厚度从 0.65mm 减薄至 0.35mm 时,铁损单调降低;晶体织构是影响磁感和各向异性的主要因素,不利织构组分密度越高,磁感越低,各向异性越大。

关键词 无取向硅钢 冷轧压下率 钢板厚度 织构 磁性能

含 $1.5\% \sim 4.0\%$ ($\text{Si} + \text{Al}$) 的冷轧无取向硅钢主要用于容量较大的中、大型电机以及发电机,其常见的公称厚度有 0.35mm 、 0.50mm 和 0.65mm 。为降低工序成本,提高产量,大多数生产厂均采用一次冷轧法生产中、低牌号冷轧无取向硅钢。一次冷轧法要求大压下率($\geq 75\%$)来保证 $\langle 110 \rangle < 001 \rangle$ 织构组分进一步增高,使磁性能提高^[1]。无取向硅钢的主要磁性能要求是低铁损、高磁感。铁损和磁感属于组织敏感性磁性,它们除与化学成分有关外,还与内部组织结构、钢板厚度、表面光洁度、外加应力等有关^[2]。无取向硅钢的成品织构和磁性能与冷轧工艺密切相关,特别是在化学成分一定的情况下,冷轧工艺对成品磁性能起着重要作用。因此,研究冷轧压下率对织构和磁性能的影响对于开发高性能的冷轧无取向硅钢新产品具有重要意义。本文研究了冷轧压下率(74% 、 80% 、 86%)和成品板厚(0.35mm 、 0.50mm 、 0.65mm)对 $w(\text{Si})=2.40\%$ 无取向冷轧硅钢织构和磁性能的影响。

1 试验过程

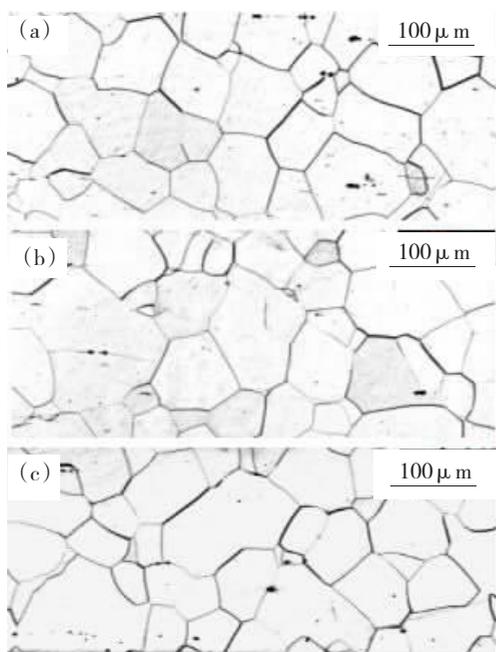
初始材料取自大生产厚度为 2.5mm 的热轧硅钢板,经常化处理。主要化学成分(质量分数%): $\text{C } 0.003$ 、 $\text{Si } 2.4$ 、 $\text{Al } 0.32$ 、 $\text{Mn } 0.25$ 、 $\text{P } 0.015$ 、 $\text{S } 0.004$ 。初始材料经酸洗后使用四辊轧机分别将热轧板一次冷轧至最终尺寸 0.35mm 、 0.50mm 和 0.65mm , 对应于冷轧压下率分别为 86% 、 80% 和 74% 。然后在小型连续退火炉中进行连续退火,退火温度 950°C 。为了排除退火后晶粒尺寸对试样磁性能影响的因素,适当调整退火速度,以保证试样晶粒度一致。用线切割方法将退火后的试样切成 $24\text{mm} \times 14\text{mm}$ 的矩形样品,使用光学显微镜观察金相组织,并用图像分析仪测量平均晶粒大小,观察面为与轧制方向平行的纵截面。使用 Siemens 的 D-5000 型 X 射线衍射仪测量退火后样品表层的 $\{110\}$ 、 $\{200\}$ 和 $\{211\}$ 三张不完整极图 ($\alpha = 0^\circ \sim 70^\circ$), 以级数展开法计算试样的取向分布函数 (ODF), 测量时使用 Mo 靶。采用正态分布函

数拟合法定量计算试样的{111}织构体积占有率。磁性能采用单片试验测量方法测试,从退火后的钢板中沿纵、横向切取 50mm × 50mm 的试样,在 1.5T 和 50Hz 条件下测量铁损 $P_{1.5}$,在磁场强度为 5000A/m 条件下测量磁感应强度 B_{50} ,纵、横向分别测量,最后取平均值。

2 试验结果

2.1 再结晶金相组织

图 1 显示对应于不同冷轧压下率 and 最



(a) 经 74% 冷轧, 0.65mm 厚; (b) 经 80% 冷轧, 0.50mm 厚; (c) 经 86% 冷轧, 0.35mm 厚

图 1 再结晶金相组织

终厚度尺寸的再结晶金相组织。从图 1 可以看到,通过适当调整退火速度,不同冷轧压下率下的再结晶晶粒大小相近,晶粒度均为 4 级。

2.2 再结晶织构分布

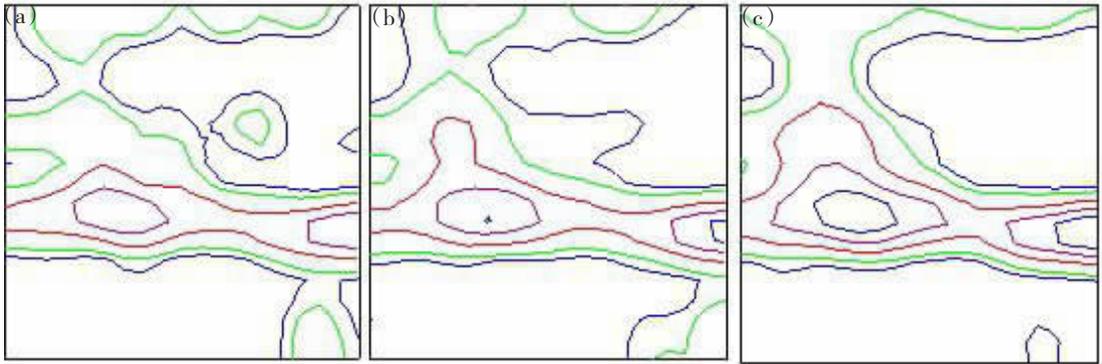
取向分布函数 $\phi_2 = 45^\circ$ 截面图是表达无取向硅钢板织构最具有代表性的截面图。

在这个截面图上可以观察到一系列重要的取向位置^[3]。图 2 显示样品经不同冷轧压下率后再结晶取向分布函数 $\phi_2 = 45^\circ$ 的截面图。从图 2 可以看出,再结晶织构主要由 γ 纤维组成, γ 纤维包括 {111}<110> 和 {111}<112> 织构分量,其中 {111}<112> 分量的强度最高。另外,再结晶织构中还包含织构分量为 {111}<110>、{112}<110>、{100}<110> 的 α 纤维织构和织构分量为 {110}<001> 的 Goss 织构,但这两种织构的强度都较弱。为了便于直接观察和对比材料织构变化的细节过程,借助取向线密度分布的变化展示经不同冷轧压下率和退火后样品主要织构组分的形成和演变情况。图 3 给出了冷轧退火后样品的 α 及 γ 取向线密度分布变化情况。这两个取向线通常可以展示体心立方金属冷轧变形过程中织构变化的主要特征^[3]。从图 3 可以看出,随着冷轧变形量的增加, α 线上的取向密度有所增强,而且主要形成了 {111}<110> 和 {112}<110> 织构; γ 线上的取向密度不断显著增强,而且主要形成了 {111}<211> 织构。

2.3 磁性能

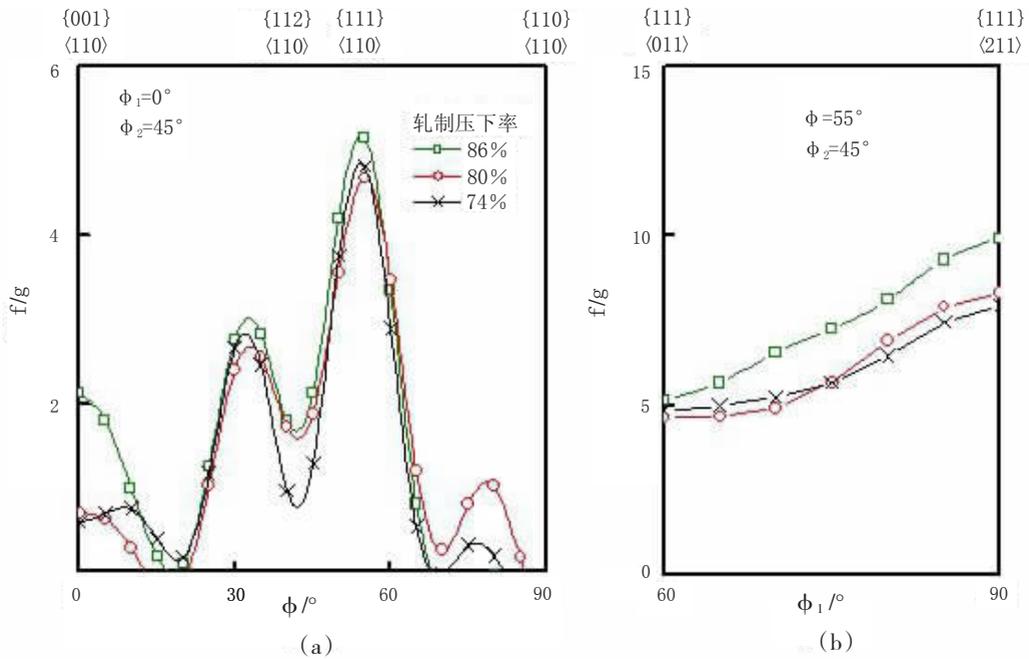
图 4 给出经不同冷轧变形后成品的铁损 $P_{1.5}$ 、磁感 B_{50} 以及铁损 $P_{1.5}$ 各向异性的变化情况。从图 4(a) 可以看出,在化学成分和晶粒尺寸确定时,随着冷轧压下率的增加, $P_{1.5}$ 显著降低, B_{50} 降低缓慢。从图 4(b) 曲线 I 可以看出,在冷轧形变量低于 80% 时,各向异性随冷轧形变量的增加缓慢增加,当形变量从 74% 增加到 80% 时,各向异性只增加了约 5%;在冷轧形变量大于 80% 时,各向异性随冷轧形变量的增加急剧增加,当形变量从 80% 增加到 86% 时,各向异性增加了约 34%。

从图 4(a, b) 可以看出,随着冷轧形变量的增加,铁损明显降低,磁感降低缓慢,各



(a) 经 74%冷轧,0.65mm 厚;(b) 经 80%冷轧,0.50mm 厚;(c) 经 86%冷轧,0.35mm 厚

图 2 再结晶取向分布函数 $\phi_2=45^\circ$ 截面图(密度水平 1,2,4,6,8)



(a) α 取向线上的密度分布;(b) γ 取向线上的密度分布

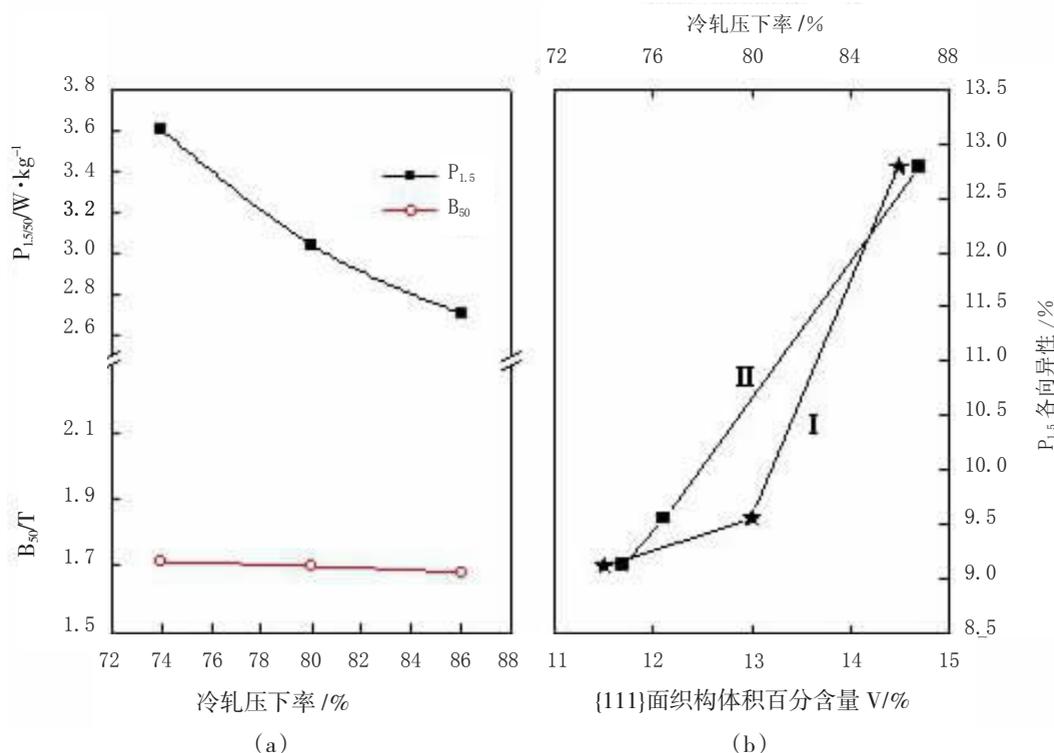
图 3 再结晶结构的取向线分析

向异性升高,但升高幅度不是随着冷轧形变量的增加而呈现单一的曲线斜率。当形变量小于 80%时,曲线斜率平缓;当形变量大于 80%后,曲线斜率陡峭。

3 讨论

影响无取向硅钢磁感应强度的主要因

素是化学成分和晶体结构^[2]。本次试验用钢的化学成分相同,因此晶体结构就成为影响无取向硅钢磁感应强度 B_{50} 的主要因素。理想的晶体结构为(100)[uvw]面结构,因为它是各向同性且难磁化方向[111]不在轧面上。实际上得不到这种单一的面结构。一般存在有(100)[011]、(111)[112]、(110)[001]和



(a) 冷轧压下率与 $P_{1.5}$ 和 B_{50} 的关系；

(b) 冷轧压下率和组织组分体积量 V 与 $P_{1.5}$ 各向异性关系：曲线 I 表示 $P_{1.5}$ 各向异性与冷轧压下率的关系；曲线 II 表示 $P_{1.5}$ 各向异性与 {111} 面积构体积分含量 (V %) 的关系

图 4 冷轧压下率和组织对磁性的影响

(112)[011]等织构组分,其中{100}组分织构度只占约 20%,基本属于无取向混乱织构,也就是磁各向同性。由理论公式推导的结论为:按[100]和[111]单晶体的 B_{25} 值计算出的理想(100)[uvw]面织构具有最高的 B_{25} 值,比各向同性状态高 0.16T (10%),而(111)[uvw]和(110)[uvw]织构的 B_{25} 值比各向同性状态分别低 0.11T(7%)和 0.04T(2%)^[4]。因此,为改善磁性,必须提高{100}或{110}织构的强度和降低{111}织构强度^[5]。{100}或{110}由带钢平面上易磁化 <100> 位向构成,而{111}由其平面附近的难磁化 <111> 位向构成。

再结晶织构与冷轧压下率有明显关系。

冷轧压下率越大,再结晶织构中对磁性能不利的 γ 纤维织构组分 {111}<211> 就越强。这是因为,当冷轧压下率 >60%时,冷轧时微观带与轧向的偏离角逐渐减少,直到与轧向近似平行,其{211}<011> 组分逐渐加强。压下率为 90%时,冷轧时微观带的{211}<011> 位向是冷轧织构中最强组分,微观带边界已不是{110}面,即已经形成明显的切变带^[6]。由于无取向硅钢冷轧后各位向组分的储能是不相同的,从大到小的顺序为 {110}→{111}→{112}→{100}^[7,8],因此在退火时{110}<001> 晶粒首先回复和再结晶;{100}<110> 晶粒最易滑动,位错密度低,所以最难再结晶。因此,退火后{111}<110> 与{112}<110>

取向基本消失,绝大多数取向聚集到 $\{111\}<112>$ 上。 $\{111\}<112>$ 取向在钢板平面上具有 $<112>$ 轴,而且它接近 $<111>$ 难磁化取向,ND// $<111>$ 织构的增强导致磁感下降^[9]。由图3和图4(a)可见,冷轧压下率为86%的样品退火后 $\{111\}<112>$ 织构占有率最高,磁感最低。此外,从图2还可以看到,随着冷轧压下率的增加,再结晶织构中对磁性有利的Goss织构在逐步减弱,这也是造成磁感降低的另外一个原因。

影响无取向电工钢铁损的主要因素是晶体织构、杂质、夹杂物、内应力、晶粒尺寸、钢板厚度、钢板表面状态和主要化学成分。这些因素通过阻碍畴壁的移动来影响无取向电工钢的铁损。本次试验中各试样的化学成分、夹杂物、内应力、晶粒尺寸等基本相同,主要差别是晶体织构和试样厚度。无取向电工钢(100)面织构高, P_h 和 P_{15} 降低,因为在(100)晶面上有两个易磁化的 $<001>$ 轴。其次是(110)面织构,在此晶面上有一个 $<001>$ 轴。具有(111)面织构的 P_{15} 较高,因为在此晶面上没有 $<001>$ 轴。具有(112)面织构的 P_{15} 最高,因为在此晶面上有难磁化的 $<111>$ 轴。无取向硅钢的织构控制要减少对磁性不利的 $\{111\}$ 和 $\{112\}$ 面织构,增加对磁性有利的 $\{100\}$ 和 $\{110\}$ 织构。从图2和图3可以看出,3个试样均以对磁性不利的(111)面织构为主且伴有少量对磁性有利的Goss织构。冷轧压下率为86%时不利织构组分 $\{111\}$ 强度最大,对磁性有利的Goss织构强度最弱,但对应的铁损却最小,说明铁损与晶体织构没有明显的对应关系,影响铁损的主要因素是钢板厚度,钢板厚度从0.65mm减薄至0.35mm时, P_{15} 单调降低。

对比图4(a,b)可以看出,钢板厚度从0.65mm(对应于74%冷轧压下率)减薄至0.35mm(对应于86%冷轧压下率)时, P_{15} 单

调降低,但各向异性却呈现不同的变化趋势。如图4(b)的曲线I所示,板厚从0.65mm减薄至0.50mm(对应于80%冷轧压下率)时,各向异性增加缓慢,曲线斜率平缓;板厚从0.50mm减薄至0.35mm厚时,各向异性急剧增大,曲线斜率陡峭。当板厚等量减薄时,铁损单调降低,但对应的各向异性却并不是单调增加,说明板厚不是影响各向异性的主要因素。结合图3(b)可以看出,压下率为74%和80%的样品的 $\{111\}<112>$ 织构组分密度差较小,而压下率为86%的样品的 $\{111\}<112>$ 织构组分密度明显高于前两个样品。采用织构定量分析的方法,以织构体积量来表达织构变化对材料各向异性的影响,见图4(b)曲线II所示。曲线II描绘了冷轧压下率从74%增加到86%过程中对应的 $\{111\}$ 面织构体积占有率与各向异性的关系。从曲线II可以看出,随着 $\{111\}$ 面织构体积百分量的增加,各向异性单调增加,可以近似认为各向异性是 $\{111\}$ 面织构体积百分量的一次线性函数。织构的存在使磁致伸缩减小,织构密度提高。磁致伸缩越小,磁导率越高,纵向铁损越低,但横向铁损仍偏高,导致各向异性偏大^[10]。

4 结论

(1)随着冷轧压下率的增加,再结晶织构中对磁性不利的织构组分增加,有利织构组分减少, B_{50} 降低,各向异性增加,但晶体织构对 P_{15} 没有显著的影响。

(2)在化学成分和晶粒尺寸一定的情况下,影响铁损的主要因素是钢板厚度,钢板厚度从0.65mm减薄至0.35mm时, P_{15} 单调降低。

(3)晶体织构是影响磁感和各向异性的主要因素,不利织构组分密度越高,磁感 B_{50} 越低,各向异性越大。

参考文献

- [1] Lyudkovsky G, Shapiro J M. Effect of Aluminum Content and Processing in Texture and Permeability of Lamination Steels. *Journal of Applied Physics*, 1985, 57(1): 4235.
- [2] 何忠治. 电工钢[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997.
- [3] 毛卫民, 张新明. 晶体材料织构定量分析[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995.
- [4] Boe I, Cziraki A, Crof T, et al. Analysis of Inclusion in Cold-Rolled N. O. Si-Fe Strips. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 1990(83): 381.
- [5] Tomida T, Tarakal T. Development of (100) Texture in Silicon Steel Sheets by Removal of Manganese and Decarburization. *ISIJ International*, 1995, 35(5): 548.
- [6] 金自力, 徐向棋. 轧制条件对冷轧无取向硅钢织构的影响[J]. *特殊钢*, 2005, 26(2): 25~27.
- [7] Sidor Y, Dzubinsky M, Kovac F. Characterization of Microstructures in Non-oriented Electrical Steels Utilizing Weighted Sum of Elementary Data [J]. *Czechoslovak Journal of Physics*, 2004(54): 105-108.
- [8] Mao W. Modeling of Rolling Texture in Aluminum [J]. *Materials Science and Engineering*, 1998, A257(12): 171-177.
- [9] Minoru Takashima, Michiro Komatsubara. {001}<210> Texture Development by Two-Stage Cold Rolling Method in Non-oriented Electrical Steel. *ISIJ International*. 1997, 37(12): 1263.
- [10] 孙述利, 张敏刚, 郭东城. 冷轧无取向硅钢 50W470 铁损的各向异性 [J]. *特殊钢*, 2006, 27(4): 34 ~ 35.

“太钢造”再次助力长征七号

2017年4月20日,由我国自主研制的首艘货运飞船——天舟一号在文昌航天发射场成功发射。这个“身强力壮”功能多的“快递小哥”,与天宫二号空间实验室交会对接,传递来自地球的“能量包裹”。承担发射天舟一号货运飞船重任的长征七号遥二运载火箭,其关键部位应用了太钢生产的不锈钢、高强度合金结构钢以及电磁纯铁3类产品。这是继2016年6月25日,“太钢造”助力长征七号遥一运载火箭首飞成功后,再次助力长征七号遥二运载火箭升空。

太钢是我国重要的航空航天专用钢生产基地。多年来,太钢不断研发新材料,打造航天精品材。据太钢军工与核电产品开发业务部介绍,太钢生产的不锈钢、高强度合金结构钢以及电磁纯铁3类4种关键材料,应用于“长征”系列火箭、“神州”系列飞船、“嫦娥探月”月球探测器、“天宫”系列空间实验室的关键部件,为支持我国航空航天事业发展,实现中华民族“飞天梦”作出了积极贡献。

(摘自相关报道)

氧化铁粉中 CaO 杂质的分析与控制

冷轧硅钢厂 李 慧 韩 晋

摘 要 氧化铁粉是铁氧体磁性材料的主要原料。本文介绍了太钢冷轧硅钢厂盐酸再生生产工艺,分析了影响酸再生副产品氧化铁粉质量的因素,结合现场实际对其影响因素进行逐一排查。结果表明,CaO 是目前影响太钢氧化铁粉质量的主要因素,且新酸为铁粉中 Ca 元素的主要来源,通过调整补酸模式、控制酸损失率及增加酸循环次数等措施后,降低了铁粉中 CaO 的含量,其合格率由原来的 77% 提高到 90%,有效提高了太钢氧化铁粉质量,使其达到生产软磁用粉的标准。

关键词 磁性材料 酸再生 氧化铁 CaO

为满足二十一世纪人类社会高度信息化的要求,高技术磁性材料生产企业不断发展。根据我国磁性材料与器件行业预测,2020 年中国市场需要永磁铁氧体 50 万 t,软磁铁氧体 20 万 t,分别约占全球市场的 60% 和 40%。随着全球汽车行业特别是我国汽车行业的持续增长,以及汽车中磁性材料使用量的增加,预计对永磁铁氧体的需求量将持续增长;另外随着未来几年液晶显示器(LED)的快速增长,对软磁铁氧体的需求也将快速增长,而且其增长速度可能超过永磁铁氧体^[1,2]。软磁铁氧体在高频作用下,具有高导磁率、高电阻率和低损耗等特点,用软磁铁氧体制成的磁芯,在广播电视产品、数字和模拟通讯、国际互联网、工业和医疗、汽车及航空航天等领域得到了广泛的应用^[3]。

氧化铁粉作为铁氧体原料,其性能的稳定性的直接影响产品的质量。近年来随着新技术的开发与发展,对软磁铁氧体材料的要求不断提高,因而对软磁铁氧体用氧化铁粉原材料的质量也提出了越来越高的要求。高品质的氧化铁粉不仅需要较高的物理性能指

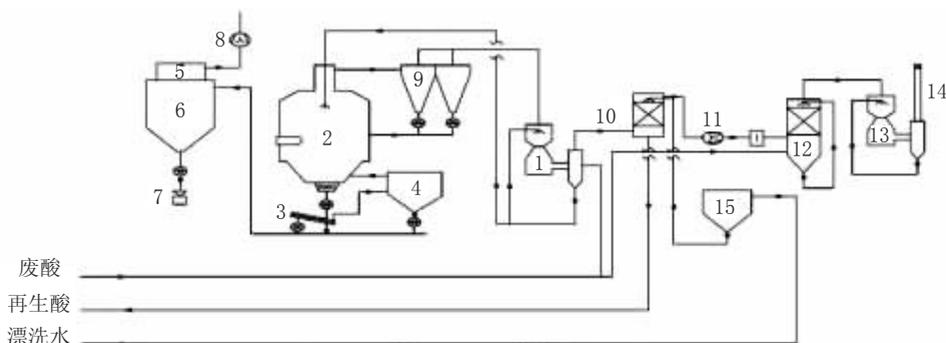
标,也需要很高的化学品位,即作为软磁铁氧体原料的氧化铁粉应具有较高的比表面积、初始结晶粒径和松装密度,同时还应具有很高的化学纯度^[4]。氧化铁粉在加工制成磁芯的过程中,如果氧化铁粉中杂质含量过高,可使磁芯元件内部出现结晶,导致产品性能恶化、强度降低、外观不良,造成磁芯开裂,产生氧化亚铁,影响磁性能。喷雾焙烧法所生产的氧化铁粉中的杂质成分主要产生于酸洗过程及盐酸再生过程^[5]。本文主要以太钢冷轧硅钢厂 7500 L/h 酸再生机组作为研究对象,分析影响氧化铁粉质量的因素,并提出相应的解决方案和对策,提高氧化铁粉质量。

1 酸再生工艺

太钢冷轧硅钢厂盐酸再生采用目前普遍采用的、可靠的喷雾焙烧工艺,以酸洗带钢后的废酸为原料,经过焙烧炉发生化学反应,获得再生盐酸及副产品氧化铁粉,其废酸处理能力为 7500L/h,氧化铁粉生产能力为 1580 kg/h。图 1 为典型的酸再生系统工

艺流程。酸再生整套装置由：脱硅装置(包括预脱硅区及脱硅区)、酸再生站本体、酸储罐以及氧化铁粉站四个系统组成。废酸再生装置和工艺是冷轧硅钢厂酸洗机组的重要组

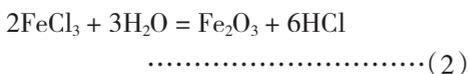
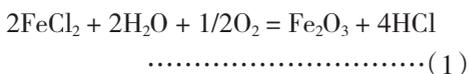
成部分，废酸再生后返回酸洗线继续使用，既可降低酸洗钢带的单位成本，又可减少废酸对环境的污染，同时生产出铁氧体用氧化铁粉副产品，提高了经济效益^[6,7]。



1- 文丘里预浓缩器;2- 焙烧炉;3- 螺旋输送机;4- 返回仓;5- 氧化铁粉过滤器;6- 氧化铁粉仓;
7- 包装袋;8- 氧化铁粉输送风机;9- 双旋风分离器;10- 吸收塔;11- 主风机;12- 洗涤塔;
13- 文丘里洗涤塔;14- 烟囱;15- 收集水罐

图1 酸再生系统工艺流程

废酸在进入再生系统之前,先经过预脱硅及脱硅处理,去除废酸中的 Si、Al 等杂质。脱硅净化后的废酸通过泵输入到废酸过滤器,将废酸中的固体颗粒和不溶解的残留物从酸液中分离出来。过滤后的废酸液一部分进入预浓缩器,另一部分进入脱氯塔用于对废气进行除氯处理。预浓缩器内的废酸与焙烧炉产生的气体进行热交换后,部分酸液蒸发浓缩,浓缩后的废酸通过变频控制泵以恒量喷入焙烧炉内。焙烧炉下部切线方向布置有加热烧嘴,燃气在炉膛内形成涡流,逆流烘干由酸枪喷嘴喷出的雾化浓缩废酸液滴,使其在炉膛高温区(600~700℃)进行热分解,生成 HCl 气体和 Fe₂O₃ 粉,整个分解过程的化学反应方程式为:



完成热分解后,由水蒸气、HCl 气体及

燃烧废气等组成的炉气从焙烧炉顶部进入旋风分离器,炉气中夹带的氧化铁粉 50%以上被分离,分离出的氧化铁粉通过旋转阀返回到焙烧炉。炉气进入预浓缩器,通过与循环废酸直接接触完成冷却与清洁,此时,炉气温度降至 85℃左右,炉气中氧化铁粉 90%以上被分离。随后炉气从底部进入吸收塔,吸收塔为逆流操作,用酸洗线含 Cl⁻ 离子的漂洗水作为喷淋水吸收 HCl 气体,形成盐酸,尾气随后经洗涤塔 2 级洗涤达标后经烟囱排放。生成的氧化铁粉由于重力作用落到焙烧炉底,通过炉底的破碎机和旋转阀以及螺旋输送机利用气流传输系统输送到氧化铁粉料仓,在料仓上部安装有过滤器以净化粉尘,料仓下部设有一套自动包装系统,将氧化铁粉包装成 1 t 的包装袋^[8]。

2 太钢氧化铁粉质量现状及影响因素

用户普遍反映太钢生产的氧化铁粉 Fe₂O₃ 含量高,杂质含量低,比表面积大,可

用来制作高档软磁材料。通常来说,氧化铁粉的质量取决于其物理性能及化学性能。磁性材料对氧化铁粉物理指标的要求包括: BET 比表面积、平均粒径及松装密度;化学指标的要求为氧化铁粉中 Fe_2O_3 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 的含量。

2.1 太钢氧化铁粉物理性能指标

软磁材料对氧化铁粉的比表面积要求较高,氧化铁粉的比表面积越大,颗粒之间反应面积越大,氧化铁粉活性越好,反应越容易发生,可降低磁性材料的烧结温度,缩短烧结时间,提高磁性材料的产量,降低能耗^[9]。软磁材料生产厂对比表面积的要求为大于 $3.0 \text{ m}^2/\text{g}$, 太钢氧化铁粉的比表面积为 $4.2 \sim 5.0 \text{ m}^2/\text{g}$, 较高的比表面积使其受到高档软磁材料生产企业的青睐。

氧化铁粉的平均粒径影响其比表面积,平均粒径越小,氧化铁粉的比表面积越大,太钢氧化铁粉的平均粒径为 $0.5 \sim 0.95 \mu\text{m}$, 可满足软磁材料原料的要求。

氧化铁粉的松装密度影响用干态法生产出的磁性材料的尺寸精度。用户的要求为大于 $0.3 \text{ g}/\text{cm}^3$, 太钢生产的氧化铁粉松装密度为 $0.43 \sim 0.48 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

2.2 太钢氧化铁粉化学性能指标

氧化铁粉的化学性能指标取决于氧化铁粉中 Fe_2O_3 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等

化学成分的含量,其中 Fe_2O_3 是氧化铁粉纯度的重要指标, Fe_2O_3 含量越高,氧化铁粉纯度也越高。而 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等其他化学成分为氧化铁粉中的杂质成分,这些杂质成分一方面影响氧化铁粉的纯度,另一方面对氧化铁粉制成的磁性材料的性能有较大影响。用户反映氧化铁粉在加工制成磁芯的过程中,其中的杂质成分可造成磁芯元件内部出现结晶、开裂,导致产品强度降低、外观不良,严重影响磁性能。太钢铁氧体用氧化铁标准 Q/TX 9001-2015 对氧化铁粉中各化学成分含量做了详细的规定,并将 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 的含量作为氧化铁粉判定等级的依据。

太钢 2016 年 1~3 月份氧化铁粉的质量状况如表 1 所示。由表可以看出,氧化铁粉中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Cl^- 及 SO_4^{2-} 含量控制稳定,基本满足 Q/TX 9001-2015 标准中 YHT1 级品指标,但氧化铁粉中 CaO 含量偏高,其平均含量为 0.02% ,超过 YHT1 级品指标。

图 2 为太钢 2016 年 1~3 月份氧化铁粉及主要化学元素的合格品率,由图可以看出氧化铁粉中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Cl^- 及 SO_4^{2-} 的质量状况较好,其合格品率均控制在 90% 以上,而 CaO 的质量波动较大,其合格品率远低于其他化学成分。因此, CaO 为目前影响氧化铁粉质量的主要因素。

表1 太钢 2016 年 1~3 月份氧化铁粉的质量状况 /%

名称	YHT1	1月实际值	2月实际值	3月实际值	平均值
Fe_2O_3	> 99.3	99.45 ~ 99.52	99.48 ~ 99.49	99.43 ~ 99.56	99.48
SiO_2	≤ 0.01	0.008 ~ 0.022	0.008 ~ 0.014	0.006 ~ 0.023	0.01
Al_2O_3	≤ 0.01	0.008 ~ 0.03	0.021 ~ 0.024	0.001 ~ 0.008	0.01
CaO	≤ 0.015	0.013 ~ 0.019	0.021 ~ 0.024	0.012 ~ 0.024	0.020
Cl^-	≤ 0.15	0.12 ~ 0.18	0.10 ~ 0.15	0.10 ~ 0.11	0.13
SO_4^{2-}	≤ 0.1	0.033 ~ 0.064	0.048 ~ 0.071	0.034 ~ 0.083	0.054

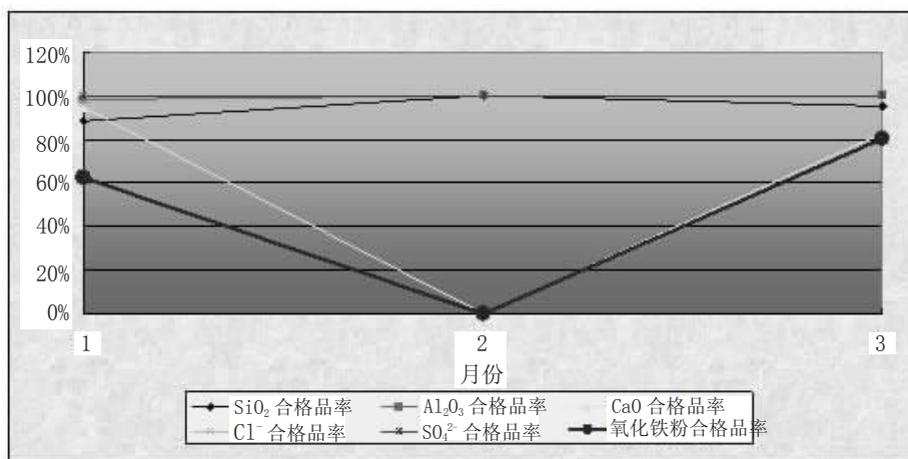


图2 2016年1~3月份氧化铁粉及主要化学元素的合格品率

3 氧化铁粉中 CaO 的主要来源

氧化铁粉中 Si、Al 等杂质主要通过酸再生的脱硅工艺去除,其工艺原理为:在废酸中加入氨水,使 Fe²⁺ 及其它金属离子生成氢氧化物,同时反应罐底部通入空气与废酸进行氧化反应,形成 Fe(OH)₃ 颗粒,由于 Fe(OH)₃ 与 SiO₂ 颗粒极性相反,能很好的吸附废酸中的硅,此时加入高分子絮凝剂,使吸附有 SiO₂ 的 Fe(OH)₃ 颗粒絮凝体增大,然后在沉淀池中得以沉淀,从而达到脱硅的目的,这一反应过程可脱除废酸中大部分杂质

成分,如 Si、Al、Cu、Cr、Ni、P 等,但对 Mn、Ca、S、Na、B 等无去除效果^[10]。由于 Ca²⁺ 易溶于酸,易溶于水,很难通过脱硅工艺去除,废酸中的 Ca²⁺ 经过焙烧炉灼烧后,最终全部进入到氧化铁粉中,因此,只有从源头控制 Ca²⁺ 的引入,才能控制氧化铁粉中 CaO 的含量。

3.1 酸再生工艺介质化验分析

由于酸再生机组不是决定氧化铁粉质量的唯一因素,废酸的成分、酸洗及盐酸再生过程中使用的材料和介质都可能影响氧化铁粉的质量。酸再生对可能引入 Ca²⁺ 的介

表2 酸再生工艺介质的化验分析

样品	Ca ²⁺ 含量 /mg·L ⁻¹			
	再生酸	废酸	漂洗水	新盐酸
1	0.5	16.1	0.6	138.1
2	0.8	3.6	0.2	63.9
3	0.4	9.9	0.5	130.4
平均	0.6	9.8	0.4	110.8

由表2可以得出,新酸中的 Ca²⁺ 含量最高,其平均含量达到 110 mg/L,由此得出,新酸为氧化铁粉中 Ca 的主要来源。另外,废酸中 Ca²⁺ 含量的升高说明酸洗过程中也可能

引入了 Ca²⁺。

3.2 新酸与氧化铁粉中 Ca 含量的关系

图3为2016年1~3月新酸添加量与氧化铁粉中 CaO 含量的关系。由图可以看

出，氧化铁粉中 CaO 含量随新酸添加量的增大而增大，其中 2 月份新酸添加量超过 20%，氧化铁粉中 CaO 含量大于 0.02%，氧

化铁粉品级降为 YHT3 级品水平，因此，新酸是导致铁粉中 CaO 含量升高的主要因素。

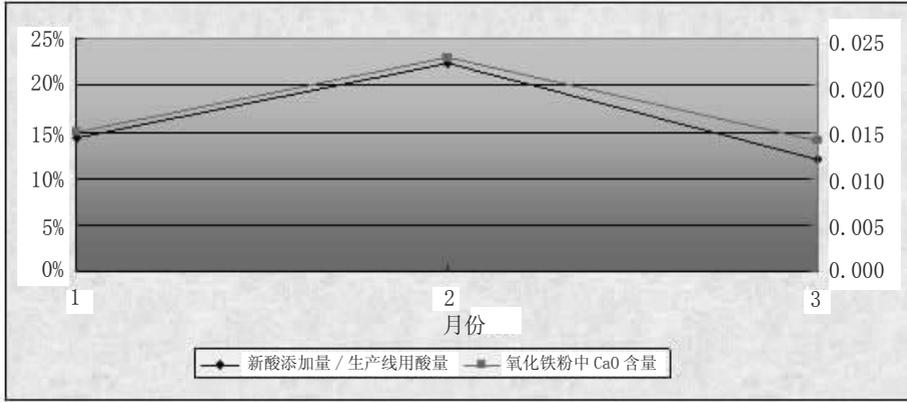


图 3 2016 年 1~3 月新酸添加量与氧化铁粉中 CaO 含量

3.3 新酸使用过程中氧化铁粉中 CaO 含量的波动

由于酸洗线存在酸损，因此需要向系统补充新酸以备生产线使用，而新酸浓度较高，需要将新酸与水按照 1:1 的比例配置成低浓度的盐酸使用。图 4 为新酸配置过程氧

化铁粉中 CaO 含量的变化。由图可以看出，当不使用新酸时，铁粉中 CaO 含量控制在 0.015% 以下，而当向系统中补充新酸后，铁粉中 CaO 含量明显升高，最高可达 0.05%，由此，进一步说明了新酸是导致铁粉中 CaO 含量升高的主要原因。

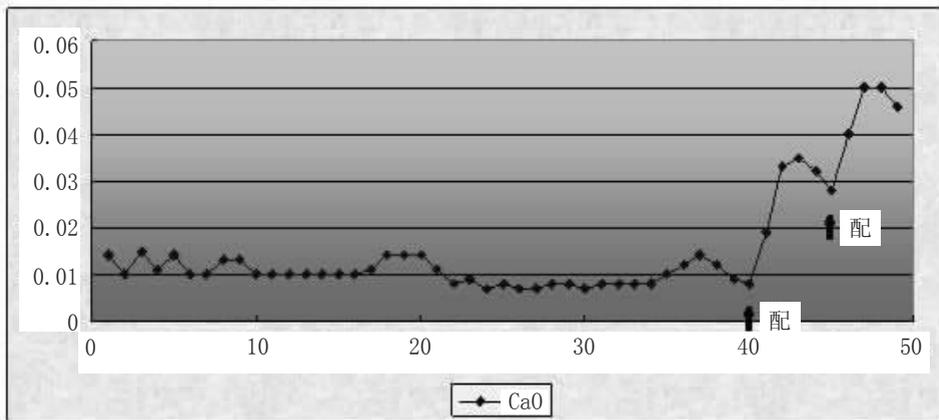


图 4 配酸过程对氧化铁粉中 Ca 含量影响

4 控制氧化铁粉中 CaO 含量的解决方案及对策

(1) 调整补酸模式，通过均衡补酸，降

低系统中 Ca²⁺ 浓度。旧的补酸模式只有在废酸量不足 20% 且酸再生停车时才向系统补充新酸，直至废酸量达到 360% 时停止补酸并继续酸再生生产。由于新酸中 Ca 含量较

高,这种补酸模式会造成一次性向系统补充大量新酸,使得系统中 Ca^{2+} 浓度急剧升高,酸中增加的 Ca^{2+} 经过喷雾焙烧后全部进入到氧化铁粉中,导致氧化铁粉中 Ca 含量升高。因此,需调整补酸模式,采取边生产边补

酸的方法,根据生产实际及再生酸和废酸量,均衡补酸,合理安排补酸量,目的是将新酸与再生酸混合加以使用,降低系统中 Ca^{2+} 浓度,使得单位质量铁粉中 Ca 含量降低。

图 5 为调整补酸模式后,2016 年 5 月

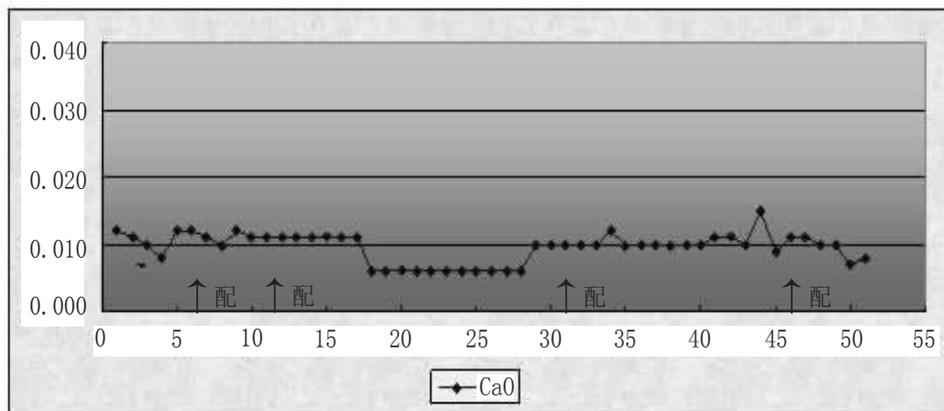


图 5 2016 年 5 月份氧化铁粉中 CaO 含量

份氧化铁粉中 CaO 的含量。由图可以看出,氧化铁粉中 CaO 含量为 0.006% ~ 0.015%,基本控制在 YHT1 级品指标内。

(2) 控制酸损失,增加酸循环次数。由于酸洗过程存在酸损失,损失的盐酸需要向系统中补充新酸以满足生产要求,因此降低酸损失,可减少新酸用量,降低系统中 Ca^{2+} 含量。实践证明,当酸洗线酸损失低于 20% 时,氧化铁粉中 CaO 含量可控制在 0.015% 以内。另外,废酸通过一次灼烧后,其中的杂质成分以氧化物的形式进入到氧化铁粉中,因此增加酸循环次数,可降低系统中 Ca^{2+} 的含量。

(3) 对酸系统的介质来源、管道进行排查,对操作进行标准化,严格作业过程监控,并对过程中的介质进行分析化验。生产线控制 Ca^{2+} 含量的手段之一是控制进入酸系统的水源,目前酸槽系统全部使用脱盐水,清洗酸槽过程中严格监控将含 Ca^{2+} 高的生活水或消防水引入酸系统中,同时定期对过程

介质进行化验分析,监控 Ca^{2+} 的引入。

(4) 控制精脱硅铁条品质,检查铁条来源及钢种。精脱硅铁条中含有尘土、石子等杂质,粉尘会影响氧化铁粉中 CaO 含量,因此在使用之前应进行杂质清理,保证使用的铁条表面清洁,无粉尘污垢。

(5) 消除外部介质引入 Ca^{2+} 对铁粉的影响。生产线为更好的进行酸洗,有时会向废酸中加入促进剂以加速反应的进行,因此应控制促进剂中的 Ca^{2+} 含量,优先使用含 Ca^{2+} 低的促进剂。

通过采取以上措施,氧化铁粉中 CaO 含量得到有效控制,其百分比含量从 0.02% 降低至 0.009%,2 级品以上比例从 77% 提高到 90% 以上,太钢氧化铁粉质量得到提高。

5 结语

从钢板酸洗废液中回收氧化铁粉,作为支撑当今电子技术的重要材料——铁氧体

的主要原料,市场前景看好,特别是对高纯氧化铁粉的需求越来越多。太钢冷轧硅钢厂生产的氧化铁粉 Fe_2O_3 含量高,杂质含量低,比表面积大,可用来制作高档软磁材料。本文通过分析生产数据并结合现场试验得出目前影响氧化铁粉质量的主要因素是 CaO ,同时得出新酸为氧化铁粉中 Ca 元素的主要来源。在调整补酸模式,采取均衡补酸后,可降低系统中 Ca^{2+} 浓度,氧化铁粉中 CaO 含量控制在 $0.006\% \sim 0.015\%$;通过控制酸损失量,降低酸损失至 20% 以下,可减少新酸用量,增加酸循环次数,降低系统中 Ca^{2+} 含量;通过严格监控作业过程,消除外部介质 Ca^{2+} 的引入等措施,有效控制了系统中 Ca^{2+} 的其他来源。2016年5月份之后,太钢氧化铁粉中 CaO 含量得到控制, CaO 的合格品率从 77% 提高到 90% 以上,氧化铁粉质量有了稳定的提高。

参考文献

[1] 王鲁璐,李海英,王立贤等.高比表面积羟基

氧化铁的制备及影响因素[J].现代化工,2016,36(8):114-116.

[2] 鲁慧洁,梁慧婷,张恭孝等.钢材盐酸酸洗废液的回收与利用研究进展[J].山东化工,2014,43(8):43-49.

[3] 方泽明,王如意.酸再生技术改造及软磁铁氧体磁性材料的开发[J].武钢技术,2002,40(5):6-10.

[4] 魏恒,奚国良,赵忠民.焙烧工艺对酸再生氧化铁粉比表面积的影响[J].宝钢技术,2014(5):76-80.

[5] 杜荣娟,衣守志,陈琛.酸洗废液制备高纯氧化铁红[J].化工环保,2012,32(5):448-451.

[6] 徐军来.废盐酸再生工艺浅析[J].南方金属,2013(192):36-39.

[7] 常勤学.盐酸再生站工艺设计及运行[J].冶金动力,2013,7(161):52-60.

[8] 乔梁,李霸宇,徐敏.酸再生提高氧化铁粉质量浅析[J].中国冶金,2008,18(1):55-57.

[9] 杨兴亮,李宏,沈新玉.马钢氧化铁粉综合评析[J].鞍钢技术,2005(6):12-14.

[10] 李华彬,和安西,蔡斌等.酸再生工艺参数对氧化铁粉质量的影响[J].钢铁钒钛,2005,20(1):49-53.

太钢三大类产品通过印度国家标准局现场认证

日前,经过历时一周的现场审核评定,太钢不锈钢、硅钢、碳钢三大系列产品顺利通过 BIS(印度国家标准局)认证专家的现场认证,此举不仅使太钢不锈钢成为国内首家通过该认证的产品,同时标志着太钢主要产品迈出了通往印度及周边高端市场的重要一步。

BIS 是印度标准化与认证主管机构,具体负责产品认证工作,也是印度唯一的产品认证机构。通过其认证的产品会打上 ISI 标志,该标志在印度及周边国家有着广泛的影

响和良好的信誉,是产品质量的可靠担保。产品一旦标有 ISI 标志就意味着符合印度相关标准,消费者可以放心购买。

现场审核期间,BIS 专家对太钢相关的生产设备、试验设备、工艺管理、原材料和质量控制、异议管理等进行了全方位审核评定,对三大系列产品 20 多个品种规格进行了抽样产品检测。评审专家认为,审核所抽取产品成分、性能、尺寸符合标准,质量管理体系符合要求,现场审核通过。

(摘自相关报道)

特殊钢的制造技术历史和基本工艺方法

外事办 庞菲骥 庞 河

摘 要 本文概括说明了日本特殊钢的制造技术历史和基本工艺方法,介绍了经过一个世纪,日本构建起的制造特殊钢工艺方法的骨架,以及未来特殊钢工艺技术的研发方向等。

关键词 特殊钢 制造技术 工艺方法

1 前言

日本从 1900 年代以来的 50 年间里,下大力气学习并汲取了欧美长达约 400 年构建起的钢铁制造技术,在官办钢铁厂开始了普通轧制钢材和铁路用铸造轨道的生产。当时,特殊钢基本是依赖进口,在 1914 年爆发的第一次世界大战中,由于受到欧洲特殊钢供需吃紧的影响,迫使日本也开始了生产。

其后的 100 年,日本的特殊钢以其性能、品质、制造技术达到了世界顶级水平,成为今后继续担负支撑全球性新产业拓展的兴盛和包括新兴国家在内的社会工业化的重要角色。

2 特殊钢的用途和制造的历史

在业已高度工业化的社会当中,在日常生活与生产活动所涉及的地方,都在使用着特殊钢制的部件。例如通过汽车、铁路、船舶、飞机等的移动手段,使人和物“运动”;将资源变为能量,再将其能量“变为”动力,利用其动力将素材进一步“转变”为功能性的物质;利用信息通信及电子器械使人与物“联系起来”。

图 1 总括了用特殊钢制的部件系列以

及利用其组装成先进的构件、机械、设备的产业的关系。我们知道,像齿轮、弹簧、螺栓、轴承,从构成机械要素的基本部件到资源采掘和发电用部件,以及制造物品时不可缺少的模具这样的重要部件,以及通过燃料燃烧发生动力的引擎用高性能部件,支撑各产业的各式各样的高性能部件中都使用特殊钢。

本文主要讲述特殊钢钢材与制造技术的关联性。图 1 下段用 3 个框圈起来的是有关工艺流程。首先回顾一下在中央框中的可以说是特殊钢制造技术原点的工艺流程的历史吧。相当于日本特殊钢制造黎明期的 1930 年代,已经采用调整成分用的铁合金和熔化工具钢的电炉(通过电能熔化原料的炉子),铁轨用锰钢使用了特殊铸模的铸造(把钢水浇注到铸模、凝固成制品形状的工艺)设备,制造锻造飞机用气门和螺旋桨主轴(把凝固了的钢材用大的力量使其变形从而调整组织和形状)的 1~2t 的锤式锻造机等。

其后用了仅仅数年,原来 1~2t 级别的电炉熔化能力达到了 10t,由于大容量高频炉(以电磁力熔化原料,通过钢水搅拌谋求成分均匀化。由于吸收大气中气体成分较少,所以是适合冶炼不锈钢、耐热钢、工具钢

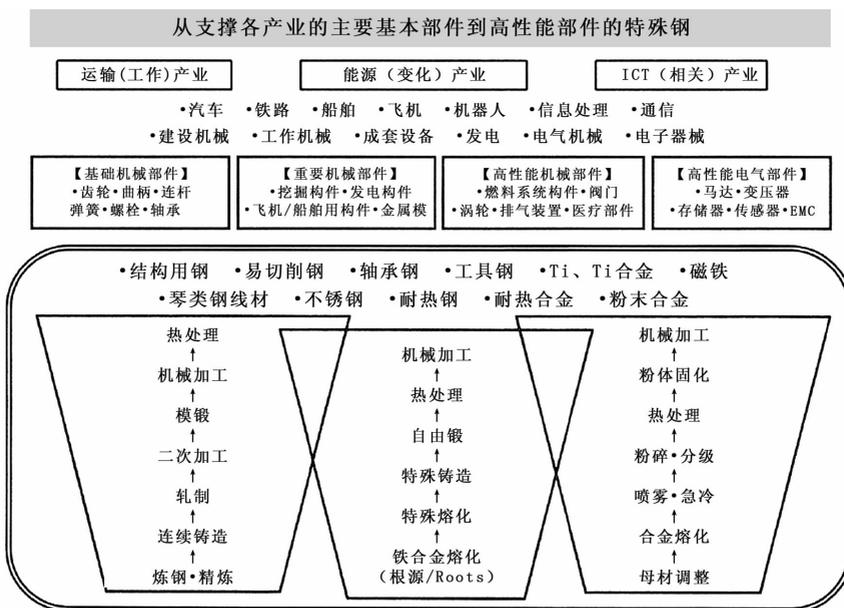


图 1 从支撑各产业的主要基本部件到高性能部件的特殊钢

的炉子)、轧机(将加热的钢材用轧辊施以反复压缩与延伸的加工,以达到调整钢材形状和内部组织的设备)的投用,从而能够制造出弹簧钢、螺栓用钢、阀门用耐热钢、汽车用结构钢。

第二次世界大战后,生产对象转向了多种多样的民用制品,特殊钢的工艺技术大踏步地进步了。目前,在制造发电机以及船舶·飞机引擎这样尺寸超过 1m 的耐热钢大型部件上,采用的是能够防止气氛污染的 20t 级的真空熔化炉,以及达到 1000t~10000t 级别的具有冲压力的锻压机。以小型部件为例,能够精密铸造出曲面状、厚度仅有不到 1mm 的叶片,是用于汽车用增压器的耐热合金钢制的轮盘。

图 1 下段中间框可称为制造特殊钢根源性的工艺,它在更高端的技术上延续发展,在部件设计当中结合了特殊钢部件所使用严酷环境材料评价技术,日美欧的钢铁厂商在开发和实用化上走在了前面,成为这些厂商之间对材料性能、成本以及包括物流

在内的近来国际竞争很激烈的商业领域。

3 面向汽车领域的特殊钢制品和制造技术——要求数量级效率

图 1 下段左框表示的工艺是不断发展的、满足用于汽车机械部件和高性能部件性能要求的制造技术。日本特殊钢生产量的变化在图 2 上段表示。作为参考,记载了汽车引擎部件中的曲轴和连接杆、动力传动部件齿轮和主轴、部件紧固用螺栓等所使用的结构用钢的生产量。我们看到,特殊钢产量的变化与汽车制造增加使用的结构用钢的变化是同步的。

在称做经济高度成长期的 1960 年代,伴随汽车的普及,特殊钢的需求也大增了。与电炉厂商(将原料废钢用电炉熔化、调整成分)一道,就连高炉生产厂(将原料矿石用高炉制成碳含量高的铁水,将铁水中的碳与从外部吹进去的氧进行热反应后,利用转炉来调整成分)根据需求也进行了大规模的设备投资,在 4~5 年当中生产量以 2 倍以上

的速度制造出了大量的特殊钢。

但是,在1970年代,由于再次的石油危机,造成经济成长“刹车”,原料/燃料价格一同飙升,以制造高效率化为主题的节能对策成为课题。而在另一方面,以石油危机为背景,日本的小型汽车以其油耗低在海外得到好评,被认为是品质好,输出不断增加。因日本国内汽车厂商要求低油耗以及高品质,所以在海外推进拓展当中,特殊钢厂商为提高品质,提供了使用在汽车上的用于机械要素及高性能部件的特殊钢。

汇总起来,从交通工具的机械化序幕的揭开到现在,根据景气情况,虽然制造课题变化了,但“高效率大量生产高品质特殊钢”的经营活动一直是汽车用特殊钢工艺的首要课题。

图2的下段表示工艺技术的变迁。在熔化原料、调整成分的炼钢工艺当中,采用电炉熔化时要使用电力。为了在短时间内以最大功率熔化废钢原料,一直在寻求大电力的作业和熔化炉的大规模化。在此产生的大量钢水必须在后面的工序高效率地凝固。

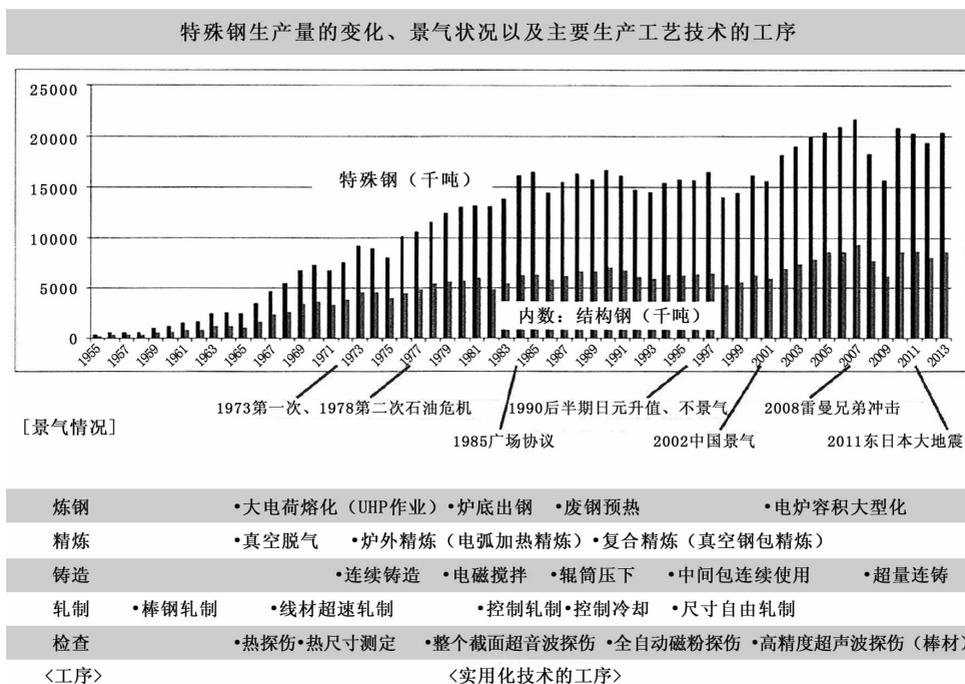


图2 特殊钢生产量的变化、景气状况以及主要生产工艺技术的工序

1960年代以前曾经是主流的铸锭法(将钢水接卸到运输用的容器-钢包中,然后分别注入到有几吨容积的金属铸模里,使其凝固,制造成叫做钢锭的铸坯)赶不上生产需要。通过连续铸造技术的实用化才得以使钢水高效率地凝固了。连续铸造就是将钢包里的钢水接卸到中间包(铺有耐火材料的大型容器。能把夹杂物上浮分离,具有提高

钢水洁净度的功能),从中间包底部的孔(水嘴)把钢水连续地凝固、拉拔出来的技术。

在拉拔出来凝固之后,被切成适当长度的钢锭,在开坯工序(用冲压及大型轧机使凝固组织细化并调整形状后制成钢坯的工序)之后,被轧制成板、带、棒、线的形状。通过对轧机、马达、控制系统、钢坯/轧材加热炉等的开发和设备配置,以及前后工序的

物流最佳化而确立了高速的轧制工艺,由于确立了与熔化工序的生产节拍相匹配,为生产效率的大幅提高做出了贡献。

这样,大型电炉炼钢、高速轧制等革命性的制造技术就作为高效率制造大量特殊钢的工艺固定下来了。近年来,以节省能源/资源和降低环境负荷为课题的工艺开发正在着力推进。

4 汽车用的特殊钢制品与制造技术

——追求品质

数量扩大与效率提高并行,为改善品质的工艺开发一直在进行。对用于汽车部件的特殊钢,要求不要因钢材内部的不良和缺陷而降低部件性能的高品质。钢材内部的不良与缺陷中,会有因磷、硫、氧、氮、氢等不纯物的残留,特别是由于氧与金属反应所生成的夹杂物,以及因成分元素明显局部存在引起的偏析和内在的裂纹。

炼钢工艺中通过严格筛选将不纯成分混入做到最小限度,在这样的原料废钢品质的基础上,利用钢渣(调整成分的氧化物层,在钢水的液面形成)彻底地吸附及去除钢水中残留的不纯物质。从熔化炉将钢水倒入到钢包的时候,为了不夹带含有钢水上部不纯物的钢渣,从电炉炉底出钢的技术也被实用化了。

钢水的品质在下工序的精炼工艺还可进一步提高。1970年代前后投入的真空脱气法是将盛满钢水的钢包连接到真空槽,通过使钢水循环来去除氮和氢等气体成分。通过脱气处理,钢水得到洁净化。不过钢水温度会逐渐下降,如果发生处理时间延长和输送时间延误的情况,卸到中间包时的钢水温度就会急剧下降。这样,在连续铸造时从中间包底部开始凝固的组织 and 偏析的样态发生变化,即不能够得到稳定的钢材品质。作为解决方

案,1970年代中期开发出了在钢包上盖上加装有电弧加热结构的炉盖来加热钢包内的钢水,能够控制温度的炉外精炼法。该方法还可进行在钢包内做成分调整的钢渣精炼。由此,用电炉进行原料的大量熔化和成分微调,用炉外精炼进行成分微调整和温度控制,将与炉子能力匹配的工序职能分担起来,对于炼钢及精炼工序生产效率的提高给予了期待。

铸造工艺方面,连续铸造时从中间包的水口通过结晶器(加有水冷的铸模)的钢水接触到结晶器,从被冷却的外侧逐渐开始凝固。而内侧还是熔融的状态,将其钢水从外部用附加的电磁力进行搅拌,促使夹杂物上浮,从而提高洁净度。进而在凝固行进时,从铸坯的外侧通过挤靠辊子来防止铸坯中间部位偏析和裂纹的发生。

在即将接近制品成形的轧制工序,其进步也不能够缺少对钢材高品质化的要求。对于每个钢种通过正确地管理轧制前的加热温度和轧制中的钢材温度以及控制加工量来逐步完善板形和内部组织。以高温加工的轧制材料,在冷却方面也是品质管理的重要之点。如果材料的冷却方式有偏差,内部组织会随着冷却速度的缓急发生变化,这就成了材料强度偏差的原因。为此,有采用通过加热、保温、风量及水量的调整等措施,力求冷却方式稳定化,被称作是具有极高可操作性的控制冷却方法。

在炼钢及精炼工序,受到快速且高精度分析技术的支撑,实现了钢水的成分控制和洁净化;而在铸造及轧制工序,由于使用了检出能力优异的检查技术,使得板形/尺寸、缺陷、内质(组织、偏析)在不断改善。今后,由于ICT技术的普及,应用从制造现场得到的大数据,谋求更加高品质化的举措会成为新的课题。

5 特殊钢的基本工艺方法

以上汇总了特殊钢工艺技术的变迁。由于全都是专业的用语,所以对基本工序做了要点性整理,如图 3 所示。

它包括贯通了由特殊钢生产厂商到用户的熔化、凝固、铸造、延伸、加工、热处理、

精加工等的工艺流程。也是各工序所赋予附加价值的钢水、铸锭、钢坯、半成品、产品、调质品(热处理品)、部件等称作特殊钢制品的制造流程。做为对前工序的追溯,即是成分、组织、尺寸/表面性状、强度/形状精度等品质管理要点管控的流程。

图 3 中的半成品直到“加工”成制品的

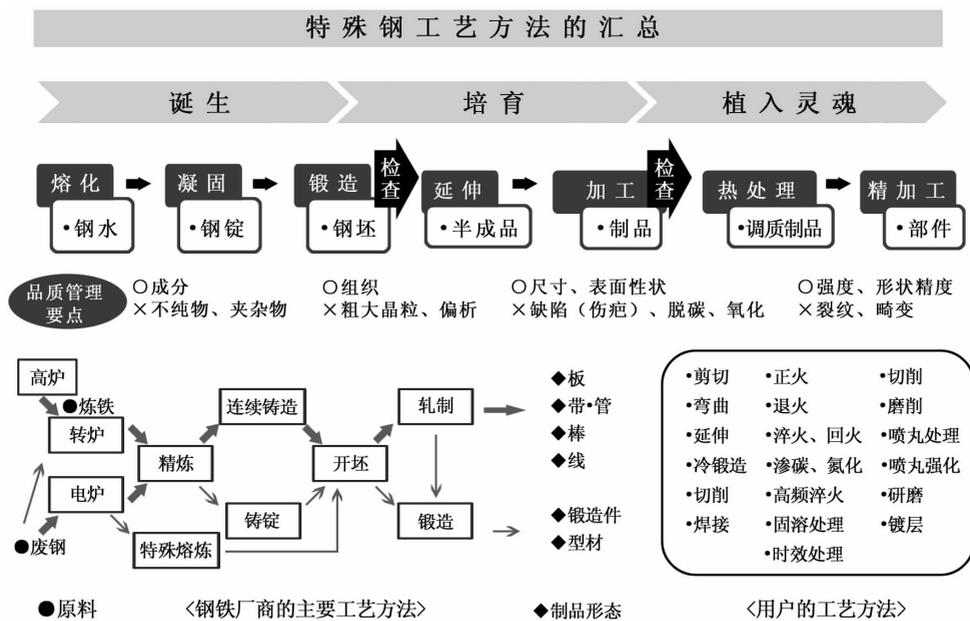


图 3 特殊钢工艺方法的汇总

工艺方法(称做二次加工)作为“热处理”特殊钢产品(在该工序使特殊钢发挥应有的性能。完全是植入灵魂的工艺)之前的工序,担负着重要的作用。二次加工的内容由于涉及多个方面,所以篇幅关系就介绍这些。

6 结束语

经过了一个世纪,构建起了制造特殊钢工艺方法的骨架。由此诞生、成长、注入灵魂的特殊钢制品,在完成了其使命作为废钢被回收之后,又将重新变成贵重的钢铁原料。日本国内的特殊钢生产厂商以这些有价资源的循环流程为轴线,通过驱使开发各自擅

长的具有特点的新技术和对经济合理性的不懈追求,探究着工序、产品、品质的潮流,今后仍将继续支撑各个产业的发展。

目前,正在发生着由于 ICT 技术的发展形成的新产业的兴起,以及 ICT 技术与现有产业的融合。正如图 1 右框里的那样,会相继产生出“新流程”,涉及从 ICT 相关产业所必需装置/部件到所期待的应用于此的材料和制造工艺。确信,经过切磋磨合、持续成长壮大的日本国内特殊钢生产厂商,在澎湃扩展的市场当中,仍将突破工艺技术的研发,向其国内外提供创新性的商品,担当起新时代的引领者。

浅析残留乳液对钢板表面质量的影响

冷轧硅钢厂 张兰芳

摘要 本文通过对2300轧机系统乳液浓度、电导值、pH值、乳化液的更换周期等参数的研究,提出通过改善乳化液的洁净度和控制道次变形热,达到减少、消除钢板表面的乳液残留印记,继而提高钢板的表面质量,满足用户期望的目的。

关键词 残留乳液 钢板 表面质量

0 引言

冷轧硅钢厂2300轧机建于20世纪60年代,主要生产普碳钢、优碳钢、合金结构钢、不锈钢、纯铁等钢种,是单张四辊可逆式冷轧机,是国内唯一的一台宽幅达2300mm的冷轧机,其动压力可达4000t,而静压力可达5000t。目前生产的钢种有30CrMnSiA、917、406等,因此减少、消除钢板表面的乳液残留印记至关重要。

1 2300轧机系统的工艺流程及乳液在轧制过程中的作用

1.1 2300系统工艺流程

坯料准备:热连轧坯料(中、低碳钢/低合金钢)-原料剪剪切-酸洗。

轧制:设备检查(轧机压下、轧辊等)-水平调整-零位调整-1#操作上料-2#主操排第一道压下轧制(1#操作配合逐张送料)-2#主操排第二道压下-3#主操轧制(4#操作配合逐张送料)-3#主操排第三道压下-如此重复往返轧制-4#操作下料。

热处理及精整:退火热处理(电罩)-取试-矫直-切定尺-检验(表面、尺寸外

形)-涂油-包装-入库。

1.2 二十辊硅钢生产的工艺流程

热连轧坯料-原料切边-酸洗-轧制(擦拭器)-碱洗-热处理-涂层-精整-包装-入库。

1.3 2300乳液工艺流程

回收井油箱-乳液收集箱-磁辊过滤器(过滤乳液中的铁屑)→乳液进入平床过滤器的过滤槽,过滤槽底部有孔,槽内有不锈钢网,网上铺有过滤纸,乳液从前部经过滤纸流入平床过滤箱,当滤纸逐渐污染后,乳液流经的面积加大,乳液流向过滤槽后部(随着过滤纸污染加重,过滤槽中的液位升高,达到设定值时,液位控制器驱动电机带动不锈钢网和滤纸前进开始换纸,液位控制器控制电机停车,换纸过程循环往复,滤纸用完时自动报警,人工换纸)-乳液经循环泵站-轧机乳液喷管-收集槽-回收井油箱

乳液:轧制油与软化水按照一定的比例配制而成,使轧制油在水中得以乳化,用于冷轧轧制生产。

1.4 乳液在轧制过程中的作用及相关缺陷

乳液在轧制过程中起到的作用主要有

四点:一是在钢板表面析出油膜,起到润滑作用,油膜的薄厚决定了轧辊表面特征印在钢板表面的深浅;二是起到冷却轧辊和钢板的作用,变形区钢板温度可达近 100℃,变形区产生的热量主要依靠乳液带走;三是起到清洁轧辊和钢板的作用,轧制过程中钢板表面产生的铁粉、杂质主要依靠乳液的冲刷进而带入杂质过滤系统,从而保证变形区的清洁;四是短时间内对轧制出的钢板起到防锈的作用。

酸洗麻点:是由于热轧坯料加热时表面氧化严重、酸洗时过酸洗,酸洗表面的锈蚀痕迹清理不彻底而形成。

乳液麻点:乳液残留在钢板表面发生电化学反应而造成的凹坑。

酸洗麻点是在钢板轧制之前形成的,故由此带来的凹坑随着轧制过程的进行沿着轧制的方向发生变形,形成椭圆形的凹坑,而乳液麻点是在轧制之后形成的,在钢板表面出现近似圆形的凹坑。

乳液斑点:残留的乳液在钢板表面形成的印迹。

乳液斑点检验标准分三级,一级:钢板表面无乳液斑点;二级:钢板表面局部存在乳液斑点;三级:钢板表面整张有乳液斑点。改进工艺前乳液在钢板表面残留情况如图 1。

2 残留乳液对钢板表面质量的影响分析

2.1 优化乳油与软化水的参数,提高乳液的安定性



图 1 改进前乳液残留情况图片

通过与厂家协商,对乳油的成分进行微调,提高了乳液的安定性,减少出现破乳现象(破乳实质是指油水分离的现象,即金属在压力加工变形过程中,因产生变形热,钢板在变形热的作用下温度升高,当板温过高时形成破乳,随即在生产中就会压在钢板表面形成印记),我们对改进了的乳油的质量进行了检测,结果见表 1。

与相关部门联系,对配制乳液使用的软化水进行了随机的抽检见表 2。

由以上的检测结果可以看出,配制乳液的软化水与轧制油的参数均符合工艺质量

的要求。

2.2 快速提升乳液洁净度,杜绝乳液麻点出现

通过提高乳液的洁净程度,达到快速改善乳液、杜绝油污点压坑的效果。

(1)系统地清理主地沟、皮带机地沟及其相关部分,清理乳液箱、地井及其深井;

(2)通过与有净化废乳液实践经验的厂家联系,在乳液箱上安装撇油器(图 2),将撇油管安装在撇油器上,同时将撇油管放在净乳液箱的乳液中,此时撇油管漂浮在乳液液面上,启动撇油器使撇油管转动,由于撇油管的材质具有亲油疏水的性质,转动的撇

表1 乳油参数检测表

编号	检验项目	质量标准	检测结果
1	外观(环境温度 5℃)	棕褐色透明	棕褐色透明
2	pH 值	6~8	6.5
3	酸值	< 15	4.95
4	皂化值	40~60	59
5	V40℃粘度	35~55	46
6	钢板防锈性	合格	合格
7	闪点(开口)	≥150	180
8	倾点	≤-5	-10
9	PB 值(最大卡咬负荷)	≥50	55
10	3%乳化安定性 24h	≤3.0	2.0
11	N 含量	0	无
12	ESI	稳定	稳定

表2 软化水参数检测表

编号	检验项目	质量标准	检测结果
1	pH 值	棕 6~9	8
2	浊度 NTU	≤5	5
3	电导率 / $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$	≤100	86
4	总铁 / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	≤0.5	0.3
5	总硬度 / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	≤20	15
6	Cl/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	≤60	48
7	悬浮物 / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	≤5	3
8	油 / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	≤0.5	0.2

油管可将乳液中残留的脏油带起,带脏油的撇油管进入撇油器的刮油系统,脏油被刮在接油槽中,废油通过管道进行集中回收。每班利用撇油器清理乳液中的浮油,提高了乳液的清洁程度;

(3) 过滤纸宽度由 1320mm 改为 1430mm,防止未过滤的乳液进入循环系统;

(4) 增设乳液液位报警装置,防止乳液箱底部沉积的污泥流入乳液喷管;

(5) 为了改善吹扫乳液的效果,在机后又增加了一套高压风的吹扫系统,其工艺压力为 0.6MPa。为保证它的吹扫效果,风嘴距轧辊的位置在 200~300mm 之间,风嘴与乳

液管的水平夹角为 30~45° 之间,轧制中单数道次进行吹扫,使轧辊上的残留乳液清理的更为彻底,对乳液斑迹的消除起到了较好效果(图 3)。

由图 4 可以看出,以上措施的实施与乳液斑迹程度的减轻是有利的。

2.3 优化乳化液的更换频次,降低乳液的斑点

我们进行了对比试验,2016 年 7 月乳化液的更换频次由每月的 1 次更改为 4 次,6、7 月份无乳液率的完成情况如图 5。从图 5 中可以看出,增加更换次数对乳液斑迹的影响比较明显。

2.4 优化上料片数,寻求片数与乳液斑点的



图2 风管吹扫效果图

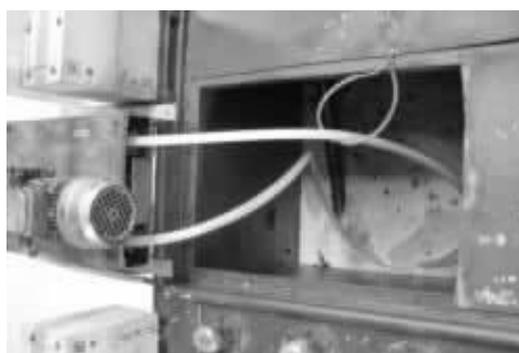


图3 撇油器设备



图4 乳液初步改进效果图

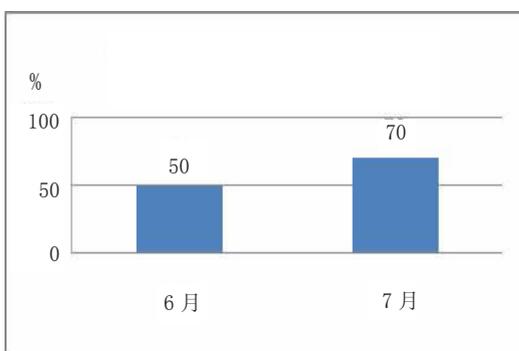


图5 提高更换乳化液频次前后无乳液率情况对比图

联系,根据现场情况寻找最佳的组合

试验条件:采用相同钢种、同一规格,在更换乳液后的2天之内,采用四种不同的上料片数,每组片数分别为15、18、21、25片,对无乳液率情况进行跟踪,检测结果见表3。

由此,可以看出,每组片数与钢板表面乳液斑点的形成是正相关,当一组片数超过20片时,生产过程中随着钢板长度的增加,钢板重叠、搭接的现象更加频繁,给乳液的

挥发带来了难度,因此,上料片数按15片组织生产。

2.5 优化乳液浓度,寻求乳液浓度与乳液斑点的联系

根据现场情况,寻找最佳的组合。将乳化液的浓度提高到0.8%,对钢板的无乳液率的情况进行跟踪,检测结果见表4。11个卡计2787片钢板的无乳液率为67.38%,而现场当月的无乳液率为76.51%,故乳化液浓度的升高,将使无乳液率的比例下降。

表3 上料片数跟踪表

每组片数	卡号	钢种	产品规格 /mm	片数	一级片数	二级片数	无乳液率 /%
15	R2030040	20	3 × 1000 × 2000	300	260	40	86.67
18	R2030041	20	3 × 1000 × 2000	320	250	70	78.13
21	R2030042	20	3 × 1000 × 2000	290	200	90	68.97
25	R2030043	20	3 × 1000 × 2000	295	200	95	67.80

为了摸索乳化液浓度的合理范围,决定在保证变形区油膜完整的前提下,尽量让油膜变薄,即尽量降低乳液的浓度。试验条件:

在后续生产中,将浓度控制在0.1%~0.3%,上料片数均按15片组织,在更换乳液之后的3天中进行试验,检测结果如表5所示。

表4 乳液浓度0.8%跟踪检测表

卡号	钢种	成品规格/mm	轧钢班别	当班片数	一级片数	二级片数	三级片数	无乳液率/%
R2030019	20	4×1300×2000	轧乙	122	90	32	0	73.77
R2030019	20	4×1300×2000	轧甲	97	70	0	27	72.16
R2030020	20	4×1300×2000	轧乙	218	80	108	30	36.7
R2030021	20	3×1000×2000	轧乙	160	120	40	0	75
R2030021	20	3×1000×2000	轧丙	215	115	100	0	53.49
R2030022	20	3×1000×2000	轧丙	285	210	45	30	73.68
R2030022	20	3×1000×2000	轧甲	90	60	30	0	66.67
R2030023	20	3×1000×2000	轧甲	372	290	82	0	77.96
R2030024	20	3×1000×2000	轧甲	303	200	103	0	66.01
R2030025	20	3×1250×2000	轧乙	58	28	0	30	48.28
R2030026	20	4.5×1000×2000	轧乙	250	195	55	0	78.00
R2030027	45	4×1200×2000	轧丙	38	10	28	0	26.32
R2030027	45	4×1200×2000	轧乙	192	110	0	82	57.29
R2030028	45	3×1200×2000	轧丙	307	240	37	30	78.18
R2030029	45	3×1200×2000	轧丙	80	60	20	0	75
合计				2787	1878			67.38

表5 乳液浓度调整跟踪检测表

卡号	钢种	成品规格/mm	轧钢班别	当班片数	一级片数	二级片数	三级片数	无乳液率/%
R2050099	20	1.6×1000×2000	轧乙	230	200	30	0	86.96
R2050099	20	1.6×1000×2000	轧丙	60	60	0	0	100.00
R2050100	20	1.5×1000×2000	轧丙	455	400	0	55	87.91
R2050097	20	3×1150×2400	轧乙	173	140	33	0	80.92
R2050039	45	2.5×1200×2000	轧乙	371	320	21	30	86.25
R2050097	20	3×1150×2400	轧丁	100	82	18	0	82.00
R2050092	10	5×1300×2000	轧丁	176	150	26	0	85.23
R2050094	20	5×1300×2000	轧丁	173	150	23	0	86.71
R2050102	20	5×1300×2000	轧丁	176	140	36	0	79.55
R2050104	10	4.5×1300×2000	轧丁	144	110	34	0	76.39
R2050098	45	4×1200×2000	轧丙	233	201	32	0	86.27
R2050096	45	4×1200×2000	轧丙	231	231	0	0	100.00
合计				2522	2184			86.60

跟踪的 10 个卡共计 2522 片料,无乳液率达 86.6%,故将乳化液的浓度控制在 0.1%~0.3%之间,发现浓度偏高时,及时通知相关人员加水稀释处理,确保产品质量的稳定。

2.6 优化电导值参数,减少乳液斑点

试验条件:每组按 15 片组织,针对不同的电导值,跟踪生产卡号的无乳液率,检测结果见表 6。

跟踪的 9 个卡计 1367 片料,无乳液率

仅 69.79%, 低于现场当月的 74.85%的水平,从中可以发现电导值 1500 成为一个分界线,发现电导值偏高(>1500)时,应及时重新配乳液,如果暂时不能重配乳液,则需打开阀门,排放部分乳液,再补充等量的新乳液,将电导控制在 1000 之内,目前电导徘徊在 500~1000 之间。

2.7 摸索 pH 值与斑点的联系,根据现场情况确定最佳的组合

试验条件:上料按 15 片组织,浓度按

表 6 不同电导值跟踪检测表

电导值	卡号	钢种	成品规格/mm	轧钢班别	当班片数	一级片数	二级片数	三级片数	无乳液率/%
1840	R2090088	10	4×1300×2000	轧乙	216	150	66	0	69.44
1740	R2090089	10	4×1300×2000	轧乙	213	150	63	0	70.42
1600	R2090087	10	4×1300×2000	轧乙	171	111	60	0	65.29
2000	R2090090	10	4×1300×2000	轧丙	44	0	44	0	0
1800	R2090094	10	4×1300×2000	轧丙	212	150	62	0	70.75
1540	R2090091	10	4×1300×2000	轧乙	216	160	56	0	74.07
1000	R2090062	45	5×1200×2000	轧甲	147	120	27	0	81.63
500	R2090063	45	5×1200×2000	轧丙	153	133	20	0	86.93
800	R2090064	45	5×1200×2000	轧丁	135	110	25	0	81.48%

表 7 不同电导值跟踪检测表

pH 值	卡号	钢种	成品规格/mm	轧钢班别	当班片数	一级片数	二级片数	三级片数	无乳液率/%
8.93	R2090044	20	2×1200×2000	轧甲	456	300	156	0	65.79
6.25	R2090067	10	4×1300×2000	轧甲	215	180	35	0	83.72
6.45	R2090074	08AL	4×1300×2000	轧丙	214	180	34	0	84.11
7.45	R2090072	08AL	6×1300×2000	轧丙	103	90	13	0	87.38
7.92	R2090073	08AL	4×1300×2000	轧丙	216	180	36	0	83.33
8.45	R2090024	08AL	4×1300×2000	轧乙	76	50	26	0	65.79
5.94	R2090023	08AL	4×1300×2000	轧丙	89	60	29	0	67.42
7.08	R2090087	10	4×1300×2000	轧甲	172	140	32	0	81.40
6.78	R2090068	10	4×1300×2000	轧甲	214	180	34	0	84.11

0.1%~0.3%调配,电导值控制在500~1000之内,针对不同的pH值,跟踪生产卡号的无乳液率情况,检测结果如表7所示。

通过跟踪的9个卡计1755片料,发现pH值在6~8之间时,无乳液率的情况较好,当pH值偏高或偏低时,残留的乳液更易形成斑点,故应及时与酸洗联系处理,控制在6~8之内。

2.8 分析成品厚度与斑点的关系

试验条件:乳液更换周期以7天为限,浓度调配0.1%~0.3%,pH值6~8,电导值500~1000,每组片数15片,以一个月的无乳液率为例,跟踪结果如表8所示。

从统计情况看,随着厚度的减小,无乳液率的比例也在减小,说明当厚度减小时,

辊缝减小,上、下轧辊压靠,乳液仅依靠高压风的吹扫,往往有些力不从心,故工人在机后使用墩布擦拭残留在钢板表面的乳液,作为补充措施。

2.9 分析变形率的大小与斑点的联系,优化操作规范

试验条件:乳液更换周期以7天为限,浓度调配0.1%~0.3%,pH值6~8,电导值500~1000,每组片数15片,以一个月的无乳液情况为例,情况如表9所示。

从表9中可以看出,随着变形率的增加,无乳液率在下降,在生产过程中可以通过增加轧制道次的方式改善乳液斑点,继而满足产品质量的要求。

2.10 通过对钢种的分析,研究斑点与钢种之

表8 不同厚度的无乳液率跟踪检测表

厚度/mm	当月片数	一级片数 上表面	一级片数 下表面	上表面 无乳液品率/%	下表面 无乳液品率/%	无乳液 优级品率/%
厚度≤2.5	3649	3289	3057	90.13	83.78	86.96
2.5<厚度≤3.0	3637	3363	3259	92.47	89.61	92.41
3.0<厚度≤4.0	4099	3808	3682	92.90	89.83	91.36
4.0<厚度≤5.0	1722	1646	1629	95.59	94.60	95.09
厚度>5.0	434	434	417	100.00	96.08	98.04
工序汇总	13541	12514	12170	92.42	89.88	91.15

表9 不同变形率的跟踪检测表

变形率/%	当月片数	一级片数 上表面	一级片数 下表面	上表面 无乳液品率/%	下表面 无乳液品率/%	无乳液 优级品率/%
变形率>45	6460	5134	4096	79.47	63.41	71.44
40<变形率≤45	1440	1163	1130	80.76	78.47	79.62
35<变形率≤40	12463	9332	9303	82.90	82.67	82.79
变形率≤35	5736	4992	4875	87.03	84.99	86.01
工序汇总	26099	23564	23058	90.29	88.35	89.32

间的关系

500 ~ 1000, 每组片数 15 片, 检测结果如表 10 所示。

试验条件: 乳液更换周期以 7 天为限, 浓度调配 0.1% ~ 0.3%, pH 值 6 ~ 8, 电导值

从连续 3 个月的数据可以看出, 随着

表 10 不同钢种的无乳液率跟踪表

各钢种无乳液情况	检验片数	一级片数		下表面	上表面	优级品率 /%	
		下表面	上表面	优级品率 /%	优级品率 /%		
3 月	10	8581	6650	6944	77.50	80.92	79.21
	20	1874	1350	1374	72.04	73.32	72.68
	45	1533	1076	1071	70.19	69.86	70.03
4 月	10	18269	15010	14879	82.16	81.44	81.80
	20	9611	7019	7424	73.03	77.24	75.14
	45	3843	2412	2471	62.76	64.30	63.53
5 月	10	8780	6731	7030	76.66	80.07	78.37
	20	8240	5953	6417	72.25	77.88	75.06
	45	4123	2465	2818	59.79	68.35	64.07

钢含量的增加, 无乳液率在下降, 45# 钢在常见的 3 个钢种中, 无乳液率的完成相对较差, 针对这种现象, 经过反复观察发现, 乳化液的干滞现象在 45# 钢中体现的较为明显,

为此规范了 45# 钢的坯料设计, 将变形率控制在 30% ~ 40% 之间, 将轧制道次由 5 道增加到 7 道, 调整后情况见表 11。

经过 3 个月 45# 钢在道次上的试验, 可

表 11 45# 钢经过调整后的跟踪检测表

各钢种无乳液情况	检验片数	一级片数		下表面	上表面	优级品率 /%	
		下表面	上表面	优级品率 /%	优级品率 /%		
8 月	10	7899	2674	3676	33.85	46.54	40.19
	20	25505	15649	18891	61.36	74.07	67.71
	45	4058	1836	2602	45.24	64.12	54.68
9 月	10	7167	5112	4469	71.33	62.36	66.84
	20	19608	12398	14413	63.23	73.51	68.37
	45	6122	3659	4745	59.77	77.49	68.63
10 月	10	3485	1760	1627	50.50	46.69	48.59
	20	17336	10435	10506	60.19	60.60	60.40
	45	6432	2392	4105	37.19	63.82	50.51

以看出 45# 钢的无乳液率已经得到了改善, 在变形率一定的情况下, 变形热的总量是一定的, 增加道次使每一道次的变形热减少,

同时, 增加了变形热扩散的机会, 故可以减少乳液的干滞现象, 使无乳液率的比例提高。

3 结论

- (1) 乳化液的更换频次以 4 次为宜。
- (2) pH 值应控制在 6~8 之间。
- (3) 乳化液的浓度应控制在 0.1%~0.3% 之间。
- (4) 电导应控制在 1500 以下, 最好在

1000 之内。

(5) 厚度越薄, 辊缝越小, 越容易造成部分乳液无法清理干净, 这仍然是摆在我们面前的一个难题, 需要 we 们继续进行研究, 目前可通过人工擦拭予以弥补。

(6) 在变形率一定的情况下, 通过增加道次可以改善钢板表面的乳液斑迹(图 6)。



图 6 改进后钢板表面的乳液残留状况

参考文献

[1] 刘文,王兴珍.轧钢生产基础知识问答.冶金工业出版社出版,2012年.

[2] 王守汉.塑性变形与轧制原理.冶金工业出版社出版,1998年.

[3] 翁宇庆等.轧钢新技术 3000 问中册.中国科学技术出版社出版,2000年.

太钢连续第三年获评“履行社会责任五星级企业”

近日,“互联网时代的社会责任——2017 中国企业可持续发展大会”在北京国际会议中心举行,会上发布了“2016 第三届中国工业企业履责星级榜”,太钢连续第三年获评“中国工业企业履行社会责任五星级企业”,也是本次 52 家五星级受奖单位中唯一的钢铁企业。全国政协常委、经济委员会副主任、中国工经联会长李毅中出席会议并作主旨报告。

级评价活动对前两届活动的相关社会责任评价指标进行了调整和完善,经企业自愿申报、有关单位推荐、资格审查、信息系统初评、复审、上报有关部委征求意见、公示、审定等程序,产生了“2016 第三届中国工业企业履责星级榜”。上榜企业以可持续发展为使命,代表了行业内先进的管理水平和履责水平,是资源节约、环境友好、社会和谐的首选企业。

第三届中国工业企业履行社会责任星

(摘自相关报道)

粉末样品的粒度对压片-X射线荧光光谱法测定炉渣准确度的影响

技术中心 任维萍 王 璐 芦 飞

摘 要 压片-X射线荧光光谱法测定炉渣的准确度常常受到粒度效应和矿物效应的影响。实验结合扫描电镜和能谱仪的检测手段,从宏观和微观的角度研究了炼钢精炼炉渣各组分在不同粒径范围的分布;对不同制备方法制得的粉末样品进行压片法和熔片法制片后,进行X射线荧光光谱测定,分析了检测结果产生差异的原因;借助ANOVA一元方差统计分析法,在0.16~0.088 mm粒度范围内,讨论了粒度对不锈钢精炼渣、电炉渣、碳素钢精炼渣、电炉渣主成分的压片-X射线荧光光谱法结果的影响;同一样品的同一组分在不同粒度范围内所占份额不同,特别是氧化钙、二氧化硅、三氧化二铝、氧化镁尤为显著,以至影响样品的均匀性和代表性;当样品粒度研磨至0.16~0.088 mm时,粒度影响不显著,压片法测定结果趋于稳定,可满足生产检验需求。

关键词 X射线荧光光谱 压片法 炉渣 粒度

X射线荧光光谱法(XRF)是炼钢炉渣化学成分测定的常用检测仪器,为了保证样品的代表性,须将炉前取到的块状渣样破碎、研磨并通过一定孔径的网筛,制备成一定粒径的粉末,最后通过粉末压片或玻璃熔片两种途径制成样片进行X射线荧光光谱测定(即压片法和熔片法)。X射线荧光光谱法是借助检测样品受激辐射的二次X射线强度进行元素含量分析,该二次X射线的辐射强度将不同程度的受到样品颗粒度的大小(粒度效应)和其中物质结构(物相)(矿物效应)的影响^[1-6]。熔片法制备样片时,由于样品在高温下与熔剂熔融形成非晶型玻璃体样片,消除了粒度效应和矿物效应,其检测精度和准确度水平较高,生产中,其检测结果可用作基准值^[7]。该法样品前处理需使用铂金器皿、高温炉及相应试剂,过程繁琐,制备速度较慢,不适于炉前快速检测,但可

作为一种较为准确的炉前渣样比对的分析质量控制方法。压片法样品前处理所需设备简单、方法简便、速度快,非常适合炉前渣样成分的检测,其不足之处是分析准确度常常受到粒度效应和矿物效应的影响,因此,本文针对不同种类的炼钢炉渣,着重研究了样品粒度的影响规律,可为生产质量控制提供参考。

1 实验部分

1.1 仪器设备

MXF-2400型X射线荧光光谱仪(日本岛津公司);ZEISS18型扫描电子显微镜(德国ZEIS公司);KF全封闭式化验粉碎制样机(南昌市达盛矿冶设备厂);全自动渣样机(HP-C型破碎机 and HP-M型研磨机组合)(德国HERZOG公司);YY-600型压片机(南京和澳机电实业有限公司);SRJX-4-13

箱式电阻炉（天津市中环实验电炉有限公司）。

1.2 试剂与材料

四硼酸锂 - 偏硼酸锂混合熔剂(m:m=2:1); 溴化铵溶液 400 g/L; 硝酸铵（饱和溶液）; Pt-Au 坩埚（95% Pt -5% Au）; 0.25 ~ 0.088 mm 孔径的网筛。

1.3 实验方法

1.3.1 样片制作方法

(1)压片法:分别称取一定量粉末样品（碳钢精炼渣 5 g、不锈钢精炼渣和不锈钢电炉渣 6 g、碳钢电炉渣 7 g）,在一定的压片机参数（15 MPa 压力、15 s 保压时间）下进行压片制样;

(2)熔片法:将 0.6000g 样品,按 m(样品):m(混合熔剂)=1:10 的比例,与四硼酸锂 - 偏硼酸锂混合溶剂（m:m =2:1）混合,加 1mL 饱和硝酸铵溶液,烘干后于 500℃ 预氧化,冷却,滴加 5 滴溴化铵溶液(400 g/L)作为脱模剂,于 1100℃ 高温熔融进行熔片法制样。

1.3.2 粒度试验

(1)将样品研磨至粒径约 2 mm,混匀,平均分为 3 份。第 1 份继续手工研磨,直至全部通过 0.125 mm 网筛;第 2 份由全自动渣样机制得粉末样,用以考察不同制样方法所得样品之间的差异;第 3 份在研磨机内研

磨 40 s 后,通过不同孔径网筛得到不同粒径段的样品,分别混匀,采用熔片的方法测定不同粒径段样品的成分,考察各组分在不同粒径区域的分布。

(2)对 4 类渣样分别研磨成粒径为 0.16 mm 粉末。各自混匀后,分别分为 4 份,其中 1 份保留 0.16 mm 状态,其余 3 份分别用玛瑙研钵研磨至 0.125、0.105 和 0.088 mm,形成 4 个粒级的样品,每个粒级按 1.3.1(1)条件制成样片,以 X 射线荧光光谱仪测定,考察 0.16 ~ 0.088 mm 范围内粒度对 X 射线荧光光谱压片法测定二氧化硅、三氧化二铝、氧化钙、氧化镁、全铁、氧化铬和氧化锰的影响。

2 结果与讨论

2.1 不同粒度范围内各组分的分布

2.1.1 不锈钢精炼渣各组分的分布

取钢种为 S30815 的不锈钢 LF 炉精炼渣,按照 1.3.2(1)中第 3 份样品制备方法,将样品筛分成不同粒级(> 0.25 mm、0.25 ~ 0.177mm、0.177 ~ 0.16 mm、0.16 ~ 0.125 mm、0.125 ~ 0.105 mm、0.105 ~ 0.088 mm、< 0.088 mm)样品,混匀后按 1.3.1(2)方法制备玻璃熔片,根据在相同条件下制备的标样样片所绘制的校准曲线测定各组分含量,结果见表 1。

表 1 不同粒径样品熔片法测定结果 w/%

粒度 /mm	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TFe	Cr ₂ O ₃	MnO
> 0.25	18.73	5.43	55.89	9.04	1.40	2.56	0.17
0.177 ~ 0.16	17.30	5.14	57.23	8.16	0.53	1.01	0.17
0.16 ~ 0.125	17.90	5.08	59.70	8.10	0.52	0.99	0.17
0.125 ~ 0.105	17.98	4.70	59.75	8.06	0.52	1.00	0.17
0.105 ~ 0.088	18.42	4.78	60.46	7.93	0.56	0.96	0.17
< 0.088	17.92	5.50	58.27	7.64	0.55	0.92	0.17

表 1 中,不同组分在不同粒度段分布不同,其中氧化钙在大颗粒样品中的含量低于小颗粒样品中的含量;氧化镁、三氧化二铬和三氧化二铝在大颗粒样品中的含量不同程度地高于在小颗粒样品中含量;粒度大于 0.25 mm 样品中二氧化硅、全铁含量显著高于其他粒度样品;氧化锰在不同粒径样品中分布差异不显著,即相对比较均匀;0.16 ~ 0.088 mm 粒度范围内各组分检测含量趋于

稳定。

2.1.2 碳钢精炼渣各组分分布

采用扫描电子显微镜背散射电子扫描钢种为 LZ50 的碳素钢精炼渣(与不锈钢精炼渣不同之处是铝含量较高,硅含量较低,铬含量甚微),结合能谱仪测定同一视场中不同观测点的成分,扫描图及对应能谱图见图 1(粗颗粒)和图 2(细小颗粒),能谱检测结果见表 2。

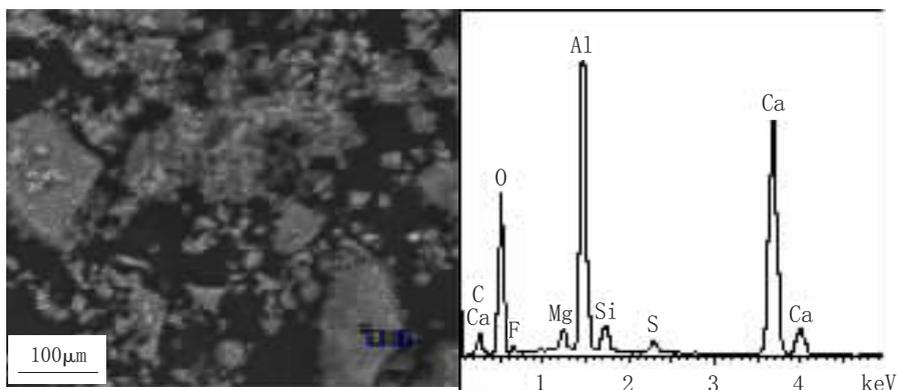


图 1 粗颗粒扫描电镜谱图及能谱图

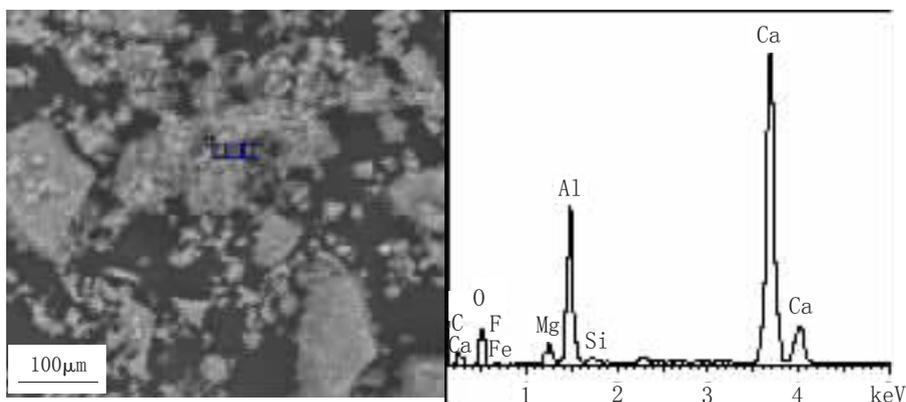


图 2 细小颗粒扫描电镜谱图及能谱图

由图 1、图 2 和表 2 可以看到:大颗粒样品中铝、硅含量高于粉末状区域的含量,而钙含量则相反,大颗粒样品中明显低于粉末状区域中的含量;由于碳钢精炼渣中铝含量较高,而硅含量较低,所以两个观测点中铝含量差异比硅含量差异更为显著;表 2 显

示:大颗粒中氧含量高于粉末状区域。

综合 2.1.1 和 2.1.2,在一定的研磨时间条件下(本试验为 40 s),硅、铝、镁、铁、铬元素在较大颗粒渣样中含量较高,说明它们较其他组分难于研磨,因此推断其矿物结构硬度较大,而钙的氧化物在细小粒径的粉末中

表 2 能谱仪检测结果 w/%

粗颗粒		细小颗粒	
元素	质量分数	元素	质量分数
C	0.80	C	0.78
O	50.60	O	31.01
F	4.51	F	3.61
Mg	1.38	Mg	2.17
Al	17.33	Al	14.75
Si	1.85	Si	0.54
Ca	22.75	Ca	45.9
S	0.78	Fe	1.23

所占比例较大,说明它易于磨碎,因此推断含钙较高的矿物结构硬度较小。综合分析得出:不同组分的耐磨性的差异,导致了炉渣样品的均匀性受到粒度的影响,随着粒度的减小,样品不均匀性逐渐减小;表 1 数据说明:样品研磨至 0.16 ~ 0.088 mm 粒度范围

内,各组分含量波动不大,粒度的影响可以忽略。

2.2 不同样品制备方法对检测结果的影响

将 1.3.2(1)中第 1 份(手工制样)和第 2 份(全自动制样)样品分别以熔片制样和压片制样后测定,结果见表 3。

表 3 不同制备方法的样品测试结果 w/%

制样方式	样品类型	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TFe	Cr ₂ O ₃	MnO
手工制样(0.125 mm)	压片	17.51	4.78	59.03	8.25	0.58	0.91	0.16
全自动制样	压片	17.42	4.85	59.33	7.85	0.57	0.95	0.16
手工制样(0.125 mm)	熔片	18.68	5.05	59.22	8.60	0.58	1.04	0.17
全自动制样	熔片	17.78	5.56	57.19	8.11	0.46	1.06	0.17

由表 3 可以看出:压片结果差异不显著,而熔片结果中高含量组分略有差异。结合 2.1 的结论,经分析认为,全自动设备制得的样品由于未通过一定孔径的筛子,只是通过控制研磨时间控制样品粒度,所以,样品颗粒的粒径范围不会有效控制在 0.125 mm 以下,经测试,其中粒度大于 0.16 mm 的占 5.9%;压片制样时样品用量较大(6 g),掩盖了不同组分在不同粒度范围内的不均匀性,但熔片制样时称样量较小(0.6 g),样品的不均匀性影响了所称样品的代表性,熔融样片

的测定结果中高含量组分的结果偏差较大。因此,两种途径制备的样品,其结果的差异仍然是来自于样品的粒度范围的差异引起的样品代表性的差异,而非完全由于粒度效应致使不同含量的两个样品得出相同的结果(见压片法)。可以推论:无论采用何种方式制备粉末样品,通过合理调整制样设备参数,使得样品粒度小于 0.16 mm,且称样前充分混匀样品,可以将这种测定值差异降低至可忽略的程度。

2.3 样品粒度对压片法测定结果的影响

选取不锈钢精炼渣、不锈钢电炉渣、碳钢精炼渣和碳钢电炉渣 4 类炼钢渣样各一个, 研磨至 0.16 mm, 分别混匀后均分为 4 份, 将其中 3 份分别用玛瑙研钵研磨至 0.125、0.105 和 0.088 mm, 得到 4 × 4=16 份

不同类型、不同粒度的粉末样品, 每份样品按照 1.3.1(1)条件制备 6 个样片, 以 X 射线荧光光谱仪测定。为便于观察粒度对各组分含量的影响, 对于各个组分, 列出 4 类炉渣中含量最高的品种进行考察, 结果见表 4。

表 4 不同粒度样品的各组分含量(n=6)

项目	不锈钢电炉渣		不锈钢精炼渣		碳钢电炉渣		碳钢精炼渣	
	w(SiO ₂)/%	w(Cr ₂ O ₃)/%	w(CaO)/%	w(MgO)/%	w(TFe)/%	w(MnO)/%	w(Al ₂ O ₃)/%	
测定值	0.16 mm	33.46	8.94	58.79	7.58	37.47	2.89	31.42
	0.125 mm	33.66	8.96	58.85	7.59	37.52	2.90	31.52
	0.105 mm	33.77	8.87	58.99	7.63	37.46	2.90	31.55
	0.088 mm	33.83	8.82	59.05	7.67	37.47	2.90	31.65
极差	0.37	0.12	0.26	0.10	0.06	0.01	0.23	
允许差 ^①	0.60	0.10	0.80	0.50	0.40	0.40	0.50	

表 4 结果表明: 在 0.16 ~ 0.088 mm 之间随粒度的减小, SiO₂、Al₂O₃、CaO、MgO 的含量测定结果略有增大的趋势, Cr₂O₃ 测定结果随粒度的减小略有减小, TFe 和 MnO 随粒度的减小含量变化不显著, 因此, 受粒度效应影响不大。

采用 ANOVA 一元方差分析法, 对 0.16 ~ 0.088 mm 范围内各主要组分的 24 个检测结果进行了统计分析, 考察此粒度范围内压片法粒度与测量结果的相关性, 见表 5。

表 5 中各组分统计量 P(压片法测定不

表 5 ANOVA 一元方差分析统计量(95%置信度)

组分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TFe	Cr ₂ O ₃	MnO
P 值	0.084	0.104	0.164	0.122	0.835	0.283	0.582

同粒度间各组分含量无显著差异的概率)值均大于 0.05, 表明各组分压片法检测含量在此 4 个粒度等级间均无显著差异。说明粒度不大于 0.16 mm 时, 采用压片 -X 射线荧光光谱法测定各类炉渣, 粒度对各组分测定的准确度影响很小, 可不予考虑。表 4 中粒度在 0.16 ~ 0.088 mm 之间含量的极差小于允许差(除 Cr₂O₃ 略超外), 说明样品制备粒度达 0.16 mm 时, 压片法制样 X 射线荧光光谱

法测定结果可满足生产检验要求。

3 结语

(1)精炼炉渣样品中钙氧化物相对易于破碎, 在细小颗粒样品中含量明显高于较大颗粒样品中的含量; 硅、铝、镁、铁、铬的氧化物, 较钙氧化物难于破碎, 易留存于较大颗粒的样品中, 从而导致粒度影响炉渣样品的均匀性。

(2)对于同一试样,手工方法所制备样品和全自动设备所制备样品,其测定结果存在的差异,主要来自于样品的粒度或粒度范围的不同而造成的样品的不均匀性,通过合理调整全自动制样设备参数,可减少或消除这一差异。

(3)样品粒度介于 0.16 ~ 0.088 mm 之间,当置信度为 95 %时,采用 X 射线荧光光谱压片法测定各类炉渣,测定结果之间无显著差异,即此粒度范围内粒度对各组分测定的准确度的影响很小,测定结果可满足生产检验要求。

参考文献

[1]徐建平,程德翔.包覆效应与压片法 X 射线荧光光谱分析[J].理化检验 - 化学分册,2015,51(2): 219-223.

XU Jian-ping,CHENG De-xiang.Coating effect in XRF analysis with pressing discs [J].Physical Testing and Chemical Analysis Part B:Chemical Analysis, 2015,51(2):219-223.

[2]段家华,马林泽,张李斌.压片制样 - X 射线荧光光谱法测定高磷钢渣组分 [J].冶金分析,2013,33(5):36-40.

DUAN Jia-hua,MA Lin-ze,ZHANG Lin-bin. Determination of components in high-phosphorus steel slag by X-ray fluorescence spectrometry with tableting sample preparation [J].Metallurgical Analysis,2013,33(5):36-40.

[3]李新家.粒度效应对 X 射线荧光光谱分析烧结矿的影响 [J].冶金分析 (Metallurgical Analysis), 2006,26(3):92-93.

[4]单华珍,卓尚军,盛成,等.粉末压片法波长色散 X 射线荧光光谱分析铁矿石样品的矿物效应校正初探 [J].光谱学与光谱分析,2008,28(7): 1661-1664.

SHAN Hua-zhen,ZHUO Shang-jun,SHENG Cheng,et al.Mineralogical effect correction for pressed iron ore samples in wavelength dispersive X-ray fluorescence analysis [J].Spectroscopy and Spectral Analysis,2008,28(7):1661-1664.

[5]王亚,詹秀春,樊兴涛,等.粉末压片 - X 射线荧光光谱法测定地质样品中痕量硫的矿物效应佐证实验及其应用[J].冶金分析,2010,30(1):7-11.

WANG Yi-ya,ZHAN Xiu-chun,FAN Xing-tao,et al.Experimental evidence of mineralogical effects on the determination of trace sulfur in geological samples by X-ray fluorescence spectrometry with pressed powder pellet sample preparation and its application [J].Metallurgical Analysis,2010,30(1):7-11.

[6]赵雅卿,曹云霞.粉末压片 - X 射线荧光光谱法测定铜冶炼炉前各种炉渣、冰铜中 5 种组分 [J].中国无机分析化学,2015,5(1):56-58.

ZHAO Ya-qin,CAO Yun-xia.Determination of 5 components in slag and matte by X-ray fluorescence spectrophotometer [J].Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry,2015,5(1):56-58.

[7]芦飞,王瑛.压片制样 - X 射线荧光光谱法测定不锈钢渣中 10 种组分 [J].冶金分析,2015,35(7):67-72.

LU Fei,WANG Ying.Determination of ten components in stainless steel slag by X-ray fluorescence spectrometry with pressed powder pellet[J].Metallurgical Analysis,2015,35(7): 67 -72.

[8]鞍钢钢铁研究所,沈阳钢铁研究所.实用冶金分析——方法与基础[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1990:1527-1528.

方坯修磨机主轴研伤控制与修复分析

型材厂 赵息平

摘要 方坯修磨机主轴转速高、承受载荷和冲击大、工况恶劣,工作中轴承频繁损坏导致主轴出现研伤。分析此故障产生机理,提出了增加主轴轴承紧定衬套和焊补修复两种主轴研伤控制和修复方案。经过实践证明,修复和控制方案切实可行,能够延长主轴使用寿命和降低备件消耗。研究结果对类似结构的设计和制作具有重要参考价值。

关键词 修磨机 主轴 研伤 修复

1 前言

型材厂轧材生产线后工序配备了3台方坯修磨机,主要用于修磨方坯和小扁坯的表面,磨除钢坯的个别缺陷和修磨钢坯棱角,修磨机外形结构如图1所示。该磨床砂



图1 方坯修磨机外貌

轮机架主轴采用滚动轴承结构,DTE25 润滑油从进油管流经油腔,通过轴承隔套为主轴两端滚动轴承进行润滑,最后经回油腔流回油箱。润滑油的循环不仅能为高速旋转的主轴和轴承提供润滑作用,而且能够带走热量,防止主轴轴承过热抱死主轴。实际生产

过程中,随着磨削时间加长和磨削量加大,主轴轴承持续发热,一旦 DTE25 润滑油循环不畅,主轴轴承可在瞬间过热,保持架变形,滚珠散落,主轴径向摆动导致出现研伤。经过统计,3台方坯修磨机每年可损坏主轴约15根,频繁加工新主轴造成了备件的极大浪费。

2 故障分析

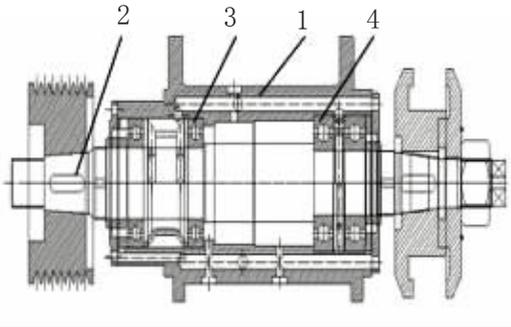
轧材生产线方坯修磨机使用频率高,24h不停机运转,磨削方坯规格尺寸变化较大,缺陷种类多样。一般情况下,方坯规格:180mm×180mm~550mm×550mm,大部分缺陷需要大压下量(吃刀量)修磨,较大的交变冲击载荷作用于主轴上,给高速旋转的主轴轴承造成了致命的损伤。方坯修磨机主要技术性能参数如表1所示,磨头结构形式如图2所示。

下面列举导致轴承损坏造成主轴研磨损伤的几种原因:

(1)操作不当,磨削过程中,操作工人未能严格执行标准化操作规程,没有根据缺陷类型及时调整吃刀量,吃刀量过大导致主轴

表1 方坯修磨机技术参数

砂轮规格/mm	砂轮线速度/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	砂轮压力/MPa	磨头横向行程/mm	磨头电机/kW
$\phi 610 \times \phi 305 \times 76$	60 ~ 80	9.8 ~ 15	700	160



1- 磨头外壳 2- 主轴 3- 轴承 6220 4- 轴承 6318

图2 修磨机磨头结构

轴承承受较大径向载荷。

(2)工作过程中,砂轮进给缸压力调整偏大,造成主轴承受的径向压力成倍增长,超过了主轴轴承所能承受的极限。

(3)维护不到位,砂轮架磨头装配中存在精度不高和装配缺陷,装配过程中未能保证轴承内圈与主轴轴承位的过盈配合,或者过盈量偏小,磨削时,主轴与轴承内圈发生相对位移,研磨主轴。

(4)磨削过程中,主轴轴承润滑不良,轴承旋转产生的热量不能及时散发和被带走。轴承过热,操持架损坏,内外圈变形,导致轴承失效。

(5)主轴轴承装配损伤,轴承热装过程中一般应采取油浴加热方式。但是,部分维修人员为了节省时间,采取氧炔焰烘烤的方式加热轴承,导致轴承加热不均匀,内外圈退火提前失效。另外,轴承安装过程中,需要在轴向均匀施加外力,如果使用大锤局部敲击会导致轴承提前失效。一旦轴承失效,就会造成磨头主轴出现研伤。

3 控制措施

基于上述分析,导致磨床主轴出现研伤的主要原因在于磨头轴承提前失效。具体原因分为操作和维护两个方面。下面分别从操作与维护提出几点控制措施。

(1)严格按照操作规程操作修磨机,严禁私自调整工作压力,吃刀量要与修磨的钢坯缺陷类型、钢种相匹配。钢坯摆放平整并固定好后,方可开机修磨,防止磨削过程中钢坯跳动损伤主轴。

(2)磨头进给液压缸工作压力调整不能超出主轴所能承受压力极限,否则会造成磨头主轴径向压力过大,导致主轴和轴承出现不可逆的损伤。

(3)按标准对磨头主轴进行维护与装配,装配过程中确保轴承与主轴的配合关系,必须保证所要求的过盈量;如果过盈量偏小,装配过松,磨削过程中主轴与轴承内圈发生相对位移就会研伤主轴。

(4)每次对磨头进行维护,必须对磨头外壳内油路进行一次彻底清洗(可使用煤油清洗),检查磨头外壳轴承位磨损情况。油路堵塞会造成主轴润滑不畅,外壳轴承位磨损会造成磨削过程中主轴和轴承发生径向跳动,这两个因素均会引起主轴损伤。

(5)定期检查磨头润滑回路工作情况,防止因油路故障导致磨头主轴润滑不良。进油泵、回油泵、油路泄露等故障均可引起主轴润滑量偏低,此时主轴轴承旋转摩擦产生的热量无法及时散失,引起轴承温度急剧升高,致使保持架和内外圈退火失效,相继导

致主轴研伤。

(6)严格控制磨头装配质量,主轴轴承热装过程中一律采取油浴方式加热,严禁使用氧炔焰烧烤;轴向施加载荷时,严禁使用大锤敲击,必须在内圈上均匀施加外力,敲击中可使用铜棒,并在内圈上增加具有缓冲作用的衬垫,严禁直接敲击内圈。使用大锤敲击轴承外圈,会造成轴承保持架受力变形,导致轴承寿命缩短,提前失效。

(7)磨头主轴轴承安装到位后,轴向必须使用丝圈锁紧或压盖顶紧,严禁使用焊接挡圈方式对轴承进行轴向定位。

4 修复与改进

4.1 修复方案

针对方坯修磨机磨头主轴轴承位研伤故障,综合考虑工况等因素后提出了一种修复方案,磨头主轴如图3所示。

针对图3中主轴研伤故障,可对修磨机主轴进行修旧重复利用。

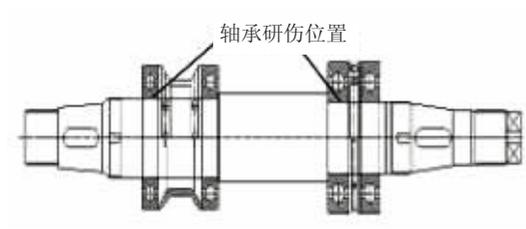


图3 方坯修磨机主轴

经过对报废磨头轴检查发现,故障形式集中表现为主轴轴承位研伤,其它几何尺寸和表面均未损伤。对于此类故障,可以通过对轴承位进行焊补和喷镀修复^[1-4]。拆卸修磨机主轴,堆焊主轴研伤部位深沟,堆焊后车削和磨削,或者拆卸后喷镀。修复过程中可选择喷镀后二次加工,也可选择堆焊后二次加工。车削和磨削过程中严格控制主轴精度和同轴度公差,主轴修复完毕并检测合格后,即可安装使用。图4为修复后的磨头主



图4 修复后的磨头主轴

轴。

4.2 改进方案

4.2.1 改进方法

为了延长磨头主轴使用寿命,解决主轴轴承位研伤故障,需要对主轴轴承装配结构进行改进。

在主轴两端轴承位安装带紧定衬套调心滚子轴承 1220K、1221K,当主轴承受冲击载荷,轴承出现故障后,只对紧定套造成影响,出现研伤。图5为改进后主轴安装形式。

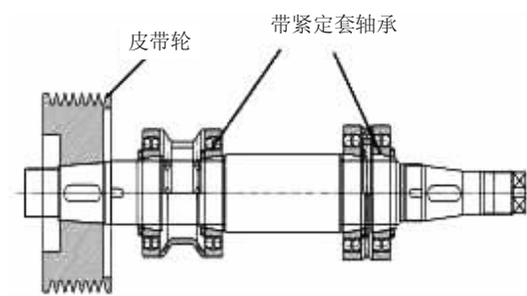


图5 改进后主轴安装形式

根据选定调心轴承,设计制作非标紧定衬套,紧定衬套具有安装、拆卸方便和保护主轴的作用。轴承安装于紧定套上,轴承内孔与紧定衬套接触面为1:12锥面。在紧定衬套端部锁紧螺母的轴向作用下,紧定套抱死于磨床主轴上,靠摩擦力抵消轴向载荷,安装形式如图6所示。

当紧定衬套出现研伤无法保证轴承内圈与紧定衬套的配合精度以及轴向、径向出现窜动时,只需要在检修过程中拆卸并更换紧定套,不需要修复主轴,有效的保护了修磨机主轴。磨头主轴可以重复多次利用,节省了采购备件的成本。

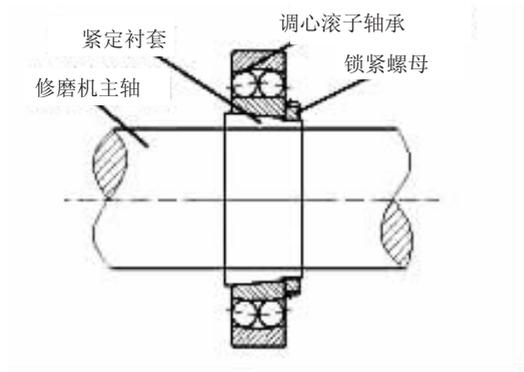


图6 带紧定套轴承安装示意

4.2.2 可行性分析

对原磨头主轴轴承装配结构改进以后,为了安装紧定衬套,需要减小皮带轮侧主轴轴承位直径,具体尺寸如表2所示。

表2 主轴结构改进前后参数

位置	改进前		改进后	
	轴承	轴径/mm	轴承	轴径/mm
皮带轮侧	6220	φ100	1220K	φ90
砂轮侧	6318	φ90	1221K	φ90

从表2中可以看出,砂轮侧轴径没有发生变化,不需要对其进行校核,而皮带轮侧轴径变小,需要进行强度校核。修磨机主轴工作过程中,电机输出动力经过主轴传递至砂轮,主轴皮带轮侧主要承受扭矩,砂轮侧承受扭矩和弯矩组合。修磨机主轴承承受扭矩为 $T = \frac{9550P}{in}$ 。

式中, P—磨头电机额定功率 160kW;
n—磨头电机额定转速 1500rpm;
i—皮带轮速比 1.34。

由此,可以计算出皮带轮侧轴承位所受扭转切应力 $\tau = \frac{T}{W} = \frac{T}{0.2d^3}$ 。

式中, W—抗扭截面系数;

d—改进后皮带轮侧轴承位直径 90mm。经计算 $\tau = 41.6\text{MPa} < 0.6\sigma_s = 588\text{MPa}$ 。由此可知,改进后轴径强度满足使用要求。

磨头主轴结构改进中,对轴承进行了相应更换,采用带紧定套的调心球轴承替换原深沟球轴承,如表3所示。

表3 主轴结构改进后轴承参数

型号	内径/mm	外径/mm	宽度/mm	Cr/kN	油润滑转速/rpm
改进后					
1220K	100	180	34	69	3800
1221K	105	190	36	74	3600
改进前					
6220	100	180	34	122	4300
6318	90	190	43	145	4000

修磨机磨头压下载荷由压下液压缸提供,型号 HSG101-80/45*200-1101,正常工作压力约 10MPa。系统压力高于此工作压力后,液压缸自动提升,防止砂轮堵转及爆片。安装于主轴的 4 盘调心轴承共同承担磨头压下载荷,单盘轴承承受静载为 $F = PA_0/4$ 。

式中, P—液压缸工作压力;

A_0 —液压缸活塞杆截面积。经计算 $F = 4\text{kN}$ 。更换后的调心轴承承载能力最小为 $69\text{kN} > F$,能够满足使用要求。

5 实施效果

通过对修磨机主轴实施修复和重复利用, 主轴修复后精度能够满足磨头装配要求,运行平稳。经过近一年的生产使用证明,对磨头主轴研伤部位堆焊和喷镀的修复方案不仅效果好,而且维修方便、简单,但也存

在一定的局限性,属于事后维修,要想从根本上解决问题,还需要对主轴进行相应改进。

通过增加轴承紧定衬套的改进方案,有效避免了轴承与主轴的直接接触,能够保护主轴,防止轴承窜动和损坏后对主轴研伤,导致主轴失效报废。该方案从根本上解决了主轴研伤的设计缺陷,通过实践证明,此改进方法极大降低了修磨机故障率,保证了设备的正常运行。

参考文献

- [1] 王树斌,夏成泉. GE776 电动轮转轴轴颈磨损的分析与修复[J]. 矿山机械,2005(03).
- [2] 赵韦,陈威. 提升机主轴轴颈磨损修复方案的选择[J]. 煤矿机电,2015(06).
- [3] 罗祯. 外圆磨床主轴研伤修复探究[J]. 金属加工(冷加工),2015(14).
- [4] 鲁向钧. 铜液泵主轴修复小结[J]. 化肥工业,2008(02).

太钢超额完成节能任务

日前,山西省经信委发布“山西省千家企业 2015 年度节能目标责任评价考核结果通告”。通告显示,山西省节能工作领导小组对我省 1147 家重点用能企业 2015 年及“十二五”期间节能情况进行了考核。这千家企业分别来自工业、建筑、交通以及公共机构,在实际考核的 750 家工业企业中,太钢等 40 家企业超额完成任务。

“十二五”期间,太钢以“建成集钢铁产品制造、生产过程能源转换及回收利用、社会废弃物消纳处理功能于一体的新型绿色钢厂,实现与城市的和谐共生,成为冶金行业绿色发展的典范”为目标,以能源管理体系为突破口,以能源中心为手段,通过技术创新和推广应用节能环保、综合利用方面的先进成熟技术,推进了节能工作向纵深发展。先后成功实施烧结主抽风机变频改造、高炉冲渣水余热回收、高炉热风炉富氧燃烧、高炉双预热、转炉煤气供发电锅炉、电炉余热回收、不锈钢热轧焦炉煤气置换天然气改造等一批节能环保项目,建立起全流程

节能减排模式,不断完善气态、液态、固态废弃物循环经济产业链,全面治理废气、废水、废渣污染;通过处理城市污水、供给城市热力等,进一步完善社会大循环体系,与城市共融共生,成为城市功能不可或缺的部分。“十二五”期间,太钢累计完成节能量 15.09 万 t 标煤,超额完成了省市下达的节能目标。

2016 年是“十三五”的开局之年。太钢按照“最大程度利用自产煤气,做到煤气全部回收、不放散,减少峰谷波动,减少城市煤气和天然气的引进”的原则,重点开展了燃气系统优化配置工作。先后组织实施不锈钢冷线焦炉煤气置换天然气项目、冷轧酸再生焦炉煤气置换天然气项目。此外,随着型材厂精整、快锻退火炉改造,不锈钢线材厂和不锈钢热轧厂加热炉改造、能源动力总厂 2 × 300MW 发电机组烟气余热回收改造等节能项目的相继投用,能源成本将进一步降低,经济效益和社会效益显著。

(摘自相关报道)

《太钢科技》投稿指南

《太钢科技》是太原钢铁(集团)有限公司根据党和国家的政策、法令创办的,经山西省新闻出版局批准备案的科学技术刊物。主要刊登太钢矿山、耐火、焦化、炼铁、炼钢、连铸、轧钢、锻造、理化检验、能源、机械、土建、计控、自动化、环保、安全等专业以及科研、工艺质量攻关、产品开发、技术开发和技术管理等方面的试验研究、科技成果、技术总结、综合评述和经验介绍等。

《太钢科技》由太钢技术中心主办,太钢技术中心科技管理科编辑出版,发往全国冶金企事业单位、冶金科研院所、大专院校和太钢各单位、部门,是太钢广大科技工作者交流经验的园地和展示成果的窗口。为加强对刊物的科学管理,适应太钢发展的新形势,使本刊编排格式标准化和科学化,现介绍本刊投稿方面的一些事项。

1 稿件要求

(1)来稿要求观点明确,论据充足,论述简练,语句通顺,图形文字要妥善加工,资料数据务求核实准确。稿件内容涉及保密诸事项,请作者严格把握,投稿前须经作者单位保密审核。

(2)正文(含图表)以3000~6000字为宜。

(3)来稿的文字、数字、计量单位和符号务必按照有关国家标准和法规书写清楚,计量单位和外文大小写区分清楚。

(4)稿件要求提供电子版,通过太钢科技创新与科研管理系统(<http://tims.tisco.com.cn>)在线投稿,每个单位技术部门设有端口,或通过邮箱投稿(tgjkw@tisco.com.cn)。

2 稿面要求

稿件题名为小二号宋体,一级标题为四号黑体,正文为四号宋体,图表及参考文献中文字为小四号宋体。

2.1 题名(标题)

文章的题名要求简明扼要,概述全篇。

(1)题名的字数一般控制在20个汉字以内。

(2)一般不设副题名。如必须设副题名,可用破折号与主题名分开,或用较小字号另行起排。

(3)题名中应尽量避免使用非公知通用的缩略词、字符、代号和公式等。

2.2 作者

(1)文章署名是作者文责自负和拥有版权的标志。

(2)文章的作者应署个人真实姓名,并附所在单位全称。作者就是文章的起草、修改和定稿者,一般1~3人,多于3人时只列前3名,后加“等”字。作者认为有必要,可在文章结尾处向有关同志表示致谢。

(3)文章的最后一页附第一作者简介,包括姓名、性别、出生年月、何时毕业于何校、何专业、现职称及从事工作、联系电话等内容。

2.3 摘要

国家标准规定,摘要是报告和论文的内容不加注释和评论的简短陈述。

(1)摘要一般应说明研究工作的目的、方法、结果和最终结论。以不超过200个汉字为宜。

(2)摘要应采用第三人称,具有独立性,一般不用图表和非公用符号或缩写略词。

2.4 关键词

(1)关键词是将文章中起关键作用,最能说明问题的、代表文章内容特征的或最有意义的词选出来,以供微机检索。

(2)一般标引 3~8 个关键词。

(3)每两个关键词之间空一字距,不用标点符号,最后也不用任何标点符号。

2.5 前言(引言)

文章的前言是简要说明研究工作的目的、范围、相关领域的前人工作及知识空白、理论基础及分析、研究设想、研究方法、实验设计、预期结果和意义等。

字数控制在 400 个汉字以内为宜。

2.6 正文

正文写作应做到实事求是、客观真切、准确完备、合乎逻辑、层次分明和简练可读。

2.6.1 文内标题层次

(1)正文层次标题力求简短,一般不宜超过 15 个汉字。

(2)各层次一律用阿拉伯数字连续编号,不同层次之间用圆点“·”相隔,最末数字后不加标点符号,一律左满格。

(3)在一个自然段内分项叙述,一律用(1)…、(2)…、(3)…。

(4)文内层次不宜过多,一般 3~4 级。

(5)正文标题编写规则:

一级标题:1、2、3……左满格。

二级标题:1.1、2.2、3.1……左满格。

三级标题:1.1.1、2.1.1、3.1.2……左满格。

2.6.2 表格

(1)表格应有表序和表题。一篇文章中只有一个表者可不用序号,于表题前加“表”字。

(2)表题要确切,不宜超过 15 个汉字,末尾不加句号。

(3)表序与表题之间空一字距,居中排在表格上方。

(4)表格设计应简洁,具有自明性,符合统计学制表原则,采用三线表形式。

(5)表内各栏参数应标明单位,若所有栏或多数栏内单位相同,可将相同单位标注在表的右上角,个别不同者注在有关栏内。

(6)表内数字一律用阿拉伯数字,上下对齐,同一栏内有效位数应一致。相邻栏内数字或内容相同,不能用“同上”、“同左”和“//”等。

(7)表内不设“备注”项,如需注释,可列在表下方,表内用“*”注明。

2.6.3 插图

(1)插图包括线条图与照片,一定要精选,避免与文字和表的内容重复。

(2)插图应有图序和图题,一篇文章中只有一个图者可不用序号,于图题前加“图”字。

(3)图题应简短准确,一般不宜超过 15 个汉字,末尾不加标点,图序与图题间空一字距,居中排在图的下方。

(4)线条图应比例适当,粗细均匀,线条清晰。

(5)图形要求清晰、美观且大小适中。

2.6.4 方程式和反应式

(1)文章中重要的或后文中需要重新提及的方程式和反应式等用阿拉伯数字连续编排序号,序号加圆括号,顶格排在该行右方。

(2)长式换行时,首先在“=”、“≈”、“<”和“>”等之后,其次在“+”、“-”、“×”和“÷”等之后。反应式在反应方向符号“←”和“→”之后换行。式中反应条件用小一号字体标注在反应方向符号的上方或下方。

(3)分式应尽量写成横式(1/A)或负数幂(A⁻²),少用叠式。

(4)化学元素在构成复合词时要写成中文形式,如含氧量不要写成“含 O₂ 量”。

2.6.5 计量单位

文稿计量单位和书写符号一律采用国家法定计量单位。单位名称和符号书写方式一律采用国际通用符号(参照《中华人民共和国法定计量单位使用方法》)。

2.6.6 数字用法

(1)凡是可以使用阿拉伯数字而且又很得体的地方,均应使用阿拉伯数字,如 2800t 不能写成二千八百吨。

(2)多位的阿拉伯数字不能换行。小数点前或后若超过 4 位数(含 4 位数)应从小数点起向左或向右每三位数之间空 1/4 字距,废止使用千分撇“,”。尾数零多于 5 位以上数字或小数点后零多的纯小数,可采用 $\times 10^n$ (n 为正整数或负整数)的写法。

(3)年份使用公元纪年,不能简写,如 1998 年不能写成 98 年。

2.6.7 汉字与标点

(1)文中汉字的使用应严格执行国家语言文字工作委员会汉字处公布的《现代汉语通用字表》和国家语言文字工作委员会 1986 年 10 月 10 日重新发表的《简化字总表》。

(2)标点符号的用法以国家语言文字工作委员会等部门 1990 年 3 月修订发布的《标点符号使用法》为准。

2.6.8 外文字母书写规则

应特别注意外文字母的正斜体、大小写、黑白体、上下角标(高低位置明显)以及单词的换行。易混淆的希腊字母和罗马字母,如 α 与 a, ρ 与 P, β 与 B, μ 与 u, 必须分清。

2.6.9 名词术语及缩略词

(1)专业名词术语以各专业公知公用或权威出版社的专业词汇和词典为准。新兴科学的名词术语尚无通用译名的,在文中第一次出现时,应附原词或注释。

(2)地名应以《世界地名词典》为准。外国人名应用习惯译名,无习惯译名者译名后加注原文。

(3)凡已被公认的缩略词可不加说明直接引用。不常用的和新科学的缩略词,文内第一次出现时,在该词后加注全称。

2.7 结论

报告和论文最终的结论,不是正文中各小段小结的简单重复。结论是根据试验结果

分析、判断和推理而形成的总的观点和看法。要求结论应该准确、完整、明确和精炼,避免以试验结果代替结论。

如果不可能导出应有的结论,也可没有结论而进行必要的讨论。

结论的字数一般在 300 个汉字以内。

2.8 参考文献

参考文献应附于文本末,只列主要者及作者亲自查阅过的文献或公开出版物,不宜过多。其书写格式如下:

(1)书:作者、书名、版次(初版不写)、出版地、出版单位、年份和起止页。

(2)期刊:作者、题名、刊名(按各刊规定缩写)、年份、卷、期和起止页。

(3)中译本书:原作者、中译本书名、译者、出版单位、年份和起止页。

(4)文献:作者、文献名、编号、年份和起止页。

参考文献在正文中被引用,可采用顺序编码制。文献序号按文中出现的先后顺序,用阿拉伯数字加方括号以右上角标的形式标注于正文涉及的地方或所指引部分。

3 其他

(1)来稿必须执行太钢有关的保密制度。

(2)编辑过程对来稿有删改权,如不愿意者请声明。

(3)稿件刊用与否均不退回。

(4)来稿一经刊登,将按《太钢科技刊物稿酬规定》酌付稿酬,并赠送当期杂志一份。

(5)来稿请写明作者真实姓名、详细工作地址和联系电话。

(6)太钢技术中心科技管理科联系方式: 0351-2132206。

《太钢科技》热忱欢迎太钢广大科技工作者踊跃投稿,所发表的文章均可作为工程师等职称评定的依据之一。

(太钢技术中心科技管理科)