

综合利用

含钛尾矿制备高硅贝利特硫铝酸盐水泥的研究

张巨松^{1,2}, 隋智通¹, 申延明¹, 回志峰², 安会勇², 高 飞²

(1. 东北大学, 辽宁 沈阳 110004; 2. 沈阳建筑大学, 辽宁 沈阳 110168)

摘 要:分析了含钛尾矿的矿物组成,结合高硅贝利特硫铝酸盐水泥的特点,提出了应用提取氧化钛后的尾矿、低品位铝矾土、含钛石膏制备高硅贝利特硫铝酸盐水泥的全新观点,并对该种水泥的烧结温度、冷却制度、强度及凝结时间等进行了系统的分析和讨论,结果表明它的烧结温度低,凝结时间及强度介于硅酸盐水泥和快硬硫铝酸盐水泥之间,含氧化钛较高的原料对高硅贝利特硫铝酸盐水泥性能没有明显负面影响。

关键词:氧化钛;高硅贝利特硫铝酸盐水泥;冷却制度;凝结时间

中图分类号: TQ172.72⁺7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004 - 7638 (2004) 03 - 0041 - 07

RESEARCH OF PRODUCING HIGH SILICON B - LITE SULFUR ALUMINATE CEMENT BY TITANIUM TAILINGS

ZHANG Ju - song^{1,2}, SUI Zhi - tong¹, SHEN Yan - ming¹, HUI Zhi - feng², AN Hui - yong², GAO Fei²

(1. Northeastern University, Shenyang 110004, Liaoning, China; 2. Shenyang Architectural University, Shenyang 110168, Liaoning, China)

Abstract: The authors analyzed the mineralogical composition of titanium tailings, and proposed a new view that applies titanium tailings, low - grade alumina and titanium - containing plaster to produce high silicon B - lite sulfur aluminate cement according to the feature of the cement. Moreover, they investigated systematically agglomeration temperature, cooling conditions, strength and setting time of the cement. The results show that the agglomeration temperature is low but the strength and setting time are situated in between silicate cement and rapid - hardening sulphoaluminate cement. It is to say that the high - titanium materials have no harm to high silicon B - lite sulfur aluminate cement.

Key Words: titanium oxidant; high silicon B - lite sulfur aluminate cement; cooling condition; setting time

0 引言

众所周知,我国攀枝花钢铁公司的矿渣中含有较多的氧化钛,几十年来国内许多研究者针对含钛矿渣的利用作了大量的工作^[1~4],但到目前为止该种矿渣的利用仍没有很好解决。

本课题组针对攀钢渣研究了一套选择性分离技术^[5],可以提取原矿渣中的大量氧化钛,一方面提取后的尾矿仍然是大量的,并且仍然含有一部分钛,如何利用这部分尾矿仍然还是很大的问题;另一方面,提取的钛是以钙钛矿形式存在的,用硫酸法生产钛白粉的过程中又产生大量的新的副产品—石膏,如

收稿日期:2004 - 04 - 04

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(NO50234040)。

作者简介:张巨松(1962—),男,辽宁沈阳人,沈阳建筑大学材料学院副教授,东北大学在职博士研究生,主要研究方向为新型胶凝材料和工业灰渣资源化。

果这部分石膏不能够很好地利用势必又造成新的污染。根据国内外的大量研究^[6~11],含钛的硅酸盐水泥,早期强度低,后期(90 d)强度增长率较高,能否利用含钛的尾矿生产快硬硫铝酸盐水泥,利用无水硫铝酸钙的快硬特性,来弥补钛所带来的早期强度低的缺点,但快硬硫铝酸盐水泥需要较高的铝含量,而尾矿中含铝量不是很高,因此,此技术路线很难实现。

高硅贝利特硫铝酸盐水泥是硫铝酸盐水泥中尚需要开发的一个品种^[12],其主要矿物成分是贝利特,对原料的铝含量要求较低,仍然含有早强矿物无水硫铝酸钙,是一种低钙节能型水泥,是水泥行业的一个新的发展趋势。在用化学试剂研究的基础上^[13~16],笔者进行了含钛尾矿、铝钒土以及副产石膏为原料制备高硅贝利特硫铝酸盐水泥条件与性能的研究,为其实际应用提供科学依据。

1 用提钛后尾矿制备高硅贝利特硫铝酸盐水泥

1.1 实验原料及条件

实验原料为提钛后尾矿,其组成如表 1 所示。

XRD 分析确定尾矿的主要矿物组成为 攀钛透辉石、富钛透辉石、钙钛矿以及少量的镁铝尖晶石以及 TiC,见图 1。

表 1 提钛后尾矿的化学组成
Table 1 Chemical composition of tailings after extracted titanium %

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃
28.72	25.40	10.53	15.94	7.22	12.94

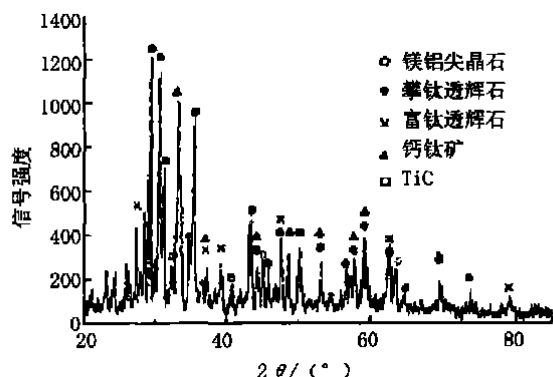


图 1 尾矿的 XRD 图谱

Fig. 1 XRD patterns of tailings

在化学试剂研究的基础上,参照其最佳配方,用含钛尾矿取代其中的组分,考察制得水泥的性能。熟料的矿物组成与率值的理论计算结果见表 2。

试样 A1 ~ A5 的实际配方见表 3,加水制备生料球,烘干后备烧。

表 2 熟料的矿物组成及率值

Table 2 Ratio and composition of clinker mineral

试样	矿物组成 / %					率值		
	C ₂ S	C ₄ A ₃ S̄	C ₄ AF	CT	总计	C	P	N
A1	62.57	19.89	9.82	6.77	99.05	0.983	3.77	0.458
A2	52.52	29.86	9.82	6.77	98.97	0.983	3.77	0.820
A3	42.45	39.85	9.82	6.77	98.89	0.983	3.77	1.354
A4	32.45	49.74	9.82	6.77	98.82	0.983	3.77	2.208
A5	22.50	59.65	9.82	6.77	98.74	0.983	3.77	3.823

注:碱度系数 $C = \frac{\text{CaO} - 0.70 \text{ TiO}_2}{0.73 (\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.64 \text{ Fe}_2\text{O}_3) + 1.40 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 1.87 \text{ SiO}_2}$

硫铝比 $P = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.64 \text{ Fe}_2\text{O}_3}{\text{SO}_3}$

铝硅比 $N = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.64 \text{ Fe}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$

表 3 原料配比

Table 3 Mix proportion of raw material %

试样	尾矿	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaCO ₃	二水石膏
A1	17.85	6.74	11.05	60.29	4.07
A2	17.94	10.37	8.59	56.95	6.15
A3	18.03	14.05	6.10	53.58	8.24
A4	18.12	17.72	3.61	50.20	10.35
A5	18.21	21.45	1.09	46.79	12.46

1.2 实验结果及分析

1.2.1 烧结温度

以试样 A2 为例,分别在 1 200、1 250、1 300、1 350 下煅烧 40 min 后于 1 200 出炉空冷,制得熟料。各试样的颜色依次由深灰色变为黑灰色,硬度逐渐增加,表明随着煅烧温度的提高,熟料烧成越好。

1.2.1.1 f - CaO 与煅烧温度的关系

采用甘油 - 乙醇法分析试样中 f - CaO 含量,结果见图 2。

从图 2 可见,提高煅烧温度, f - CaO 含量明显减小。按 f - CaO 含量低于 0.4 % 确定的烧成温度为 1 300,与用纯化学试剂烧制的水泥^[13~16]对比,烧成温度要低,其原因是:除氧化钛外,尾矿还含有其他杂质成分,使体系低温时出现液相,有利于熟料烧成,易烧性好。

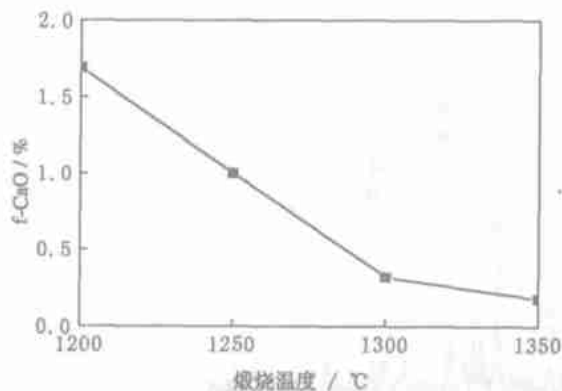


图2 f - CaO 与煅烧温度的关系

Fig.2 Relation of calcination temperature and f - CaO

1.2.1.2 强度与煅烧温度关系

将 A2 在不同煅烧温度下制备的熟料加石膏磨细,并通过 0.08 mm 方孔筛,筛余不大于 5 %,用 0.35 水灰比制成 2 cm × 2 cm × 2 cm 水泥试件,标准养护至各龄期,测定其抗压强度,结果见图 3。

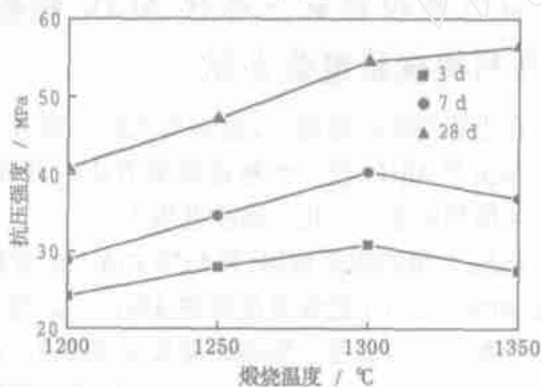


图3 不同煅烧温度所得熟料的强度

Fig.3 Cement strength with different calcination temperature

图 3 表明,煅烧温度提高,水泥早期强度略增,但在 1300 °C 后反而下降。原因是:温度提高,反应物活性强,易生成产物,致使 f - CaO 逐渐降低, $C_4A_3\bar{S}$ 、 C_2S 等矿物相不断增加,尤其是 $C_4A_3\bar{S}$ 含量增加使早期强度增强。但是,随着温度持续升高,使 $C_4A_3\bar{S}$ 、 C_2S 等矿物相的晶粒长大,活性降低,强度反而下降;同时,温度持续升高,也可能使 $C_4A_3\bar{S}$ 分解,造成强度下降^[10]。

而后期一方面由于 C_2S 水化速度加快,后期强度增加;另一方面,由于氧化钛的存在,降低了体系的共熔点,使得高温下的液体量增加,冷却后玻璃体含量增

加,这样也会导致早期强度低,而后期强度增加。

1.2.2 冷却制度

硅酸盐水泥通常采用快冷方式以获得较高强度,但高硅贝利特硫铝酸盐水泥熟料冷却制度对熟料性能的影响尚未见报道。笔者对 1300 °C 下煅烧的熟料 A2 试样采用空气中急冷和随炉自然冷却两种方式,探讨冷却制度对熟料性质的影响。熟料掺入石膏,以水灰比 0.35 制成 2 cm × 2 cm × 2 cm 试件,养护至各龄期,测定其抗压强度,结果如图 4 所示。

从图 4 可以看出,慢冷的熟料与快冷熟料相比,无论早期强度还是后期强度都低很多,说明该水泥和硅酸盐水泥一样不宜采用慢冷的方式,只有采用快冷才能得到较高的强度。其原因可能是:一方面,慢冷的熟料,各矿物有充足的时间结晶长大,晶体发育良好,晶粒度大,因而活性低,水化速度较慢,故早期强度降低;到了后期,由于早期凝结速度慢,能够改善浆体的结构,使得水泥浆体结构更加密实,因而强度较高,接近快冷的熟料。而快冷的熟料,各矿物来不及长大,因而晶粒细小,活性高,无论早期强度还是后期强度都较高。另一方面,水泥中的硅酸盐相是贝利特,众所周知,贝利特在常温下有 β 、 γ 两个相,前者活性较高,后者活性极低,急冷的熟料 β 相较多,所以其强度高。

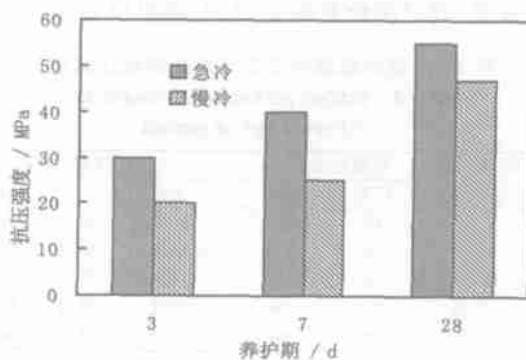


图4 冷却制度对不同龄期水泥试件强度的影响

Fig.4 Effect of cooling conditions on strength at different age

1.2.3 熟料矿物组成分析

为了探讨熟料的矿物组成,对 1300 °C 下煅烧,空气中急冷的 A2 试样作了 X - Ray 衍射分析,其 XRD 谱图见图 5。从图 5 中可看出:熟料中的矿相主要为 $C_4A_3\bar{S}$ 、 C_2S 以及少量的 C_4AF ,这说明利用提钛后尾矿完全可以合成以 $C_4A_3\bar{S}$ 、 C_2S 为主要矿相的

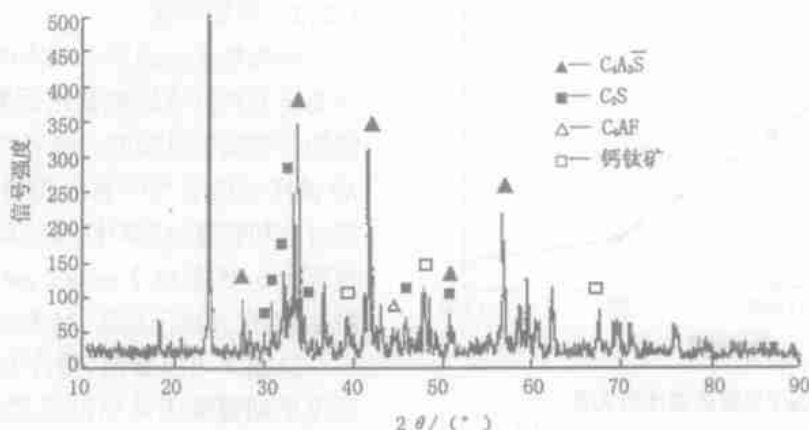


图 5 A2 试样的 XRD 图谱

Fig. 5 XRD patterns of sample A2

高硅贝利特硫铝酸盐水泥。另外,在 XRD 谱图中出现 $\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2$ 衍射峰,说明熟料中含有钙钛矿,一部分是原料中的钙钛矿在反应过程中并未分解而直接存留下来;另一部分是由于原料中攀钛透辉石与富钛透辉石分解释放出的 TiO_2 与 CaO 反应生成的。1.

2.4 凝结时间、强度测试

将上述的各试样在 1300℃ 下煅烧,空气中急冷,粉磨时加入二水石膏,制成 2 cm × 2 cm × 2 cm 的水泥小试件,养护至各龄期,测其 3 d、7 d 及 28 d 的抗压强度,同时测定其凝结时间,结果见表 4。

表 4 水泥的凝结时间及不同龄期抗压强度

Table 4 Setting period and strength at different age of cement

试样	掺加二水石膏 / %	凝结时间 / min		抗压强度 / MPa		
		初凝	终凝	3 d	7 d	28 d
A1	5.60	40	150	21.7	30.0	45.8
A2	8.41	30	132	30.9	40.3	54.5
A3	11.22	22	120	37.8	47.1	59.9
A4	14.01	18	96	45.2	53.4	64.1
A5	16.80	15	90	50.4	58.2	66.3

由表 4 可以看出,用含钛尾矿可以制备出高硅贝利特硫铝酸盐水泥,试样 A1 到 A5,凝结时间逐渐减少,不同龄期的强度表现出明显的规律即逐渐增加,根据表 2 可见,试样 A1 到 A5,原料中的铝、硫增加,即 $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ 矿物逐渐增加,而 $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ 既是早强矿物,又是高强矿物,因此出现了上述的规律。同时还可以看出一个和硅酸盐水泥、快硬硫铝酸盐水泥不同的特点,即与硅酸盐水泥 28 d 强度相近的高硅贝利特硫铝酸盐水泥,其 3 d 强度却明显大于硅酸盐水泥,但

和快硬硫铝酸盐水泥相比,其 3 d 强度明显偏低,也就是说,制备的高硅贝利特硫铝酸盐水泥强度介于硅酸盐水泥和快硬硫铝酸盐水泥之间。

2 以低品位铝矾土替代 Al_2O_3 制备高硅贝利特硫铝酸盐水泥

在上述实验的基础上,尝试用低品位铝矾土替代化学试剂 Al_2O_3 ,进一步验证制备方法的可行性。实验中所用的铝矾土化学组成见表 5。

根据 A 组的实验规律,熟料中 $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ 的含量控制在 30 % 左右,CT 的含量控制在 8 % 以下。理论计算的熟料矿物组成及实际原料配比见表 6、7。由于铝矾土的铝含量较低,在配料中仍用化学试剂作了补充。

按上节同样的办法,测其凝结时间、抗压强度,结果见表 8。

表 8 说明,以低品位铝矾土为校正原料可以制备以 $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ 、 C_2S 为主要矿物的高硅贝利特硫铝酸盐水泥。此外,根据上述的配料,也可用高岭土、煤矸石等含铝的矿物来配制高硅贝利特硫铝酸盐水泥。

3 以副产石膏替代二水石膏制备高硅贝利特硫铝酸盐水泥

副产石膏是指以含钛尾矿提钛所得钙钛矿为原料,采用硫酸法生产钛白粉的过程中产生的副产品石膏。经化学分析得到其化学组成,见表 9。

从表 9 可以看出,副产石膏中的 SO_3 含量达不到快硬硫铝酸盐水泥生产的要求。但是用来制备、

表 5 铝矾土的化学组成

Table 5 Chemical composition of alumina %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	PbO	烧失量
56.56	36.58	0.87	0.25	0.037	6.56

表 6 理论计算的熟料矿物组成与率值

Table 6 Calculated ratio and composition of clinker

试样	矿物组成/ %				率值		
	C ₄ A ₃ S ⁻	C ₂ S	C ₄ AF	CT	C	P	N
B1	30.57	48.99	11.32	7.79	0.983	3.77	0.82
B2	31.64	50.70	9.84	6.78	0.983	3.77	0.82
B3	32.46	52.01	8.70	5.99	0.983	3.77	0.82
B4	33.64	53.91	7.06	4.87	0.983	3.77	0.82
B5	34.76	55.70	5.51	3.77	0.983	3.77	0.82

表 7 原料配比

Table 7 Mix proportion of raw material %

试样	尾矿	铝矾土	碳酸钙	三氧化二铝	二水石膏
B1	18.54	14.83	53.96	5.95	6.72
B2	16.27	16.27	54.92	5.69	6.85
B3	13.08	18.31	56.28	5.32	7.02
B4	10.10	20.20	57.54	4.98	7.18
B5	21.54	12.92	52.69	6.29	6.56

表 8 水泥的凝结时间及不同龄期抗压强度

Table 8 Setting period and strength at different age of cement

试样	掺加二水石膏/ %	凝结时间/ min		抗压强度/ MPa		
		初凝	终凝	3 d	7 d	28 d
B1	8.61	40	192	29.5	38.7	52.1
B2	8.91	32	156	32.0	41.6	55.4
B3	9.12	28	132	32.7	42.5	58.8
B4	9.47	27	114	34.5	44.3	61.9
B5	9.79	25	96	35.1	45.2	63.1

生产高硅贝利特硫铝酸盐水泥,其 SO₃ 含量是足够的,其中还含有 SiO₂、Al₂O₃ 等有用成分,因此,这种石膏从理论上说是能够用于生产高硅贝利特硫铝酸盐水泥的。遂进行了副产石膏替代二水石膏试验。

采用三个率值分别为: C = 0.983, P = 3.77, N = 0.82,熟料中 C₄A₃S⁻ 的含量控制在 30 % 左右, CaO · TiO₂ 的含量控制在 5 % ~ 7 % 进行配料,理论计算的矿物组成、实际配料分别见表 10, 11。

表 9 副产石膏的化学组成

Table 9 Chemical composition of by-product gypsum %

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	SO ₃
33.54	10.26	6.72	1.30	5.20	9.35	33.53

表 10 理论计算的熟料矿物组成与率值

Table 10 Calculated ratio and composition of clinker (use by-product gypsum)

试样	矿物组成/ %				率值		
	C ₄ A ₃ S ⁻	C ₂ S	C ₄ AF	CT	C	P	N
C1	31.19	49.98	9.48	7.29	0.983	3.77	0.82
C2	31.93	51.16	8.43	6.59	0.983	3.77	0.82
C3	32.51	52.10	7.61	6.03	0.983	3.77	0.82
C4	32.98	52.85	6.94	5.58	0.983	3.77	0.82
C5	33.70	54.00	5.92	4.90	0.983	3.77	0.82

表 11 原料配比

Table 11 Mix proportion of raw material %

试样	尾矿	铝矾土	副产石膏	碳酸钙	三氧化二铝
C1	17.31	13.85	9.39	53.59	5.87
C2	15.18	15.18	9.55	54.48	5.62
C3	13.51	16.21	9.68	55.17	5.43
C4	12.17	17.04	9.78	55.73	5.28
C5	10.16	18.29	9.93	56.56	5.05

同样,照前述方法测其凝结时间、抗压强度,结果见表 12。

从表 12 可以看出,在提钛后尾矿掺入量由 17.31 % 降到 10.16 %,相应铝矾土掺量由 13.85 % 增到 18.29 % 时,由副产石膏生产出的水泥熟料抗压强度 3 d 可达 26.8 ~ 31.2 MPa, 28 d 强度达到 45.6 ~ 55.8 MPa,虽然强度不如以纯二水石膏为原料的高,但是能够满足高硅贝利特硫铝水泥的需要,此时副产石膏掺量可达 9 % 左右。若副产石膏的产量不足,也可以用低品位天然石膏替代。

表 12 水泥的凝结时间及不同龄期抗压强度

Table 12 Setting period and strength at different age of cement

试样	掺加二水石膏/ %	凝结时间/ min		抗压强度/ MPa		
		初凝	终凝	3 d	7 d	28 d
C1	8.78	35	144	26.8	31.5	45.6
C2	8.99	32	126	27.4	32.6	48.7
C3	9.16	28	138	28.4	33.8	50.1
C4	9.29	25	156	30.0	35.6	53.3
C5	9.49	20	180	31.2	36.7	55.8

从试样 C3 的 XRD 谱图(图 6)中可以看出,利用高岭土与副产石膏仍然可以合成以 C₄A₃S⁻、C₂S 以及少量 C₄AF 为主要矿相的高硅贝利特硫铝酸盐水泥。但是,由于尾矿、副产石膏中 TiO₂ 的含量高,在制备的高硅贝利特硫铝酸盐水泥中仍有钙钛矿相存在,但对水泥的性能影响不明显。

4 结语

用攀枝花含钛矿渣提取氧化钛后的尾矿、低品

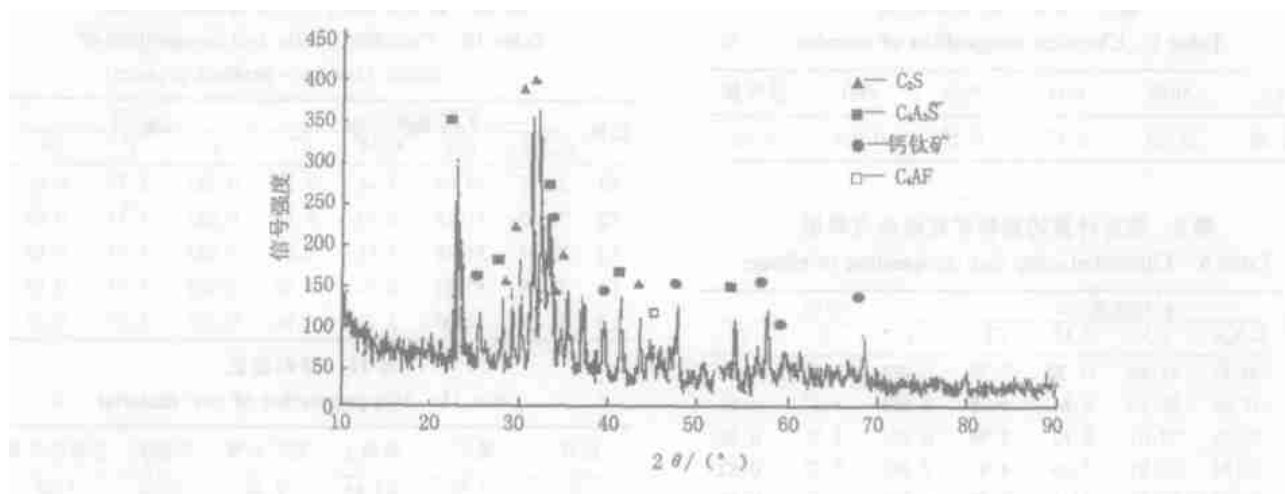


图 6 C3 试样的 XRD 图谱

Fig. 6 XRD patterns of sample C3

位铝矾土、含钛石膏可以制备高硅贝利特硫铝酸盐水泥,其烧结温度低,性能(凝结时间、强度)介于硅酸盐水泥和快硬硫铝酸盐水泥之间,含氧化钛较高的原料(尾矿、石膏)并没有对高硅贝利特硫铝酸盐水泥产生类似对硅酸盐水泥的影响。

参考文献:

- [1] WANG Xiqing. Vanadium Titanium Magnetite Blast Furnace Smelt [M]. Beijing: Metallurgy Press, 1994. 229.
(王喜庆. 钒钛磁铁矿高炉冶炼[M]. 北京:冶金工业出版社,1994. 229.)
- [2] FANG Rongli, JIN Cheng chang, XU Anyi. The Experiment of Producing Cement in Way by Titanium Slag[J]. Cement, 1998, (7): 1 - 3.
(方荣利, 金成昌, 许安益. 利用钛矿渣生产道路水泥的试验[J]. 水泥, 1998, (7): 1 - 3.)
- [3] FANG Rongli, JIN Chengchang. The Methods of Applying with Titanium Slag in Pan - Gang High Valuable[J]. Sichuan Environment, 1994, 13(2): 10.
(方荣利, 金成昌. 高价值综合利用攀钢钛矿渣的途径[J]. 四川环境, 1994, 13(2): 10.)
- [4] FANG Rongli, JIN Chengchang, CHEN Fei. The Experiment of Producing Composite Cement by Applying with Titanium Slag in Pan - Gang[J]. Cement Technique, 1994, (5): 21 - 25.
(方荣利, 金成昌, 陈飞. 利用攀钢钛矿渣生产复合水泥的试验[J]. 水泥技术, 1994, (5): 21 - 25.)
- [5] SUI Zhitong. Accrual Technology on Synthetic Improve one Kind of Resource[J]. Scarce Earth Journal of China, 1998 (16): 731.
(隋智通. 一种资源综合利用增值技术[J]. 中国稀土学报, 1998, (16): 731.)
- [6] BUCCHI R. The Influence of Nature and Prepare of Raw Materials to Raw Natreils Reaction[A]. Papers of the Seventh International Conference on Cement Chemistry[C]. Beijing: Chinese Building Industry Press, 1980. 3 - 46.
(BUCCHI R. 原料的性质和制备对生料反应性的影响[A]. 第七届国际水泥化学会议论文集[C]. 北京:中国建材工业出版社, 1980. 3 - 46.)
- [7] KONDO R. Miscibilities of Special Elements in Tricalcium Silicate and Alite and the Hydration Properties of C3S Solid Solutions [A]. 5th Int. Symp. Chem. Cement[C]. Tokyo, 1968. 262.
- [8] KNOFEL D. Der Einbau Von TiO₂ in Die Pkassen des Portlandzementklinkers[J]. Zement - Kalk - Gips, 1979, 32: 35.
- [9] Katyal N K. Influence of Titania on the Formation of Tricalcium Silicate[J]. Cement and Concrete Research, 1999, 29 (3): 8.
- [10] Katyal N K. Effect of TiO₂ on the Hydration of Tricalcium Silicate[J]. Cement and Concrete Research, 1999, 29 (11): 32.
- [11] Kakali G, Tsvilis S, Tsialtas A. Hydration of Ordinary Portland Cements Made from Raw Mix Containing Transition Element Oxides[J]. Cem. Concr. Res., 1998, 28, (3): 335 - 340.
- [12] WANG Yanmou, SU Muzhen. Sulfur Aluminate Cement[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1999. 78.
(王燕谋, 苏幕珍. 硫铝酸盐水泥[M]. 北京:北京工业大学出版社, 1999. 78.)

- [13] ZHANG Jusong, LI Haoxin, SUI Zhitong. The Experiment Research of Differential Thermal Analysis on Oxidate Titanium to Anhydrous Acid Calcium of Sulfur Aluminium Formation[J]. Journal of Shenyang Architectural Engineering Academy, 2002, 18(3): 193 - 196.
(张巨松, 李好新, 隋智通. 氧化钛对无水硫铝酸钙形成的热分析实验研究[J]. 沈阳建筑工程学院学报, 2002, 18(3): 193 - 196.)
- [14] ZHANG Jusong, LI Haoxin, SUI Zhitong. The Experiment Research of Compounding High Silicon B - lite Sulfur Aluminate Cement with Slag[J]. Journal of Shenyang Architectural Engineering Academy, 2002, 18(1): 36 - 38.
(张巨松, 李好新, 隋智通. 高硅贝利特 - 硫铝酸盐水泥与矿渣复合的实验研究[J]. 沈阳建筑工程学院学报, 2002, 18(1): 36 - 38.)
- [15] ZHANG Jusong, LI Haoxin, SUI Zhitong. The Experiment Research of Differential Thermal Analysis on High Silicon B - lite Sulfur Aluminate Cement[J]. Journal of Shenyang Architectural Engineering Academy, 2003, 19(2): 143 - 147.
(张巨松, 李好新, 隋智通. 高硅贝利特 - 硫铝酸盐水泥的热分析实验研究[J]. 沈阳建筑工程学院学报, 2003, 19(2): 143 - 147.)
- [16] ZHANG Jusong, SUI Zhitong. The Influence of Oxidate Titanium to Formation of Grog Mine of B - lite Sulfur Aluminate Cement[J]. Guide newspaper of Cement in New Century, 2002, (3): 6.
(张巨松, 隋智通. TiO_2 对贝利特 - 硫铝酸盐水泥熟料矿物形成的影响[J]. 新世纪水泥导报, 2002, (3): 6.)

编辑 杨冬梅

防止钛板成型时粘结的研究

日本都立产业技术研究所研究了由于钛板成形时容易产生粘结的课题,对于防止粘结进行了采用润滑剂、表面处理、外加超声波振动和选择工具材质等试验研究,结果如下。

润滑剂的选择有油性剂、特殊添加剂、固体润滑剂等数种,把这些添加不同粘度的基础油 5 % 形成系列润滑剂。采用深冲型摩擦试验机使用这些润滑剂进行平板冲击加工,由得到的摩擦系数来评价添加剂对防止粘结的效果。

关于表面处理的影响试验是在各种条件下在钛板表面上施行表面处理,同样用深冲摩擦试验机进行防止粘接的效果研究。表面处理有阳极酸化(O)、氟化钠水溶液表面处理(F)、磷酸锌水溶液处理(P)、碘 + 钾水溶液处理(I)。

超声波试验是采用振动 + 液压深冲加工法对钛板圆筒深冲加工,研究了超声波振动防止粘结的效果。采用液压进行深冲加工标记为 A,液压和冲头振动时标记为 B,液压 + 超声波振动标记为 C,所有方法都附加上的方法为 D 等进行超声波试验。

关于工具材质的影响使用摩擦良好的陶瓷工具,研究了其防止粘结的效果。陶瓷工具选择氧化铝、氧化锆、氮化硅和碳化硅等,比较材使用 SKD11。

试验结果表明:添加剂中加入润滑油对防止粘结无明显效果,即低粘度基础油条件下所有添加剂都有明显粘结,在高粘度条件下,即使加入添加剂摩擦系数仍大于 0.2。其次,使用陶瓷工具深冲加工时,所有陶瓷工具都有明显粘结,对防止粘结也没有效果。关于各种表面处理的试验结果是:阳极氧化(O)和氟化处理(F)摩擦系数很小(约 0.05),加工后钛板表面没有粘结。关于外加超声波的效果是:外加液压的深冲加工 A,其深冲比 1.76 时断裂;外加超声波(振动时)深冲比所有提高,特别是模具外加超声波振动效果较好,深冲比大于 2,几乎没有发生粘结。

根据上述研究结果可以确认,防止钛板成形时粘结采取阳极氧化和氟化处理效果较好。其次,超声波振动对于防止钛板深冲加工时粘结有效果。

(张朝生摘译自《CAMP - ISJ》,2003,16(6):1197.)