

热处理炉进展

吴光治 编著



国防工业出版社

热处理炉进展

吴光治 编著

冶金工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

热处理炉进展/吴光治编著. —北京:国防工业出版社,
1998.4
ISBN 7-118-01825-2

I. 热… II. 吴… III. 热处理炉-技术发展-概况 IV. T
G155.1

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第20262号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 15 1/4 345 千字
1998年4月底第1版 1998年4月北京第1次印刷
印数:1—1000册 定价:22.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

内 容 简 介

本书叙述了近年来国内外热处理电炉及有关技术的发展情况。书中针对我国国情,把著述的重点放在炉用材料、炉衬设计、周期式作业炉、可控气氛炉和自动机组、真空热处理炉和冷却技术、测试技术以及计算机应用等方面。全书共六章,内容简明系统、实用性强,可供从事热处理和热处理设备研究、设计、制造的工程技术人员、大专院校师生以及机械制造方面的有关人员参考和阅读。

目 录

第一章 炉用材料及其进展	1
第一节 耐火材料及其进展	1
一、耐火材料的主要性能指标	1
二、耐火材料应用及进展	2
三、热处理炉用砖泥浆	4
第二节 保温材料及其进展	4
一、常用保温材料	4
二、耐火纤维及其制品	5
第三节 炉用耐热材料及其进展	9
一、应用情况	9
二、炉用耐热材料的发展	9
第四节 电热体材料及其进展	11
一、电热体材料的性能要求	11
二、金属电热体材料	11
三、非金属电热体材料	13
第二章 周期式作业炉及其进展	15
第一节 箱式炉	15
一、概述	15
二、炉衬设计改进	15
三、炉体结构改进	22
四、其他方面	23
五、几种新型箱式炉	25
第二节 井式炉	27
一、井式炉的改进	27
二、井式渗碳炉的改进	29
第三节 其他类型的周期式作业炉	33
一、台车式炉	33
二、翻板式炉	33
三、滚动底式炉	34
四、升降底式炉	34
五、罩式炉	35
六、罩式气体氯化炉	36
七、井式气体氯化炉	36
八、工频磁场软氯化炉	37
九、感应电热体加热装置	37

十、滚筒式炉	40
第四节 浴炉及其进展	41
一、浴炉的特点和种类	41
二、浴炉的改进	42
三、浴炉的节能和发展	44
第五节 流态粒子炉及其进展	44
一、流态粒子炉的特点和种类	44
二、流态粒子炉的发展	45
三、化学热处理用流态炉	46
第三章 可控气氛热处理炉及其进展	50
第一节 可控气氛炉的类型和特点	50
一、可控气氛炉和类型	50
二、可控气氛炉的特点	50
第二节 可控气氛制备方法及其进展	51
一、制备可控气氛的主要方法	52
二、氮基气氛制备方法及其进展	55
三、直注式气氛	64
第三节 气氛控制方法	69
一、气氛的选择与搭配	69
二、气氛控制	71
第四节 周期作业式可控气氛炉	73
一、少无氧化电阻炉	73
二、可控气氛井式炉	77
三、密封箱式多用炉	80
四、其他	85
第五节 连续作业式可控气氛炉	89
一、连续作业式可控气氛炉的发展	89
二、传送带式炉	89
三、推杆式炉	99
四、掘底式炉	103
五、辊底式炉	104
六、步进式炉	105
七、转底式炉	107
八、滚筒式炉	109
九、牵引式炉	110
十、其他类型的连续式炉	113
十一、热处理炉自动机组	113
第四章 真空热处理炉及其进展	117
第一节 概述	117
一、真空炉的工作特点和分类	117
二、真空系统及其参数	117
三、真空炉的发展	121

第二节 真空炉炉内构件及发展	122
一、电热器	122
二、隔热屏	125
三、真空闸阀	127
四、气冷风机	128
五、真空密封材料和密封结构	129
第三节 真空冷却技术进展	131
一、冷却介质进展	131
二、气冷淬火的发展	133
第四节 新型真空热处理炉	134
一、油冷式真空热处理炉	134
二、气冷式真空热处理炉	136
三、其他类型的真空热处理炉	144
四、抽空热处理炉	148
五、真空炉的组件化设计	151
六、真空等离子炉	152
第五章 热处理炉测控技术及其进展	155
第一节 炉温测控技术	155
一、炉温测量技术	155
二、炉温控制技术	165
三、控制炉温的微机系统	171
第二节 气氛测控技术	171
一、炉内气氛控制系统	171
二、气氛控制传感元件	172
三、执行器	177
四、碳势自动控制系统	178
第六章 热处理炉的计算机控制	181
第一节 概述	181
一、计算机在热处理中的应用概况	181
二、计算机在热处理设备中应用简介	182
三、微机测试与控制系统简介	183
第二节 热处理炉温度控制	187
一、概述	187
二、控制炉温的微机系统	189
三、KR1 W 系列微机温度控制柜介绍	195
四、微机炉温群控系统	199
第三节 气体渗碳炉微机控制	202
一、工作原理及碳势的控制	202
二、KRQ W 系列微机碳势控制柜介绍	204
三、控制气体渗碳的微机系统	209
四、两级分布式渗碳微机控制系统	216
五、电阻法微机控制渗碳系统	218

第四节 气体渗氮炉微机控制	220
一、可控渗氮的基本原理和参数	220
二、渗氮过程中氮势门槛值特性曲线	221
三、KRN—W 系列微机氮势控制柜	222
第五节 热处理生产线的微机控制	227
一、概述	227
二、NS—88—900 微机滴控箱式多用炉机组的微机控制	229
参考文献	232

第一章 炉用材料及其进展

热处理炉用材料,主要包括筑炉材料和结构材料两大类。筑炉材料包括耐火材料和保温材料,结构材料包括炉用普通结构材料和炉内耐热钢材料。

热处理炉的炉衬一般分为两层,一层是耐火层,另一层是隔热保温层。用于耐火层的材料必须是耐火材料;隔热保温层常用保温材料。炉用普通结构材料用于炉体构架和附属部件,炉内耐热钢材料通常用于炉内结构件或部件。

第一节 耐火材料及其进展

一、耐火材料的主要性能指标

所谓耐火材料,是指能抵抗炉内高温及高温下物理、化学作用的非金属筑炉材料。耐火材料的选择要考虑炉内温度、气氛、熔融材料的成分等。热处理炉用材料的发展方向是,在努力提高其高温性能,尤其是高温强度和高温下抵抗炉膛内气氛与介质侵蚀和冲刷能力的情况下,尽量减小体积密度,延长使用寿命。

耐火材料必须满足以下性能指标。

1. 耐火度

耐火度是耐火材料在高温下抵抗熔化的性能。耐火度大于 1580°C 的材料才称为耐火材料。耐火度并不代表耐火材料的实际使用温度,因为在高温载荷作用下耐火材料的软化变形温度会降低。耐火度主要取决于耐火材料的化学成分和材料中的易熔杂质(如 FeO 、 Na_2O 等)的含量。

2. 高温结构强度

高温结构强度是指耐火制品在高温下承受压力而不发生变形的抗力,常以荷重软化温度来评定。所谓荷重软化温度是指耐火制品在 0.2MPa 压力下,以一定的升温速度加热,测出样品开始变形的温度和压缩变形达 4% 或 40% 的温度,前者温度叫荷重软化开始温度,后者温度叫荷重软化 4% 或 40% 的软化点。

3. 热稳定性、体积稳定性和高温化学稳定性

热稳定性是指抵抗温度急剧变化而不破裂或剥落的能力,有时也称之为耐急冷急热性。其测定是将耐火制品加热到一定温度(850°C)然后用流动的冷水冷却,直至制品破裂而部分剥落的重量为原重量的 20% 时,所经受的冷热交替次数即为评定热稳定性的指标。

体积稳定性是指耐火制品在一定温度下反复加热、冷却的体积变化百分率。一般允许的残余膨胀或收缩不应超过 $0.5\%\sim 1.0\%$ 。

高温化学稳定性是指耐火制品在高温下抵抗金属氧化物、熔盐和炉气侵蚀的能力。它

主要取决于耐火制品本身相组成物的化学特点和物理结构,如气孔率、体积质量等。

4. 体积质量

体积质量是指包括全部气孔在内的单位体积耐火制品的重量,其单位为克每立方米。

5. 导热率、比热容和热膨胀性

导热率表示耐火材料的导热性能,其物理意义为当温度差为 1K 时,单位时间内通过厚为 1m,面积为 1m^2 耐火制品的热量,单位为瓦[特]每米开[尔文]。

比热容反映耐火材料的蓄热能力,单位为千焦[耳]每千克摄氏度,其值随温度升高而增大。

热膨胀性常用线性膨胀百分数表示,即耐火材料制品在 $t^\circ\text{C}$ 下的长度 L_t 与 0°C 时的长度 L_0 之差值同 L_0 之比的百分数。

二、耐火材料应用及进展

热处理炉常用的耐火材料的技术性能见表 1-1。

表 1-1 常用耐火材料和保温材料的技术性能

材料名称和牌号	耐火度 $^\circ\text{C}$	荷重 软化 $^\circ\text{C}$	耐压强度 $/\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$	密度 $/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	热 导 率 $/\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	比 热 容 $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$	最高使 用温度 $^\circ\text{C}$
高铝砖(LH-65)	1790	1500	400	2.3~2.75	$2.09+1.86\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	$0.96+0.147\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	1500
高铝砖(LH-55)	1770	1470	400	2.3~2.75	$2.09+1.86\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	$0.80+0.119\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	1450
高铝砖(LH-48)	1750	1420	300	2.3~2.75	$2.09+1.86\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	$0.92+0.25\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	1400
粘土砖(NZ-40)	1730	1350	200	2.1~2.2	$0.698+0.64\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	$0.88+0.23\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	1350
粘土砖(NZ-35)	1670	1300	150	2.1~2.2	$0.698+0.64\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	$0.88+0.23\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	1300
粘土砖(NZ-30)	1610	1250	125	2.1~2.2	$0.698+0.64\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	$0.88+0.23\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	1250
轻质粘土砖(QN-1.3a)	1710		45	1.3	$0.56+0.35\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	$0.84+0.26\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	1350
轻质粘土砖(QN-1.0)	1670		30	1.0	$0.29+0.256\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	$0.84+0.26\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	1300
轻质粘土砖(QN-0.8)	1670		20	0.8	$0.294+0.212\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	$0.84+0.26\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	1200
轻质粘土砖(QN-0.6)	1650		10	0.6	$0.165+0.194\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	$0.84+0.26\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	1200
轻质粘土砖(QN-0.4)	1650		6	0.4	$0.08+0.22\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	$0.84+0.26\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	1150
碳化硅制品	1900	1650	800	2.4	9.3~16		1350
抗渗碳砖(重质)	1770			2.14	$0.7+0.64\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	同粘土砖	1350
抗渗碳砖(轻质)	1730			0.88	$0.15+0.128\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	同粘土砖	1250
粉煤灰空心微珠砖	1510	1140	36	0.5	$0.16+0.178\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	0.8(常温)	1000
硅酸铝耐火纤维毡				0.135	0.119(600 $^\circ\text{C}$)		1200
硅 砖 A 级				0.5	$0.105+0.23\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	$0.84+0.25\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	900
硅 砖 B 级				0.55	$0.131+0.23\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	0.75(538 $^\circ\text{C}$)	900
硅 砖 C 级				0.65	$0.169+0.31\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$		900
膨胀蛭石				0.25	$0.072+0.256\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	0.6573	1100
石棉板				1.0	$0.163+0.174\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$		500
矿渣棉 一级				0.125	$0.042+0.186\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$		700
矿渣棉 三级				0.2	$0.07+0.157\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$		700
膨胀珍珠岩				0.31~ 0.135	$0.04+0.22\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$		1000
磷酸珍珠岩				0.22	$0.049+0.174\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$		1000
熔 砖	1900	1650	700			$0.2+0.07\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	1700
镁 砖	2000	1600	600			$0.25+0.07\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	1700
碳 制 品	3000	2000	250			0.2	2000
纤维毡					$0.041+0.093\times 10^{-3}t_{\text{cp}}$	1.05	1000

早期,热处理炉采用的耐火材料,主要是体积质量比较大的粘土砖和高铝砖。粘土砖的主要成分是 Al_2O_3 (含量小于 48%) 和 SiO_2 。高铝砖的特点是 Al_2O_3 含量大于 48%, 性能稳定, 不与电热元件发生化学作用, 常用于高温炉和盐浴炉的内衬砌砖, 以及电热元件搁砖和套管等。过去用于耐火层的粘土砖和高铝砖的体积质量通常在 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 左右。这类材料能满足热处理炉耐火层的要求。一般来说, 体积质量越大, 其热导率和强度越高, 使用温度也越高, 但是, 炉子蓄热量大, 热效率低, 不节能, 炉体重量也大。

随着耐火材料制造技术的发展, 耐火砖的技术性能指标和质量稳步提高, 尤其是高温结构强度得到提高。因此, 除了炉温很高或工作条件十分恶劣的热处理炉外, 耐火层已大量采用体积质量为 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ 的轻质粘土砖和高铝砖。

近年来, 为了提高炉子的节能效果, 对轻质耐火材料进行了较多的研究改进, 开发出一种耐火度可达 1670°C , 最高使用温度 1250°C 、比热容 $0.88\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 、导热系数 $0.171 + 0.178 \times 10^{-3} t_{\text{cp}} [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$, 体积质量仅 $0.4\text{g}/\text{cm}^3$ 的漂珠超轻质高强度节能耐火砖。这种砖是利用电厂燃煤锅炉废渣(又称粉煤灰)中一种悬浮在水面上呈银白色的密闭中空的玻璃微珠为原料, 加上掺合料而烧制成的。由于其密度小、热导率较低, 且价格便宜, 故应用日益广泛, 常用作中温热处理炉炉衬。

英国开发了一种名为“Microtherm”的新型耐火材料, 制成超细微孔结构, 热导率比禁止空气还小, 其主要成分为 $\text{SiO}_2 64.68\%$, $\text{TiO}_2 31.9\%$, $\text{ZrO}_2 0.23\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 2.37\%$ 。其制品有两种类型, 普通型的最高使用温度为 950°C , 高温型的最高使用温度为 1250°C 。

随着可控气氛炉的发展, 在没有耐热钢马弗罐的可控气氛热处理炉内, 可控气氛直接与炉膛接触, 气氛中的 CO 、 H_2 等还原性气体会与耐火砖中的 Fe_2O_3 等金属氧化物发生化学反应, 导致砖体疏松、表面剥落, 同时, 反应生成的 H_2O 、 CO_2 等又会影响炉气成分的稳定。因此, 开发了 Fe_2O_3 含量低于 1% 的具有良好抗渗碳性能的粘土质和高铝质砖。轻质砖的抗渗碳性优于重质砖。

此外, 热处理炉还常用以下耐火制品。

碳化硅耐火材料, 是以 SiC 粉为原料, 以 10%~20% 的结合粘土或 5%~10% 的硅铁作结合剂, 搅合后压制成型, 经过烧结而成为耐火制品。它的荷重软化温度约为 1600°C , 导热性比普通耐火材料高出 5~10 倍, 在 1300°C 以上易于氧化, 也易于被碱性物质侵蚀而脆化, 特别硬脆, 导电性好。这种材料可用于高温炉炉底板、马弗罐等。

耐火混凝土是一种不定形耐火材料, 由耐火骨料、掺合料、水泥(胶结料)和适量的水混合均匀后再经成型、干燥、硬化等过程而制成整体炉衬, 如马弗罐、盐浴炉坩埚等。耐火混凝土按其用胶结剂的不同, 可分为铝酸盐、磷酸盐、硫酸盐和水玻璃等四种类型。热处理炉应用较多的是铝酸盐耐火混凝土。

为减少砌炉工作量, 提高炉衬性能, 还研制出高强轻质浇注料。如 QL 型高强轻质浇注料, 采用空心球莫来石作骨料, 主要特点是容重和导热系数较小, 节能效果显著, 主要用于 1450°C 以下的各种加热炉、电炉炉衬或用作轻质隔热层。其主要性能指标是: 体积质量 $1.0 \sim 1.6\text{t}/\text{m}^3$, 1000°C 热态耐压强度 21.3MPa , 1000°C 导热系数 $0.25 \sim 0.4\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ 。还有一种 SD-1 型耐火浇注料, 抗抗震稳定性好, 耐高温冲刷, 主要用于台车式热处理炉的台车工作面、台车封墙以及各种加热炉的挡火墙, 尤其是预制成型的各种大、中、小型烧嘴砖, 燃烧室炉拱, 寿命可提高 3~5 倍, 其主要成分: $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 75\%$, $\text{SiC} \geq 12\%$ 。在 1400°C 的

耐压强度为 10MPa, 800℃ 五次水冷后抗折强度为 8.2MPa。

除上述耐火制品外, 还有硅砖、镁砖、铬砖等。

俄罗斯开发了一种有良好隔热性能的多孔耐火材料, 其组分为二硼化铬(CrB_2)—刚玉($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), 它们是用金属热处理方法制得的, 可制成各种形式以适应不同的使用要求。

各种新型耐火和保温材料的开发, 正在各国方兴未艾。总的开发意图是, 进一步提高产品质量, 研制出能在更高温度下能抵御各种介质和气氛侵蚀、理化特性好、高温长期下工作仍能保持良好特性的新材料。

三、热处理炉砌砖泥浆

为提高炉衬砖缝的耐火度和强度, 以及其密闭性和使用寿命, 通常应采用与砖的成分和性质相近的耐火泥浆来填塞。

高铝砖一般用高铝质的结合粘土(未经烧结的粘土)作泥浆。

耐火粘土砖用粘土质泥浆, 通常由 70% 熟料和 30% 结合粘土配制的, 但这种泥浆加干燥后会收缩, 砖缝出现空隙, 故近年又开发出“气硬性”泥浆, 这种泥浆不必烘炉, 常温下即可使炉衬承受振动, 气密性很好, 散热损失小, 其常温凝固时间为 85~120s, 耐火度为 1690℃ 以上, 最高使用温度 1400℃, 粘结强度(105℃ 烘干 24h 后)最少达 0.6MPa。其化学成分为: $\text{SiO}_2 = 40\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 48\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1.3\%$, 添加剂适量。

矾土水泥耐火预制块可采用矾土熟料调和水玻璃(20%~30%)作为泥浆。

俄罗斯研制了一种名为“Термок”的粘结剂。这种热胶可用于各种炉衬的粘结, 其粘结强度不低于 1.0MPa。该胶特别适用于炉衬修补时难以操作的部位。这种粘结剂的各种组分均无毒。

第二节 保温材料及其进展

保温材料用于炉体外衬保温层起保温作用, 以减少炉体散热, 习惯上将常温下热导率小于 $0.23\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 的材料叫做保温材料。保温层的目的是要有效地减少炉壁的传热损失, 节约能源, 因此, 保温材料的发展方向是, 开发具有气孔率高, 体积质量小, 热导率低, 比热容小等特点的材料。高质量耐火纤维制品的研制是保温(也是耐火)材料的主要进展之一。

一、常用保温材料

目前, 热处理炉常用的保温材料有以下五种。

1. 矿渣棉及其制品

矿渣棉是熔融的矿渣经压缩空气喷吹而成的棉花状纤维物质, 纤维长度 2~60mm、直径 2~20 μm , 最高使用温度 600℃。一般是散料状态使用, 也可加工成砖块使用。

2. 硅藻土及其制品

硅藻土由 74%~94% 的无定型 SiO_2 和少量的粘土杂质组成。耐火度高于 1400℃, 最高使用温度为 900~950℃。通常制造成硅藻土砖使用。砖的密度通常分为 $500\text{kg}/\text{m}^3$ 、

600kg/m³、700kg/m³三种。也可以粉状使用。

3. 膨胀蛭石及其制品

蛭石俗称黑云母或金云母,主要成分为:SiO₂12%~40%,Fe₂O₃6%~28%,Al₂O₃14%~18%,MgO11%~12%,CaO1%~2%。加热到800~900℃时,蛭石中的水分蒸发,体积膨胀数倍,体积质量很小,具有良好的保温隔热性能。它的熔点为1300~1370℃,最高使用温度为1100℃。可以散料状态使用,也可以用水玻璃或高铝水泥作粘合剂制成砖或板等各种制品使用。

4. 膨胀珍珠岩

膨胀珍珠岩是火山喷出的酸性岩浆经急冷后所形成的珍珠岩矿石,其主要成分是SiO₂70%和少量的杂质。这种矿石破碎后,在高温下焙烧可膨胀成许多薄壳小颗粒,形同珍珠,体积密度小(60kg/m³),隔热保温性好,使用温度可达1000℃。可以散料态使用,也可用磷酸盐、水玻璃、水泥等作粘合剂制成各种形状的成品使用。近几年,珍珠岩保温砖因它的容重低、热导率低、节能显著之优点取代了硅藻土砖,尤受电炉厂家青睐。

各种保温制品的性能指标参见表1-1。

5. 微孔硅酸钙

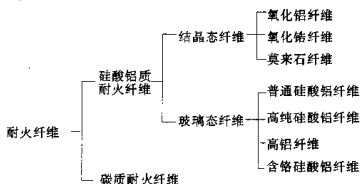
该制品密度为250kg/m³,热导率低,但最高使用温度仅650℃。

近来,美国还成功地开发出新的微孔耐火纤维,它是由约65%微孔氧化硅粉和约35%的TiO₂等金属氧化物组成的。容重一般为200~400kg/m³。可制成各种型式,以适应不同的使用要求。微孔耐火材料的主要优点是绝热性能比常用的矿物棉、耐火纤维及硅酸钙等强3~4倍,适用于固态传导、红外辐射、气相对流及分子传导的绝热。

二、耐火纤维及其制品

1. 发展情况

耐火纤维是一种新型的筑炉材料,它兼有耐火和保温两个方面的作用。根据成分不同,可分为硅酸铝、石英、氧化铝和碳素等多种耐火纤维,其大致可分类如下:



耐火纤维的发展很快,其品种将会日益增多。

普通热处理炉应用硅酸铝耐火纤维较多,而高温真空热处理炉应用石墨纤维较多。硅酸铝耐火纤维是将焦宝石或矾土于2000℃左右的电弧炉中熔化后,在其流出时用高压空气或蒸气喷吹成直径为2.8~10μm的散状纤维,形成纤维棉,可以直接使用,也可加工成毡、板、绳、砖等纤维制品使用。其主要成分是:Al₂O₃40%~63%,SiO₂37%~55%,余为微量

的金属氧化物杂质,其耐火度为 $1750\sim 1790^{\circ}\text{C}$,使用温度为 $1150\sim 1500^{\circ}\text{C}$,热导率 300°C 下为 $0.05\sim 0.07\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 400°C 下为 $0.07\sim 0.08\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 500°C 下为 $0.09\sim 0.15\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 1000°C 下为 $0.23\sim 0.31\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。体积质量为 $40\sim 90\text{kg}/\text{m}^3$ 。

硅酸铝耐火纤维的优点是耐热度高、密度小、热导率低、热容量小、化学稳定性和抗热震性好等,兼备耐火和保温性能,能减少炉衬厚度、蓄热和散热。结晶态纤维可在很高温度下使用。耐火纤维的主要缺点是,玻璃态纤维高温长期使用会重新结晶,降低使用温度;承受负荷能力小,抗高速炉气冲刷的性能差等。

当前,国内生产耐火纤维产品的厂家的当务之急,是努力提高纤维本身的质量。

在纤维表面涂一层耐火涂料,可以提高其抗风速和化学侵蚀能力。涂料由固体物质(高铝磨粉、短纤维或磨细的纤维粉末等)和调和剂(磷酸二氢铝、硅溶胶、甲基纤维素和水玻璃等)组成。为使耐火纤维便于安装和固定,常将其制成毡、毯、砖和可嵌入电热元件的成型砌块或成型炉膛等产品。

2. 耐火纤维制品的主要性能

目前,国产耐火纤维制品以毡为主,另外,还有复合毡、折叠毡以及真空成型壳体等。这些制品又分为低温型、中温型和高温型三种。通常,纤维中的 Al_2O_3 含量越高,其使用温度也就越高; Al_2O_3 含量相当的两种纤维,掺有 Cr_2O_3 成分的纤维的使用温度要更高一些。

硅酸铝耐火纤维的制造方法、主成分含量以及不同重烧收缩率时的温度如表 1-2 所列。

表 1-2 硅酸铝耐火纤维的制造方法、主成分和有关特性

序号	纤维类别	纤维名称	制造方法	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2}$ 含量/%	不同重烧收缩率时的温度/ $^{\circ}\text{C}$ (保持 8h)		
					最高使用温度	重烧收缩率为 2.5% 时的温度	长期使用温度
					4%	2.5% 时的温度	$\leq 2\%$
1	玻 纤	天然料乙等硅酸铝纤维(相当英国 TL 型)	连续熔喷吹法	$\frac{>36}{\text{不要求}}$	1050	950	850
		天然料甲等硅酸铝纤维		$\frac{45\sim 50}{\geq 97}$	1150	1050	950
2	中温型	纯料硅酸铝纤维(相当英国 T1 型)		$\frac{45\sim 52}{\geq 99}$	1260~1300	1130	1100
3	高温型	高铝硅酸铝纤维(相当英国 T2 型)		$\frac{60\sim 64}{\geq 99}$	1400~1500	—	1150~1200
		纯料含铬硅酸铝纤维		$\frac{>40\sim 46}{\text{Cr}_2\text{O}_3 = 3.5\sim 5.5}$	1480	1400	1200
4	结晶类	莫来石纤维(相当英国 T3)	胶体法	$\frac{71.8\sim 85}{/}$	1600	—	1300
		氧化铝纤维(英国生产)		$\frac{95}{/}$	1600	—	1400~1450

硅酸铝耐火纤维毡的主要性能如下。

1) 密度

干燥试样的质量与体积之比称为密度(ρ),单位为千克每立方米(kg/m^3)。耐火纤维毡

最常见的容重范围为 $120 \sim 140 \text{ kg/m}^3$ 。除某些壳体制品外,纤维制品的最大密度不应超过 400 kg/m^3 , 否则,用量增加,导热系数反而增高。

2) 导热系数

耐火纤维毡及几种保温材料的导热系数如图 1-1 所示。

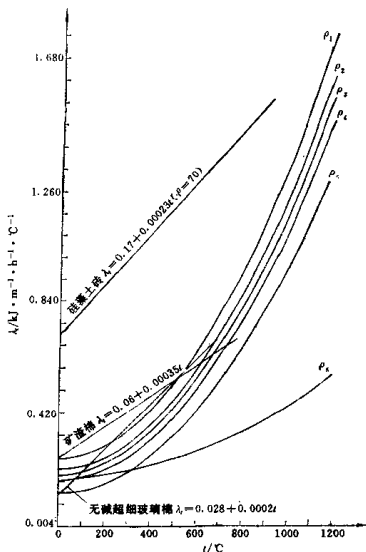


图 1-1 耐火纤维及几种保温材料的导热系数

$$\begin{aligned}\rho_1 = 100\lambda &= 0.060 + 0.263\left(\frac{t}{1000}\right)^2 & \rho_2 = 120\lambda &= 0.051 + 0.244\left(\frac{t}{1000}\right)^2 \\ \rho_3 = 130\lambda &= 0.046 + 0.234\left(\frac{t}{1000}\right)^2 & \rho_4 = 140\lambda &= 0.041 + 0.223\left(\frac{t}{1000}\right)^2 \\ \rho_5 = 160\lambda &= 0.030 + 0.204\left(\frac{t}{1000}\right)^2 & \rho_6 = 200\lambda &= 0.043 + 0.063\left(\frac{t}{1000}\right)^2\end{aligned}$$

对于一定质量的耐火纤维,其毡制品在相同的炉气中使用,当密度 $\leq 400 \text{ kg/m}^3$ 时,随密度增加,气孔的孔径逐渐减小,闭口气孔的比例逐渐增大,因而导热系数逐渐降低,但毡的价格越来越高;当密度 $> 400 \text{ kg/m}^3$ 时,密度越大,气孔越来越少,故导热系数逐渐增大。

此外,纤维越细长,气孔中介质含量越低,导热系数也变低。任一种纤维,高温阶段导热系数随温度上升的增长速度比低温阶段要快。

耐火纤维炉壁的导热系数因其铺设方法而异。层式炉壁的导热系数比叠式的约低20%。

用金属钉固定耐火纤维毡时,因热短路而会使炉壁导热系数增大,其他固定方法要好些。

3) 重烧收缩率

一定长度的耐火纤维毡在一定温度下保温8h后冷到室温,长度的不可逆变化量与加热前长度的比值,用百分率表示,即为该温度时的重烧收缩率。通常,随温度越高,保温时间越长,杂质含量越多,纤维越细,则重烧收缩率越大。当 Al_2O_3 含量高以及 Cr_2O_3 含量为3.5%~5.5%时,能有效地减小重烧收缩率。

4) 弹性

将纤维毡试样在某一温度下压缩到其原始厚度的90%、70%或50%,保持5min后卸压,7min后试样即充分回弹,恢复后的厚度与原始厚度之比的百分率即为该温度时的弹性。

压缩量越大,温度越高,受热时间越长,容重越小,则弹性越小,即永久变形越大。

5) 弯曲

冷态弯120°应不开裂。同样弯曲半径弯90°,600℃保温2h应不开裂。

6) 渣球含量

散棉或毡中渣球重量与试样重量比的百分率,通常应控制在5%以下。

3. 混合纤维制品

传统的硅酸铝纤维和高铝纤维是一种介稳状态物质,在高温下具有自发转变为晶体(微晶)的特性,并伴有放热和体积收缩的现象产生。随温度升高,析晶量会增加,晶粒长大,直至粉化。因此,这类纤维的长期使用温度一般不能超过1200℃。

用胶体法生产的多晶氧化铝纤维,不存在结晶过程,且能承受1600℃高温,但价格昂贵。为此,开发出混合纤维制品,可供高温炉在1300℃下长期使用,价格也便宜。

混合纤维制品是用高铝纤维和多晶氧化铝纤维按一定比例混合,经真空吸滤成型工艺制成的耐火纤维制品。多晶氧化铝纤维起骨架作用,高铝纤维起填充作用。高温下多晶氧化铝纤维线收缩率小,而高铝纤维分散于氧化铝纤维网架内,在这种结构下,即使高铝纤维线收缩率大于氧化铝纤维的线收缩率,也不会影响制品的整体尺寸。将混合纤维制成硬制品,更适合做电炉的炉衬。

混合纤维硬制品的性能为:密度280~320kg/m³,加热线收缩率(1400℃×24h)0.96%~1.2%,导热系数0.12W/(m·K),长期使用温度1350℃,主晶相为莫来石、 $\alpha-Al_2O_3$ 。该种纤维的颜色为白色。

用混合纤维砌筑的炉衬结构示意图如图1-2所示。炉衬内层为混合纤维硬板,中间层为高铝纤维毡,外层为硅酸铝纤维毡。这三层的长期使用温度分别为1350℃、1200℃和1000℃。

安装炉衬时,按要求切割、打磨成预定形状。炉底采用平铺法砌筑,炉墙采用搭接法,搭接处用高温粘接剂粘接,炉顶采用平铺法,内层与炉墙上平面用高温粘接剂粘接。

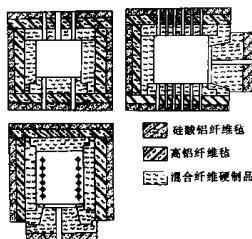


图 1-2 炉衬结构示意图

炉衬砌筑完成后,炉膛内表面涂一层高温涂料,以增强内表面的温度和耐磨性,然后接通电源,通电烘烤,烘烤温度控制在 120°C 以内。

第三节 炉用耐热材料及其进展

炉内构件,如炉底板、炉罐(马弗罐)、内罩、坩埚、料盘、导轨、炉辊等,由于要在高温下承受载荷,经受氧化、腐蚀、渗碳等化学作用,因而往往要用耐热钢或耐热铸钢制作。

一、应用情况

50 年代,炉用耐热材料主要是高镍铬钢(如 $3\text{Cr}18\text{Ni}25\text{Si}2$),它的焊接性好,并具有一定的高温强度和抗氧化性能。由于我国镍资源不足,60 年代以来,我国推广使用了不含镍或少含镍的 CrMnN 系列耐热钢,它的常温和高温强度不低于 $3\text{Cr}18\text{Ni}25\text{Si}2$ 钢,抗氧化性和渗碳性及耐急冷急热性都比较好,成本也较低,但其冷加工性和焊接性都较差。其铸钢件形体笨重,缩孔严重。鉴于它的价格比较便宜,至今国产热处理炉还有不少采用 CrMnN 钢。

此外,在生产中还有使用 $\text{Cr}24\text{Al}2\text{Si}$ 铸钢、中硅球墨铸铁和铝铸铁以及低碳钢渗钨等。

近年来,我国已开始生产和使用优质耐热钢 $3\text{Cr}24\text{Ni}7\text{SiN}$ 和 $3\text{Cr}24\text{Ni}7\text{SiNRE}$ 稀土耐热钢(简称 24—7NRE)。这种钢的性能超过了 $3\text{Cr}18\text{Ni}25\text{Si}2$,具有高的高温强度,较高的塑性和抗氧化性,组织稳定,能耐硫化作用和急冷急热,时效脆性较 $2\text{Cr}25\text{Ni}20\text{Si}2$ 小,同时还有较好的冷加工性、焊接性和铸造性。对于并式渗碳炉,若将上述 CrMnN 钢铸件改用 24—7NRE 钢板焊接,则耐热钢的总重量可减少 70% 左右,节省了材料和能源,经济效益十分显著。

几种常用耐热钢的成分及使用温度,以及 24—7NRE 钢的高温性能分别见表 1-3 和表 1-4。