

浮法玻璃窑用耐火材料的发展趋势

王杰曾 袁 林

瑞泰科技股份有限公司 北京 100024

摘 要 回顾了我国玻璃工业的发展,叙述了节能减排对高温工业的影响,介绍了玻璃工艺进步的方向,详述了玻璃工业用熔铸耐火材料和烧结耐火材料,分析了发达国家耐火行业的动向。最后,结合我国实情和新技术革命的方向,讨论了我国耐火材料行业的发展趋势。

关键词 玻璃工业,耐火材料,绿色化,全球化,高技术

1 平板玻璃工业的发展和方向

1.1 玻璃产量的增长

我国平板玻璃工业发展很快。1990 年以后,产量快速增长。2006 年,全国产量 4.4 亿重量箱,比上年增长 7%;2007 年全国产量 5.3 亿重量箱,比上年增加 5 910 万重量箱,同比增长 12.50%;2008 年,全国平板玻璃产量达到 5.5 亿重量箱,其中,浮法玻璃的比例高达 83%^[1]。但是,平板玻璃的发展速度已经减缓,2008 年,同比增长只有 6.5%,增幅回落了 6.9 个百分点。中国平板玻璃产量的变化见图 1。2006 年以后,国产浮法玻璃的生产水平有了新的突破。表 1 为我国新建浮法玻璃生产线与世界先进水平生产的浮法玻璃实物对比^[2]。

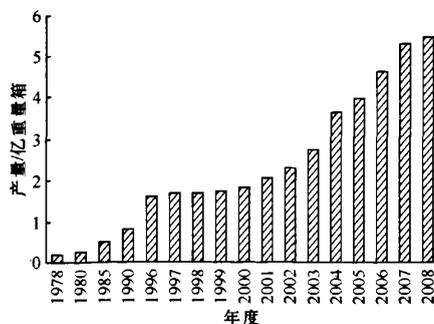


图 1 中国平板玻璃产量的变化

表 1 我国新建浮法线浮法玻璃实物与世界先进水平的对比

项 目	中国先进水平	世界先进水平
<0.3 mm 微缺陷(5 mm 厚)/(个·m ⁻²)	1~2	<1
缺陷总数/(个·t ⁻¹)	30~50	<40
断面条纹	轻	轻
透光率(5 mm 厚)/%	83~87	85~87
下表面渗锡量/(μg·cm ⁻²)	18~25	15~25
退火质量	稳定	稳定

但是,我国玻璃工业仍存在大量落后的窑炉,技术改造的任务依然繁重。目前,玻璃工业需要调整行业结构,鼓励节能减排,发展优质浮法玻璃、特殊品种或深加工玻璃。优质浮法玻璃的比例将从目前的 20% 增至 40% 左右,玻璃深加工率将从目前的 25% 增至 40% 以上。同时,需要限制普通浮法玻璃的增长。

1.2 玻璃品种的发展

1.2.1 建筑节能玻璃

我国建筑能耗占社会总能耗的 28%。但是,已有的 400 多亿平方米建筑中,99% 的为高能耗建筑。即使在新建房屋中,95% 以上也是高能耗的建筑。建筑物中,窗户占外围面积的 1/3~1/5。但是,通过窗户玻璃散失的能量大于整个外围能耗的 50%。所以,建筑节能的关键在于窗户,窗户节能的关键在于采用各种类型的节能玻璃。

1.2.2 太阳能玻璃

目前,已开发出两大类太阳能发电系统:第一类是在建筑物的屋顶和幕墙上安装的光伏发电系统;第二类是集热式太阳能发电系统。光伏发电系统的情况是大约每 100 W 装置需要采用钢化超白玻璃 1~2 m²;集热式太阳能发电系统则需要大量使用优质超白浮法薄玻璃制造聚热镜面。国际市场上,太阳能产业每年以 30%~50% 的速度递增。近年来,中国的太阳能产业也正以“爆炸式”的速度增长。

* 王杰曾:男,1957 年生,博士,教授级高级工程师。
E-mail: wjz@bjruitai.com
收稿日期:2009-09-15

编辑:周丽红

1.3 玻璃工艺进步的方向

1.3.1 节能减排

根据1997年通过的京都议定书,为解决气候变暖问题,发达国家2008年~2012年的温室气体排放量平均要比1990年的水平减少5.2%。

尽管京都议定书没有规定发展中国家的任务,但是,发展中国家温室气体的排放增长很快,要求发展中国家承担减排任务的压力与日俱增。京都议定书允许“排放权交易”:排放超标的国家可以从排放不足的国家那里买来温室气体指标“消费”。所以,中国和其他主要温室气体排放国家都面临着巨大的压力。因而,都非常需要发展各种节能减排技术。

1.3.2 全氧燃烧

20世纪90年代以来,发达国家的玻纤、容器、光学及电子等玻璃窑广泛采用了全氧燃烧技术,一些浮法玻璃窑也采用了全氧燃烧熔制玻璃技术。全氧燃烧的主要优点是降低 NO_x 和粉尘等污染物的排放,节约能耗,减少或避免在环保及建筑蓄热室上的投资,且能提高玻璃产量和质量。

采用全氧技术后,助燃气体大幅减少。钠钙玻璃窑气体中的 NaOH 浓度提高至原来的2倍;硼硅酸盐玻璃窑中的 HBO_2 提高至原来的3倍;显像管铅玻璃窑空气中的 PbO 增加至原来的2.5倍;显像管无铅玻璃窑空气中的 KOH 浓度也增至原来的2倍;但同时,对 SiO_2 有害的水蒸气浓度也增高了3倍,这样就使窑上部很多含 SiO_2 的耐火材料受到了严重侵蚀^[3]。例如,硅砖的寿命由10年锐减到大约2年,制约了全氧燃烧技术的发展。

1.3.3 新型熔制

国内外研究的一系列新型窑炉技术还有减压澄清和浸入燃烧。减压澄清是将玻璃液吸入一真空室,脱气澄清后,再经均化和冷却制成玻璃。浸入燃烧是在窑底放置烧咀,将燃气和氧气鼓入玻璃中,在液相中燃烧。这样,可以利用燃烧产生的强烈搅动,增加窑气和玻璃的传热,加快物理化学变化,可取得减少能耗,增加产量和改善质量的效果^[4]。

1.3.4 替代燃料

为降低生产成本,我国一些玻璃企业进行了用石油焦替代重油制造玻璃的试验,并获得了初步成功。

石油焦是一种很有希望的替代燃料,其热值约30~36 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$,灰分0.1%~0.3%,挥发分约10%,碳含量约90%。目前,燃料级石油焦的价格仅为重油的1/4~1/3。近年,国内石油焦产量增长很

快。2005年,全国石油焦总产量达到了964万t。总体上,75%的石油焦为燃料级副产品。如采用石油焦完全替代重油,1台900 $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$ 的玻璃熔窑可降低燃料费用约60%,年增经济效益6500万元以上。即使考虑处理污染的费用,仍可取得节约成本30%的效益^[5]。试验表明:使用石油焦可以制造出品质合格的玻璃,但蓄热室耐火材料的寿命会受到严重影响。

2 熔铸耐火材料

2.1 熔铸材料概述

一方面,熔铸工艺便于制造出大型制品,有利于减少砖缝和沿砖缝的侵蚀;另一方面,熔铸材料很少含有开口气孔,玻璃液难以侵入到材料内部。因此,熔铸材料具有普通烧制耐火材料不可比拟的抗侵蚀性。但是,不同电熔耐火材料的抗侵蚀性仍有很大差别。所以,应该根据窑炉部位和材料性能来合理配套使用耐火材料。图2显示了不同熔铸耐火材料在不同温度玻璃液中侵蚀95h后的抗侵蚀性试验结果^[6]。

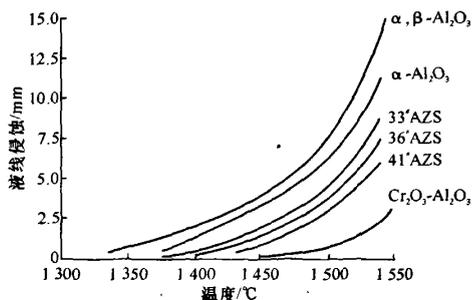


图2 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 玻璃对熔铸耐火材料的侵蚀

从图2可知:1400 $^{\circ}\text{C}$ 以下,各熔铸材料的侵蚀速率都很小;1400 $^{\circ}\text{C}$ 以上,抗侵蚀性的强弱排序是: $\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$ 、41°AZS、36°AZS、33°AZS、 $\alpha, \beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 。

由于 Cr_2O_3 的着色性,平板玻璃窑使用 $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{ZrO}_2$ 系的熔铸耐火材料。玻璃窑熔化部采用33°、36°和41°熔铸AZS砖综合砌筑。通常,41°熔铸AZS用于苛刻的部位,36°熔铸AZS用于侵蚀中等的部位,33°熔铸AZS用于相对温和部位。冷却部应尽量采用熔铸氧化铝砖。冷却部的胸墙可以采用 $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 砖,池壁和铺底砖可以采用 $\alpha, \beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 熔铸砖。

2.2 熔铸锆刚玉材料

图3是熔铸AZS砖显微结构的背散射电子像(背散射电子图像的特点是物相亮度与平均原子序数

成正比)。其中,白色大颗粒为一次斜锆石;麻点状白色物质为铝锆共析体中的斜锆石;基质中暗灰色板条状物质为刚玉;基质中亮灰色物质为玻璃相。

熔铸锆刚玉材料的析晶过程:首先在斜锆石的初晶空间析出一次斜锆石;然后在斜锆石-刚玉共析线上析出铝锆共晶体;最后析出玻璃相和剩余的晶体。玻璃相起到降低熔化温度,扩大浇铸温度范围,松弛热应力的作用。但是,玻璃相是耐火材料中的薄弱环节,极大影响材料的抗侵蚀性。

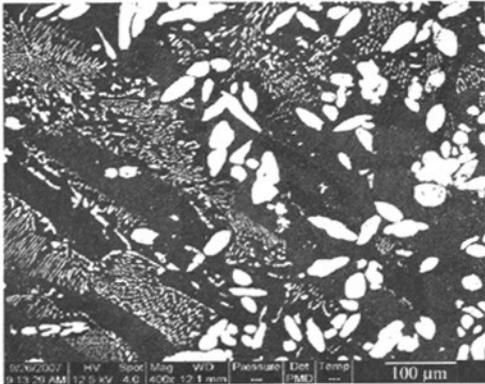


图3 熔铸 AZS 材料显微组织

熔铸锆刚玉砖的侵蚀过程:首先,砖中的玻璃相被池窑玻璃取代;随后,刚玉溶解,增加液相黏度,减缓侵蚀速度,直至刚玉耗尽;接着,熔铸耐火材料解体,其中,难熔的斜锆石进入窑内,成为结石。如果被溶解的耐火材料组分未被混匀,这些物质就会形成条纹。条纹的组分和玻璃不同,会影响气体的溶解度,并提供形核界面致使气泡析出^[7-9]。结石、条纹和气泡是影响玻璃质量的主要缺陷。

2.3 熔铸氧化铝材料

熔铸 α 、 β -氧化铝材料约含45% (w)的 α - Al_2O_3 和55% (w)的 β - Al_2O_3 ,约1%的杂质相,2%的气孔率。熔铸 β -氧化铝砖主要由大晶粒 β - Al_2O_3 组成,杂质相可忽略,气孔率约4%^[10-11]。熔铸 α 、 β -氧化铝或 β -氧化铝材料不含玻璃相,又没有难熔晶相,对玻璃质量不会产生不良影响,在1350℃以下具有良好的抗侵蚀性。因此,熔铸 α 、 β -氧化铝材料广泛用于冷却部, β -氧化铝材料则用于冷却部的上部结构。

α 、 β -氧化铝熔铸材料具有极为优异的抗碱蒸气侵蚀能力。试验表明:其在全氧燃烧玻璃窑内作为碓砖,使用4~8年后几乎没有发生明显变化。因此,估计 α 、 β -氧化铝熔铸材料至少可以使用2个窑役^[12-13]。

2.4 蓄热室用熔铸格子砖

玻璃窑蓄热室起回收余热,预热空气、节省燃料

和改善熔化的作用。格子砖是蓄热室中的关键材料。

我国玻璃窑蓄热室普遍使用烧结材料作为格子砖。烧结材料中含有大量的开放性气孔。这些气孔严重影响材料的抗蠕变、抗侵蚀、防堵塞和导热性能。因成型条件的限制,烧结材料也很难制成具有特殊的形状(如波纹)、尺寸(如薄壁)的产品。所以,烧结砖的性能和寿命都不如熔铸砖。

我国很早就试制了熔铸格子砖,但一直没有形成批量制造能力。熔铸格子砖的单重较小,外形复杂,制造过程麻烦,尺寸精度较高,不易保证合格率。

3 烧结耐火材料

3.1 硅质耐火材料

1980年代,我国从美国引进了玻璃窑用高级硅砖的制造技术。为了区别于原来的产品,采用引进技术制造的产品被称为优质硅砖。优质硅砖的组成(w)为:方石英45%,鳞石英50%,玻璃相1%~2%和少量残余石英,熔融指数($2\text{R}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$) < 0.5%^[14-15]。

采用全氧燃烧技术后,硅砖寿命从5~10年锐减为2~3年。鼠洞和熔蚀是主要的损毁原因。鼠洞是从窑内泄漏的气体中的碱冷凝在砖缝腐蚀硅砖所致。提高硅砖寿命的方法如下:

1) 提高砖的尺寸精度:控制尺寸公差 ≤ 0.5 mm,砖缝宽度 ≤ 1.5 mm^[16]。砖缝变窄,窑气外泄少,侵蚀就轻,鼠洞也小。

2) 合理设计窑衬结构,使碱的冷凝温度区段(954~788℃)移至硅砖背后的密封层之中^[17]。

3) 采用抗侵蚀性能好的低钙硅砖($w(\text{CaO}) \approx 0.8\%$)。图4为低钙硅砖和优质硅砖的抗侵蚀试验结果。从图4可知,在碱蒸气压力较低时,低钙硅砖的抗侵蚀性好于优质硅砖^[18]。

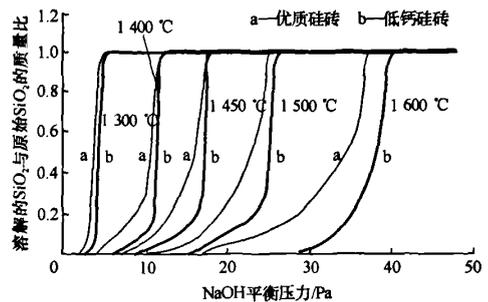


图4 低钙硅砖和优质硅砖的抗侵蚀性比较

硅质材料的优点是高温强度大,抗蠕变性好,密度小,不污染玻璃,价格低廉。表2显示了玻璃窑上部结构用耐火材料的比价^[19]。

表2 全氧燃烧玻璃熔窑大值用材比较

耐火材料	厚度/mm	比 价
优质硅砖	457	1
低钙硅砖	457	1.25 ~ 2
氧化铝-镁铝尖晶石砖	343	5 ~ 6
镁铝尖晶石砖	343	5 ~ 6
熔铸 α, β -氧化铝砖	356	11.5 ~ 14
熔铸 β -氧化铝砖	356	11.5 ~ 17
熔铸 AZS 砖	356	11.5 ~ 17

3.2 镁质耐火材料

3.2.1 玻璃窑蓄热室用镁质材料

一般,蓄热室格子体的最上层用高档镁砖 ($w(\text{MgO}) > 97\%$);上层使用中档镁砖 ($w(\text{MgO})$ 约为 $95\% \sim 96\%$);中层使用直接结合镁铬砖;下层使用低气孔黏土砖。

格子体的重要性能是抗侵蚀性和抗蠕变性。提高抗蠕变性需使用高纯、低铁、低气孔和大晶粒的原料,并采用高温进行充分烧结^[20]。筒型砖的稳固性和换热效果都优于条型格子砖。如筒型砖的比换热面积为 16 m^{-1} ,条形砖砌筑结构的比换热面积只有 $10.4 \sim 12.7 \text{ m}^{-1}$ 。

3.2.2 使用替代燃料时蓄热室的配置

使用石油焦后,玻璃窑蓄热室的耐火材料易于受到侵蚀,其中,95 镁砖受损最为严重。图 5 是某企业使用石油焦后 95 镁砖损坏后的显微结构照片。图中灰色圆形颗粒为方镁石,暗灰色基质为镁橄榄石 M_2S ,亮灰色基质为钙镁橄榄石 CMS,黑色部分为气孔。

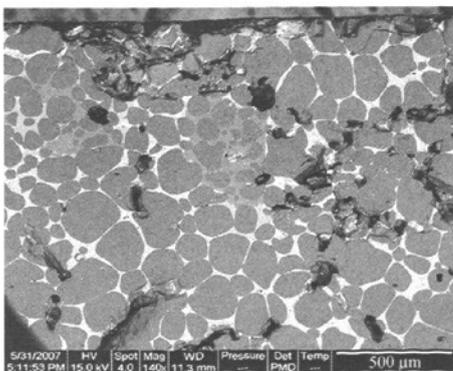


图5 玻璃窑蓄热室用 95 镁砖受侵蚀后的显微组织

可见:大量 SiO_2 和 CaO 侵入了砖体,破坏了原有的 $\text{MgO} - \text{M}_2\text{S}$ 结合,形成了连续的 $\text{CMS} - \text{M}_2\text{S}$ 低熔结合相。

另一方面,石油焦着火难,燃烧慢。使用石油焦后,未燃净的组分进入蓄热室,在蓄热室继续燃烧,提高了蓄热室的温度。这样,在高温和侵蚀的作用下,

格子体发生软化并随后发生垮塌。基于损毁原因,玻璃企业扩大了蓄热室中 97 镁砖和直接结合镁铬砖的用量,替换了性能较差的 95 镁砖,蓄热室寿命由 1 年延长到 3 年,使用石油焦的试验取得了初步成功。

为满足使用替代燃料的需求,还需要开发抗侵蚀性好,又适应氧化-还原气氛变化的高纯镁铝尖晶石材料^[21]。高纯镁铝尖晶石砖的抗蠕变性和抗碱蒸气侵蚀性很好,也可用于全氧燃烧玻璃熔窑。

3.3 烧结铝硅质材料

大型黏土制品用于砌筑窑池底部和锡槽,锡槽对耐火材料有很高的要求。第一代锡槽材料是普通耐火混凝土预制件;第二代材料是手工捣打或泥浆浇注成型的大砖。第二代黏土制品不含结晶水,受热后不产生水蒸气。但是,第二代制砖工艺劳动强度大,生产周期长,产量低,质量不稳,所以,研发了第三代工艺。第三代工艺采用超低水泥技术成型,经脱模、养护、干燥、烧成和机械加工后制成锡槽大砖^[22]。

3.4 烧结 AZS 材料

一般情况下,玻璃窑的底部采用无缩孔熔铸砖 + 烧结 AZS 砖 + 锆英石捣打料 + 黏土大砖综合砌筑。烧结 AZS 砖主要用于铺底砖,烧结 AZS 砖或锆莫来石砖也用于 L 吊墙。

L 吊墙是玻璃窑前脸墙的新型结构,其特征是将耐火砖安装在水冷的钢架之上。L 吊墙具有结构稳定,投料池宽度不受限制,便于密封,提高预熔效果,降低燃料消耗等优点。但是,由于 L 吊墙的工作条件恶劣,国产和进口的 L 吊墙用锆莫来石质耐火材料都多次发生剥落。剥落的主要原因是受碱侵蚀后,砖中的莫来石转变成霞石所伴随的膨胀。如果反应慢,则膨胀小,应力就容易松弛;反之,若碱蒸气浓度高或耐火材料的性能差,就可能发生事故。L 吊墙用锆莫来石砖不宜低于表 3 中正常用砖水准^[23]。

表3 L吊墙用锆莫来石砖性能对比

项 目	正常时用砖	事故时用砖
体积密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	2.80	2.65
显气孔率/%	18.0	23.6
耐压强度/MPa	86	77
荷重软化开始温度/ $^{\circ}\text{C}$	1 600	1 580

4 玻璃窑用耐火材料的发展趋势

4.1 发达国家耐火企业的动向

国外同行采用的战略是“转出去”和“引进来”,其主要目标在于保持技术领导地位和控制高端产品

市场。

4.1.1 产业转移

“转出去”就是尽量对外转移高能耗、高污染、资源密集、劳动密集或低附加值的耐火材料产品。

中国是世界最大的耐火原料产地和耐火材料市场,中国还有取之不尽的人力资源。因此,中国具有发展耐火材料理想的条件。中国加入WTO以后,国外耐火材料企业大规模进入。现在,几乎所有的知名国外耐火材料企业都在中国设有分支机构。国外企业注重于中国的原料和市场。但是,外企也带来了先进的技术、装备和管理,甚至一些高档产品。国外企业的大批进驻,改变了中国的耐火材料的产业结构,加速了中国耐火材料行业的现代化。

4.1.2 确保优势

“引进来”就是将高新技术大量引入耐火材料等传统行业,促进传统制造产业的技术升级,进而实现确保技术优势的目标。

一些国外企业大力采用CAX(包括CAD计算机辅助设计、CAE计算机辅助工程分析和CAM计算机辅助制造),提高耐火材料的制造水平。比如,采用CAX可以显著缩短交货时间,确保加工质量和满足客户的特殊需求。

某超大型跨国公司坚持进行新型耐火材料、耐火原料、耐火装备、控制和模拟的研究,取得了诸多成果。比如,转炉维修用高性能喷涂机器人,耐火材料的热-机械性能,脆性的减少以及侵蚀的控制等。

4.2 国内耐火材料行业的趋势

4.2.1 提高产业集中度

目前我国耐火材料企业需要坚持走兼并重组、扩大规模和提高效益之路。

4.2.2 加强产学研的合作

一般,耐火材料的许多重大问题都涉及到多学科的知识,都需要组织各专业的人才进行攻关才能解决。但是,即便大型企业也很难具备这些条件。所以,耐火材料企业需要与高校合作,借助高校力量培养人才,依靠高校进行跨学科方面的研究,从而弥补自身的一些不足,保证企业更好的发展。

4.2.3 持续改进硬件

我国的耐火材料工艺已有相当水平。但是,装备正成为制约耐火材料发展的瓶颈。很多企业已认识到没有现代化的设备,就没有优异的产品和稳定的质量,在耐火材料产业链的高端就没有位置。近来,一些企业投入巨资建成了现代化生产线装备。

一般,通用设备能够在市场采购。但是,专用设备常常需要企业自己研制。这些设备的技术含量高,用量少,小公司做不了,大公司不愿做;即便一家耐火企业自己搞成了,也不希望其他企业采用。

烧结耐火材料的通用装备有:自动配料、自动液压、程控烧结等;专用设备有:砖坯、砖块和制砖料的在线智能检测和分拣。

熔铸耐火材料有很多的专用设备,如全能程控熔炼、铸模自动生产、砖块数控加工;其中,全能程控是一项集成现代测控手段的高技术,同时具有功率控制、终点控制和优化控制功能的熔炼工艺。

4.2.3 充分利用软件

我国机电制造水平不高,进口设备价格昂贵,与发达国家相比,在一些高、精、尖的专用设备的方面处于劣势。所以,我国耐火材料企业应该善用已经普及的个人电脑,将各种计算机软件的作用发挥到极至。

目前,计算机辅助软件(CAX)不仅易学易用,而且功能强大(如Pro/Engineer、Ansys)。一方面,可将CAX用于现有的耐火材料制造。比如,设计特异形耐火材料、耐火材料组合件、耐火材料的模具,模拟耐火材料的热工过程、数控机床的加工过程等;另一方面,可在CAX支持下改造传统的装备,研发新的技术装备。

现在,可用计算机完成许多从前无法进行的运算,例如,企业资源计划(ERP)、数据挖掘(Data mining)和商务智能(BI)、计算机支持的耐火材料显微结构分析。再如,计算机辅助耐火材料工艺优化-借助数学模型方法,优化生产工艺参数,使耐火材料具有最高的性价比^[24]。

5 结语

(1)绿色化、全球化和高技术渗透这三大潮流,深刻影响着玻璃工业和耐火材料行业的发展。

(2)全氧燃烧玻璃窑的上部结构可用熔铸 α 、 β -氧化铝砖或熔融再结合高纯镁铝尖晶石砖。特殊情况下,可以试用低钙硅砖。

(3)使用石油焦时,蓄热室是薄弱环节。为保证窑衬寿命,要尽量使石油焦完全燃烧,并减少95镁砖的用量,用97镁砖和镁铬砖取而代之。

(4)我国尚不能批量制造熔铸格子砖。今后,有关厂家应设法解决这一难题,以满足玻璃工业节能减排的需求。

(5) 高纯镁铝尖晶石可能在全氧燃烧玻璃窑的上部结构或使用替代燃料的常规玻璃窑的蓄热室得到推广。

(6) 我国耐火材料的趋势是提高产业集中度,进一步加强产学研合作,持续地改进硬件以及最大限度地利用软件。

参考文献

- [1] 王文. 我国建材工业去年完成工业增加值5 240亿元[N]. 建筑时报, 2009-04-06(1).
- [2] 彭寿. 中国浮法玻璃技术的现状与前景展望[J]. 国外建材科技, 2008, 29(6): 2-6.
- [3] 王杰曾, 王晓红, 崔秀菊, 等. 全氧、富氧燃烧玻璃熔窑用耐火材料[J]. 中国建材科技, 2001(6): 52-56.
- [4] Rue D, Wangner J, Aronchik G. Recent developments in submerged combustion melting[J]. *Ceram Eng Sci Proc*, 2007, 28(1): 175-181.
- [5] 曾小军, 赵黛青, 汪小慈, 等. 石油焦粉在玻璃熔窑直接燃烧代替重油的适用性分析[J]. 玻璃与搪瓷, 2008, 36(3): 23-27.
- [6] 吴柏诚, 巫义琴. 玻璃制造技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1993: 190-204.
- [7] Selkregg R K, Gupta A. Investigation of defects in high-quality glasses[J]. *Ceram Eng Sci Proc*, 2004, 25(1): 13-22.
- [8] Dunkl M, Balzer M, Gupta A. Criteria for the selection of refractories for special glass melting tanks[J]. *Ceram Eng Sci Proc*, 2003, 24(1): 197-210.
- [9] Muysenberg E, Ullrich J. Bubbles and blister[J]. *Ceram Eng Sci Proc*, 2003, 24(1): 161-174.
- [10] Gupta A, Winder M S. Ongoing investigation of oxy-fuel firing impact on corrosion of nonglass contact refractories; Part 2[J]. *Ceram Eng Proc*, 1996, 17(2): 112-120.
- [11] Duviere G, Zanoli A, Boussant - Roux Y, et al. Selection of optimum refractories for the superstructure of oxy-fuel glass melting furnaces[J]. *Ceram Eng Proc*, 1997, 18(1): 146-143.
- [12] Gupta A, Clendenen D. Fused-alumina crowns[J]. *American Ceramic Society Bulletin*, 2002, 81(10): 57-61.
- [13] Gupta A, Selkregg R K, Kotacska L, et al. Performance of fusion-cast α -alumina crowns in industrial oxy-fuel furnaces: post-campaign experience[J]. *Ceram Eng Proc*, 2003, 24(1): 211-224.
- [14] Faber J A, Verheijen S O. Refractory Corrosion under oxy-fuel firing conditions[J]. *Ceram Eng Proc*, 1997, 18(1): 109-119.
- [15] Mackintosh J, Ruelle J. Silica refractories for glass furnaces[J]. *Glass International*, 2003(5): 38-40.
- [16] Richez G, Ruelle J. Disposing of refractories[J]. *Glass*, 2002(6): 190-192.
- [17] Kotacska H L, Cooper J T. How alkali vapor affects superstructure refractories[J]. *Glass Industry*, 1997(11): 13-15.
- [18] Beerkens R G C, Verheijen O S. Reaction of alkali vapours with silica based refractory in glass furnace, thermodynamics and mass transfer[J]. *Glass Technol*, 2005, 46(6): 317-382.
- [19] Nobuyuki Kido. Oxy-fuel combustion and its impact on refractories in glass melting tank furnaces[J]. *Journal of the Association of Refractories*, 2008, 28(1): 28-32.
- [20] Velez M, Karakus M, Headrick L W, et al. MgO refractories for glass tank regenerators[J]. *American Ceramic Society Bulletin*, 2002, 81(10): 46-50.
- [21] Heilemann G, Schmalenbach B, Weichert T, et al. New solution for checkers working under oxidizing and reducing conditions[J]. *Ceramic Engineering and Science Proceedings*, 2007, 29(1): 183-193.
- [22] Ruilan Y, Jiezeng W. Research on tin bath fireclay block solidified by ultra-low cement [C]//Proc of the 4th Intern Symp on Refr, Dalian, China, 2003: 261-266.
- [23] 候炳润, 王杰曾, 刘锡俊. L型吊墙用烧结 AZS 砖的侵蚀机理 [C]//我国 21 世纪玻璃与耐火材料工艺及其配套行业技术发展与信息交流会论文集(上), 北京, 中国, 2000: 153-160.
- [24] 王杰曾. 耐火材料先进制造[J]. *耐火材料*, 2008, 42(2): 151-155.

Developing tendency of refractories for float glass tank/Wang Jiezeng, Yuan Lin//Naihuo Cailiao. -2009, 43(6): 460

The development of China's glass industry was reviewed; the effect of energy saving and emission reduction on high temperature industry was related; the developing direction of advanced glass was introduced; the fused cast refractories and sintered refractories for glass industry were expatiated; trend of foreign refractories industry was analyzed; finally, the tendency of China's refractories in the background of globalization and technological revolution was discussed.

Key words: Glass industry, Refractories, Environmental friendly, Globalization, High-tech.

Author's address: Ruitai Materials Technology Co., Ltd., Beijing 100024, China

作者: [王杰曾](#), [袁林](#), [Wang Jiezheng](#), [Yuan Lin](#)
作者单位: [瑞泰科技股份有限公司](#), 北京, 100024
刊名: [耐火材料](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [REFRACTORIES](#)
年, 卷(期): 2009, 43 (6)

参考文献(24条)

1. [王文](#) 我国建材工业去年完成工业增加值5 240亿元 2009
2. [彭寿](#) 中国浮法玻璃技术的现状与前景展望[期刊论文]-[国外建材科技](#) 2008(06)
3. [王杰曾](#); [王晓红](#); [崔秀菊](#) 全氧,富氧燃烧玻璃熔窑用耐火材料[期刊论文]-[中国建材科技](#) 2001(06)
4. [Rue D](#); [Wangner J](#); [Amchik G](#) Recent developments in submerged combustion melting 2007(01)
5. [曾小军](#); [赵黛青](#); [汪小悠](#) 石油焦粉在玻璃熔窑直接燃烧代替重油的适用性分析[期刊论文]-[玻璃与搪瓷](#) 2008(03)
6. [吴柏诚](#); [巫义琴](#) 玻璃制造技术 1993
7. [Selkregg R K](#); [Gupta A](#) Investigation of defects in high-quality glassos 2004(01)
8. [Dunkl M](#); [Balzer M](#); [Gupta A](#) Criteria for the selection of refractories for special glass melting tanks 2003(01)
9. [Muysenberg E](#); [Ullrich J](#) Bubbles and blister[外文期刊] 2003(01)
10. [Gudta A](#); [Winder M S](#) Ongoing investigation of oxy-fuel firing impact on corrosion of nonglass contact refractories:Part 2 1996(02)
11. [Duvierre G](#); [Zanoli A](#); [Boussant -Roux Y](#) Selection of optimum refractories for the superstructure of oxy-fuel glass melting furnaces 1997(01)
12. [Gupta A](#); [Clendenen D](#) Fused-alumina crowns[外文期刊] 2002(10)
13. [Gupta A](#); [Selkregg R K](#); [Kotacska L](#) Performance of fusioneast α - β alumina crowns in industrial oxy-fuel furnaces:post-campaign experience 2003(01)
14. [Faber J A](#); [Verherheijen S O](#) Refractory Corrosion under oxy-fuel firing eunditioas 1997(01)
15. [Mackintosh J](#); [Ruelle J](#) Silica refractories for glass rum.aces 2003(05)
16. [Richez C](#); [Ruenlle J](#) Disposing of refractories 2002(06)
17. [Kotacska H L](#); [Cooper J T](#) How alkali vapor affects superstructure refractories 1997(11)
18. [Beerkens R G C](#); [Verheijin O S](#) Reaction of alkali vapours with silica based refractory in glass furnace, thermodynamics and mass transfer 2005(06)
19. [Nobuyuki Kido](#) Oxy-fuel eombustiun and its impact on refractories in glass melting tank furnaces 2008(01)
20. [Velez M](#); [Karakus M](#); [Headrick L W](#) MgO refractories for glass tank rngenerators[外文期刊] 2002(10)
21. [Heilemarm G](#); [Schnudenbach B](#); [Weichert T](#) New solution for checkers working under oxidzing and reducing cunditioas 2007(01)
22. [Ruilan Y](#); [Jiezheng W](#) Research on tin bath fireclay block solidified by ultra-low cement 2003
23. [候炳润](#); [王杰曾](#); [刘锡俊](#) L型吊墙用烧结AZS砖的侵蚀机理 2000
24. [王杰曾](#) 耐火材料先进制造[期刊论文]-[耐火材料](#) 2008(02)

本文读者也读过(7条)

1. 宋秋芝, 刘志海, Song Qiuzhi, Liu Zhihai 我国玻璃窑用耐火材料现状及发展趋势[期刊论文]-玻璃2009, 36(1)
2. 王铁铮, 辛明, 傅莉莉, 霍江平, 潘尚心, 李超文 中国耐火材料生产与进出口六十年情况简要回顾[期刊论文]-耐火材料2009, 43(3)
3. 吴占德, 蒋明学, Wu Zhande, Jiang Mingxue 镁钙系耐火材料的研究现状[期刊论文]-耐火材料2009, 43(2)
4. 张子洋, 梁永和, 余为, 吴芸芸, 简传好, 聂建华, ZHANG Zi-yang, LIANG Yong-he, YU Wei, WU Yun-yun, JIAN Chuan-hao, NIE Jian-hua 球团矿回转窑耐火材料的蚀损及其对结圈的影响[期刊论文]-硅酸盐通报2009, 28(z1)
5. 周宁生, 李纪伟, 于仁红, 毕玉保 绿色耐火材料的理念与实践[期刊论文]-耐火材料2010, 44(3)
6. 彭达岩, 郭伏安, Peng Dayan, Guo Fuan 钢铁工艺优化对耐火材料发展的影响[期刊论文]-耐火材料2010, 44(4)
7. 田守信 用后耐火材料的再生利用[期刊论文]-耐火材料2002, 36(6)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_nhcl200906017.aspx