# 結合瓷土與活性碳複合材料之研究與產品開發

沈俊良\*

# 摘 要

本研究選用 2 種瓷土以及 2 種活性碳,先用波長分散式螢光元素分析儀(WDS-XRF)進行這些瓷土以及活性碳之成分分析,再使用 pH 值測量計來檢測活性碳及不同水質之酸鹼值,以便選擇較適合之原料組合。本次研究之實驗設計是以瓷土分別添加 5、10、15、20% 之活性碳、水以及水玻璃(約佔泥漿總重量之 0.3%),以臥式球磨機及 3 公升陶瓷球磨罐進行研磨。藉由不同研磨時間與雷射粒徑分析儀來控制漿料粒徑,接著使用熱分析儀來確認不同漿料中活性碳之放熱反應以及含量。分別調製成不同配方之泥漿後,採用石膏模具成型方式製作成試片,烘乾後再利用碳掩埋方式以不同溫度燒製試片。隨後檢測試片之遠紅外線放射率、吸水率、礦物相以及微結構分析。結果顯示:最適合用來開發茶具之最佳配方為使用萬琛企業有限公司的 26 號瓷土添加 5% 的力晶活性碳有限公司的 HG-130 活性碳,經過研磨細化處理 15 小時,平均粒徑 (D50)可降低至 2  $\mu$ m,採用埋碳加蓋燒結 1220°C後,吸水率小於 5%,遠紅外線放射率達從波長 5  $\mu$ m 到 14  $\mu$ m 為 0.94。並且由 XRD 礦物相分析結果確認礦物相變化趨勢是有利於提高遠紅外線放射率的。最後採用 ICP 進行離子溶出實驗,確認產品溶出試驗於安全規範之內,以利後續之推廣。

**關鍵詞:**瓷土、活性碳、遠紅外線放射率、XRD 礦物相鑑定、ICP 溶出試驗

<sup>\*</sup>國立臺灣工藝研究發展中心副研究員。( shen@ntcri.gov.tw )

## 壹、前言

碳元素之原子序為6,原子量為 12.011,碳有結晶型碳例如鑽石、石墨 和無定型碳例如木炭、烟墨、骨碳、煤、 焦炭。碳具有多孔性、易吸收熱能與極 高釋放遠紅外線的能力(0.96)。活性碳 則更具有極高的比表面積,可作為絕佳 之過濾或吸附用材料。瓷土主要成分為 二氧化矽(SiO<sub>2</sub>)含量約為65~70%、三 氧化二鋁(A1203)含量約25~30%、助 熔劑如氧化納(Na20)、氧化鉀(K20)、 氧化鎂 (MgO) 以及氧化鈣 (CaO) 加總約 於 5~8%, 二氧化鈦(TiO2) 及三氧化二 鐵(Fe203)加總約於1%。一般瓷土於 1200℃燒成後形成之主要礦物相為鱗石 英、莫萊石以及玻璃相,其中莫萊石之 平均遠紅外線放射率高於 0.90;至於玻 璃相成分差異極大, 在燒結陶瓷內之玻 璃也不容易分析其成分,在文獻中接近 室溫參考之代表性數值為 0.92;而多晶 游離石英之平均遠紅外線放射率在接近 室溫測得之代表性數值為 0.79。若依加 成性推算由瓷土燒成之瓷器平均遠紅外 線放射率應小於 0.90。

活性碳既無黏性也無可塑性,不易以一般製程加工成型。若能將活性碳與陶瓷原料結合製成產品,不但具有可加工性以及著色之效果,並可提供更佳之遠紅外線放射率。一般物體的遠紅外線放射率定義為該物質的輻射能量和理想黑體的輻射能量,在同一溫度下的比

值,其數值介於 0 與 1 之間,是衡量材料輻射效率的指標,數值越高,代表物質發射輻射的能力越高,例如 0.90 的放射率意味著材料在輻射能量方面的效率為 90%,0.60 的放射率意味著材料在輻射能量方面的效率為 60%,所以高遠紅外線材料更有利於提高輸入能轉換成熱輻射能之效率。

根據水分子對光吸收之能譜圖,紫外光波段中大部分吸收;從近紅外波段到中紅外波段,水的吸收率升高,約於3  $\mu$  m~20  $\mu$  m 為最高峰;而到了遠紅外波段水的吸收率又呈現逐漸下降的趨勢。故高遠紅外放射率材質對於水分子會更容易產生吸收共振,進而細化水分子團而有助於細胞代謝、促進種子發芽與生長、提升茶葉之抗氧化能力、對人體表皮體溫及微循環皆有提升之效果。

# 貳、MDD 方法介紹

## 一、原料 pH 值測試

採用PH2100-pH meter,以pH4、7、10標準液校正後,量取不同活性碳粉各5克並加入50毫升自來水中,以磁石攪拌機攪拌至讀值穩定後取其讀值,並依序檢測實驗室自來水及逆滲透水之酸鹼值。

#### 二、原料成分分析

將 Fluxana 23 個 地 質 標 準 樣 品

(GEOMAJ 01~23),分別秤重1.00克, 與Fluxite GF-65硼酸鋰助熔劑10.00 克一起放入白金乾鍋內,充分攪拌後 滴入LiBr脫模劑溶液3滴,置入XRF Technology自動熔爐機製成建立檢量 線用玻璃片。用Bruker Tiger WDS-XRF建置好檢量線,最後用定量分析程 式分析以同樣方法製成之瓷土玻璃試 片;將活性碳秤重10.00克,滴入數滴 液體PVA,用研缽研磨均匀後倒入40mm 鋁杯,再用壓錠機壓成片狀,用加熱盤 100℃烘乾後,同樣使用Bruker Tiger WDS-XRF以50KV/20mA半定量掃描原料 之化學組成。

#### 三、球磨機研磨

先將瓷土烘乾3小時以去除水分。 再以傳統臥式球磨機及3公升球磨罐加入20mm、10mm與5mm氧化鋁球,再將1500克瓷土乾料外加600毫升自來水以及6.3克之水玻璃,分別研磨5、10以及15小時。

## 四、製作試片與測試用茶杯

採用上述步驟之泥漿後倒入試片石膏模具中,待其脫模乾燥後,再以鑽石切割機裁切成50x50mm 正方形厚度約6mm之實心試片,並烘乾後準備燒結。製作測試用茶具時則將泥漿倒入茶具石膏模具中,待其坯體厚度約2~3mm 時倒回泥漿、脫模、修坯、乾燥,最後再用

以下方式燒結。

#### 五、燒成曲線

將活性碳粉倒入氧化鋁坩堝底部約1公分厚,再將試片開始往上堆疊,試片之間也以少量碳粉隔開,避免燒成黏結不易分離;茶具組燒結時也同樣須隔離。最後用活性碳粉填滿整個坩堝並加蓋,置入電窯燒結。所採用之燒成曲線為4小時從室溫升溫至1200℃以及1220℃,並於最高溫段持溫30分鐘,以自然冷卻方式降溫。

## 六、DT/TGA 熱分析

採用 Seiko 6300 DT/TGA 熱分析儀,升溫速度為 20℃/min,最高溫度為 1050℃,並通入空氣於樣品室,測量瓷土以及添加不同比例活性碳之泥漿烘乾後之含水率、燒失量以及吸放熱反應等。

## 七、粒徑分析

使用 Malvern MASTERSIZER 2000A 雷射粒徑分析儀檢測原料及漿料的粒徑 分佈。輸入漿料或原料及水之折射率, 將試樣取適量投入測試用容器中,並開 啟超音波分散樣品,待試樣遮蔽率達到 12~15%之間後,啟動程式進行粒徑測 試。

#### 八、吸水率測試

將燒結後之試體,將試體投入純水中沸騰加熱1小時,待其冷卻至室溫後,以事先擰去多餘的水分的濕抹布,將表面水分擦乾後再秤重,並記錄為潮濕重量(W)。將所有試體放入烘箱,以105℃烘乾約1小時,自然冷卻後,取出分別秤重並記錄為乾燥重量(D)。帶入以下公式,分別求得其吸水率:吸水率=(W-D)/D\*100%。

#### 九、遠紅外線分析

使用和德科儀企業有限公司所製之遠紅外線分析儀 EMS302M,將設備至入恆溫箱中並設定為  $20^{\circ}$ 、測試時樣品加熱至  $34^{\circ}$  並保持恆溫狀態,波長範圍為  $5^{\circ}$   $14~\mu$  m,放入標準測試片待溫度穩定後讀其測值是否為  $0.950(\pm 0.015)$ ,若正常則放入受測樣品,同樣等其讀值穩定後記錄其放射率。

# 十、XRD 礦物相鑑定

將所有燒結試片以鑽石切割機切割 至適合尺寸,以超音波清洗後烘乾,採 用 Bruker D2 Phaser 分析,設定電壓 為 30KV,電流為 10mA,掃描速度為每 步 0.168 秒,每步步幅為 0.032°,範圍 從 5 度到 80 度。

### 十一、離子溶出實驗

取以上泥漿經成型、乾燥、埋碳燒結製成之茶杯,浸泡4%冰醋酸24小時,將浸泡後的液體倒入事先用去離子水沖洗的小燒杯,再用感應耦合式電漿光譜儀(ICP)-Horiba JY Ultima 2000以及Merck QC23多元素標準液稀釋來分析鉀(K)、鈣(Ca)、矽(Si)、 鎂(Mg)、鈉(Na)、鋁(Al)、鐵(Fe)、鎘(Cd)、鉛(Pb)等離子溶出濃度。

#### 十二、SEM 電子顯微鏡微結構分析

將已燒結試片置入陶瓷研缽底部, 用研缽棒輕輕敲碎,選取適合之碎片用 導電膠帶垂直固定於樣品台上,再用 Hitachi TM3000電子顯微鏡調整至適 當倍率來觀察樣品之斷裂面之微結構狀 態。

# 參、結果與討論

# 一、活性碳以及水質 pH 值分析結 果比較

表 1 為 2 種活性碳及不同水質 pH 值測試結果比較,其中 Koj i ma 活性碳偏酸性,力晶活性碳 HG-130 偏鹼性,故採用後者作為此次實驗原料,可作為中和酸性水質之用。同理,用自來水作為調製泥漿用水也比逆滲透水來的理想。

樣品名稱	pH 值
HG-130 <sup>1</sup>	10.91
Kojima²	2.34
自來水	7.20
逆滲透水	6.08

表 1 2 種活性碳及不同水質 pH 值測試結果比較

### 二、原料成分分析

採用 Bruker Tiger WDS-XRF 分別 分析萬琛企業有限公司的 26 號以及 31 號瓷土結果列於表 2。結果顯示:2種 瓷土成分相當接近,但是 26 號瓷土測 得二氧化矽 (SiO²) 為 61.73% 比 31 號 的 64.34% 低,表示 26 號瓷土的游離石 英含量比較少,但氧化鋁 (Al²O³)、氧 化鉀 (K²O) 以及氧化鈉 (Na²O) 含量比 較多,所以當這2種瓷土在同樣溫度燒 成時,26 號瓷土會形成比較多之玻璃 相。由於莫萊石 (mullite) 含有3個三 氧化二鋁 (分子量約 60),換算成重量百分 比,亦即莫萊石含有72%的氧化鋁以及28%的氧化矽,所以比較高的氧化鋁含量對合成莫萊石礦物相以及遠紅外線放射率會有幫助,故選擇26號土為此次實驗用原料(以下簡稱為瓷土);同樣用Bruker Tiger WDS-XRF全元素半定量分別掃描力晶活性碳HG-130以及Kojima活性碳列於表3。由於無法取得活性碳標準樣品,故活性碳樣品僅能使用半定量方式進行全元素成分掃描。力晶HG-130活性碳則可能因為含有比較多之鈉離子,故偏鹼性,具有中和酸性水質之效果,故選用HG-130活性碳(以下簡稱為活性碳)。

表 2 用 Bruker Tiger WDS-XRF 定量分析萬琛 26 號以及 31 號瓷土成分結果

雪	氧化物	Na <sub>2</sub> 0	MgO	$A1_2O_3$	$SiO_2$	$Fe_2O_3$	$K_2O$	Ca0	$TiO_2$	燒失量
2	26 號瓷土	0.97%	0.26%	24.51%	61.73%	0.74%	3.96%	0.51%	0.36%	6.95%
3	31 號瓷土	0.88%	0.29%	23. 34%	64. 34%	0.44%	3.11%	0.71%	0.15%	6.74%

力晶活性碳有限公司

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Kojima Chemical Co., LTD.

		Na	Mn	Fe	Si	S	Р	K	Ca	Тi	C 1
HG-1	.30	0.15%	0.01%	0.34%	0.19%	0.17%	1.30%	0.08%	0.26%	0.01%	0.11%
Koji	ma	N D	0.02%	0.44%	ΝD	0.05%	1.25%	0.06%	0.27%	0.02%	0.10%

表 3 用 Bruker Tiger WDS-XRF 半定量掃描力晶活性碳 HG-130 以及 Kojima 活性碳成分結果,N D 為未檢出

## 三、DT/TGA 熱分析結果

圖 1 為瓷土添加不同比率活性碳之 泥漿烘乾後之 DT/TGA 熱分析結果。綠 色線代表吸放熱反應,往上為放熱反 應,例如有機物受熱裂解、碳燃燒以及 晶相生成反應;往下為吸熱反應,例如 水分加熱變成水蒸氣釋出,或者碳酸物 內之二氧化碳釋出,或者由固體到液 體、液體到氣體等相變化皆為吸熱反 應;藍色線則為重量損失百分比。烘乾 後之瓷土之少量水分(含水率)釋出為 吸熱反應,而瓷土內之高嶺土之分子結 構內水分子於 500℃~550℃分解也是吸 熱反應,最後約於1000℃有莫萊石相 生成放熱反應;添加5%活性碳之瓷土 泥漿中之分子結構水釋出反應,與活性 碳燃燒放熱反應約於 500℃重疊,最後 於 750℃之重量損失才持平穩定,故其 含水率、分子結構水以及活性碳含量加 總為 12.02%,活性碳含量則為 12.02%-7.31%=4.71%。 同 理 可 得: 含 10%、 15%、20%活性碳泥漿之活性碳含量分別 為 9.57%( 少了 0.43%)、12.66%( 少了 2.34%) 以及13.49%(少了6.51%),亦 即添加越多活性碳,其落差越大。現以 添加 20% 活性碳樣品為例探討如下:如 果全部反應成碳化矽需要約 47% 的矽原子,相當於 100% 的石英,石英明顯不夠,故瓷土內之游離石英以及高嶺土都可能被過多的活性碳催化分解還原並於 436℃提前生成碳化矽 (分子量約 40),此放熱反應比高嶺土釋出水之吸熱反應早發生且重疊,而在逐漸升高溫度時發生氧化反應,而轉換回石英相 (分子量約 60),因為重量增加,最後導致重量損失不如預期。添加 15% 以下活性碳者因還原作用不強,故以上碳化矽生成者因還原作用不強,故以上碳化矽生成反應不會提前發生,而與碳放熱反應重疊,碳化矽生成量也隨活性碳量減少而減少。

當活性碳增多,放熱反應越明顯,圖中綠色放熱線於 $617\sim632$ ℃前後約100℃範圍之積分面積與活性碳添加量的確呈現正比關係( $380.95 \rightarrow 1122.08 \rightarrow 1531.22 \rightarrow$ 1553.54 $\mu$ v·s/mg),所對應之重量損失也越高,而於500℃左右的吸熱反應也因為瓷土含量減少而變小。由此可證明漿料中活性碳含量確實依配比存在。

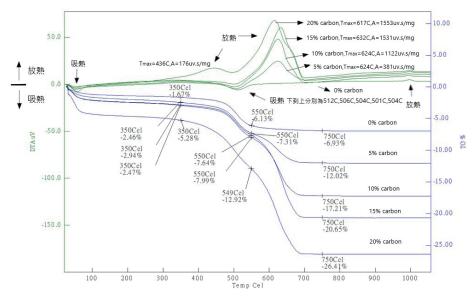


圖 1 瓷土添加不同比率活性碳之泥漿烘乾後之 DT/TGA 熱分析結果

## 四、雷射粒徑分析結果

圖 2 以及表 4 為未研磨瓷土(紅線)、未研磨活性碳(綠線)、含活性碳 5% 研磨 5 小時(藍線)、10 小時(橘線)、15 小時(紫線)、以及含活性碳 10%(淺綠線)、15%(淺橘線)、20%(淺藍線)分別研磨 15 小時之雷射粒徑分析結果。平均粒徑(表示為 D50\*)由大至小依序分別為未研磨活性碳 (D50=23  $\mu$ m)、未研磨瓷土(D50=6  $\mu$ m)、含活性碳 5% 研磨 5 小時 (D50=3  $\mu$ m)、研磨 10 小時 (D50=3  $\mu$ m)、含活性碳 10% 研磨 15 小時 (D50=2  $\mu$ m)、

以及所有研磨15小時的漿料  $(D50=2\,\mu\mathrm{m})$ 。由此結果得知:5%活性碳研磨5小時,最小與最大顆粒約於0.25~35 $\mu\mathrm{m}$ 之間;5%活性碳研磨10小時,最小與最大顆粒約於0.25~25 $\mu\mathrm{m}$ 之間;研磨15小時之所有活性碳漿料中之平均粒徑皆為 $2\,\mu\mathrm{m}$ ,最小與最大顆粒約於0.25~10 $\mu\mathrm{m}$ 之間,分佈變為較為集中。而且其D75依序從添加5%、10%、15%、20%活性碳分別為 $3\,\mu\mathrm{m}$ 、 $3\,\mu\mathrm{m}$ 、 $4\,\mu\mathrm{m}$ 、 $4\,\mu\mathrm{m}$  、 $6\,\mu\mathrm{m}$ ;D90分別為 $4\,\mu\mathrm{m}$ 、 $4\,\mu\mathrm{m}$  、 $4\,\mu\mathrm{m$ 

<sup>\*</sup> D50: 一個樣品的累計粒度分佈百分比達到 50% 時所對應的粒徑。亦即粒徑大於它的顆粒佔 50%, 小於它的顆粒也佔 50%; D90: 一個樣品的累計粒度分佈百分比達到 90% 時所對應的粒徑。亦即粒 徑大於它的顆粒佔 10%,小於它的顆粒佔 90%。

可能是因為過多活性碳引起緩衝作用,研磨效能降低,越不容易被磨細所造成。由於未研磨之活性碳平均粒徑高達  $23\,\mu\mathrm{m}$ ,最粗顆粒也接近  $100\,\mu\mathrm{m}$ ,容易產生不均匀以及堆積密度偏低之現象。

藉由加長研磨時間之方式可使漿料細化、均質化而且粒徑分佈範圍變小,堆 積排列會比較緊密,可有效縮短燒結路徑,降低燒結後之孔隙率以及增加燒結 後之體密度。

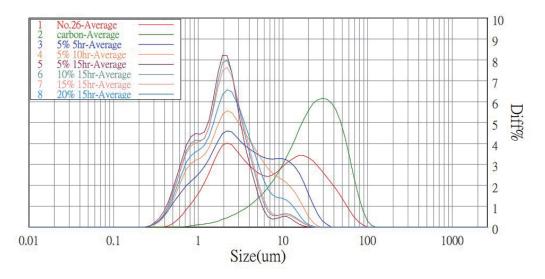


圖 2 瓷土(紅線)、活性碳(綠線)、5%碳研磨 5 小時(藍線)、5%碳研磨 10 小時(橘線)、5%碳研磨 15 小時(紫線)、以及 10%碳(淺綠線)、15%碳(淺橘線)、20%碳(淺藍線)分別研磨 15 小時之雷射粒徑分析結果

表 4 本研究所採用活性碳、瓷土以及不同活性碳含量之泥漿在不同研磨時間下之粒徑分析結果

樣品名稱	D03	D06	D10	D16	D25	D50	D75	D90	D99
5% 研磨 5hr	1	1	1	1	2	3	8	14	24
5% 研磨 10hr	1	1	1	1	1	3	5	10	18
活性碳未研磨	3	4	6	9	12	23	38	55	84
瓷土未研磨	1	1	1	2	2	6	17	32	63
5% 研磨 15hr	0	1	1	1	1	2	3	4	11
10% 研磨 15hr	1	1	1	1	1	2	3	4	13
15% 研磨 15hr	0	1	1	1	1	2	3	4	13
20% 研磨 15hr	1	1	1	1	1	2	4	6	15

# 五、活性碳添加量以及燒成溫度對 吸水率之影響

圖 3 為瓷土添加不同活性碳含量加水及水玻璃,使用球磨機研磨 15 小時、經過注漿成型、烘乾並埋碳燒結後之吸水率測試結果。其中藍色線為 1200℃,橘色線為 1220℃。明顯地,吸水率與活性碳添加量成正比,與燒結溫度成反比。其中以添加 5% 活性碳在 1220℃燒結者其吸水率在 5% 以下,製成試驗用茶杯不會產生立即滲水之狀況,比較適

合用來作為後續茶具開發運用。活性碳在還原氣氛中為耐火材料,且不與瓷土顆粒產生燒結作用,故可視為為燒結抑制劑,亦即在高溫燒結時,原本相鄰瓷土顆粒之間之共熔液相被活性碳顆粒阻隔,只能圍繞活性碳顆粒周圍移動,因為無法與碳顆粒結合,2者界面會存在孔隙,所以添加越多之活性碳會導致坯體之孔隙增多,越不容易燒結成緻密體。當燒結溫度提高時,更多液相產生,黏度降低且移動速度加快,2者界面孔隙變小,故吸水率降低。

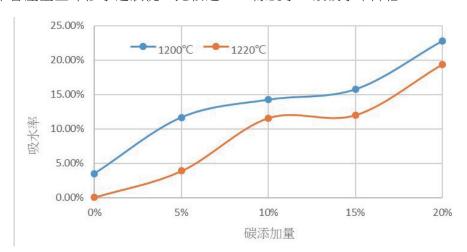


圖 3 瓷土添加不同活性碳含量用球磨機研磨 15 小時調製成之泥漿,經過成型、乾燥、 埋碳燒結後之吸水率測試結果

# 六、遠紅外線放射率與活性碳添加量之關係

瓷土添加不同活性碳含量製成之試 片所測得之遠紅外線放射率之結果,顯 示於圖 4 以及表 5。由結果可知:瓷土 無添加活性碳者其遠紅外線放射率與燒 結溫度成正比。瓷土添加 5% 活性碳在 2 種溫度燒結皆可大幅提升遠紅外線放射率接近 0.94。另外不同活性碳添加量之遠紅外線放射率 1220℃燒成者略低於 1200℃燒成者,這些和氣孔率高低、表面玻璃相增多或減少、以及表面粗糙度等狀態有關,然而其變動幅度也還在儀器誤差範圍內。

活性碳添加量	0%活性碳	5%活性碳	10% 活性碳	15% 活性碳	20% 活性碳
遠紅外線放射率 -1200℃	0.703	0.939	0.928	0.939	0.947
遠紅外線放射率 -1220℃	0.899	0.940	0.933	0.928	0.933

表 5 瓷土添加不同活性碳含量之試片以 1200°C 以及 1220℃燒結後所測得之遠紅外線放射率之結果

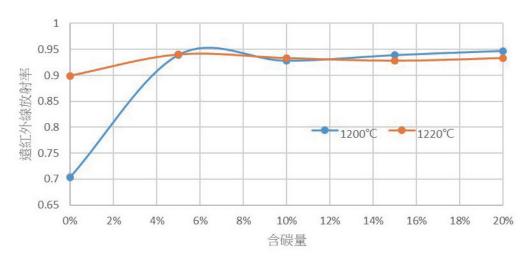


圖 4 添加不同活性碳量含量之瓷土試片分別以 1200℃及 1220℃燒結後所測得之遠紅外線放射率之結果

# 七、燒結後礦物相變化與活性碳添 加量之關係

圖 5 為瓷土分別以 1200 ℃、1220 ℃ 在空氣中燒成,以及添加不同活性碳含量之瓷土試片以 1220 ℃ 埋碳燒結後所測得之 XRD 礦物相鑑定之結果。由上而下依序分別為瓷土以 1220 ℃ (紅線)、1200 ℃ (紫線)空氣中燒成、瓷土添加活性碳 20% (綠線)、15% (藍線)、10% (黑線)、5% (淺藍線)以 1220 ℃埋碳燒成。圖中可知,所有試片都含有常見的石英(jcpds89-1961,圖 5中標示為 Q)、莫萊石(jcpds79-1455,圖 5中標示為 M)、以及鈉長石

 內,對遠紅外線放射率也會有貢獻。石 英約於2日角20.7度處為其第二大之繞 射峰,鈉長石則約於2日角28度處為 其最大之繞射峰。明顯地,石英與鈉長 石含量與活性碳添加量成反比之趨勢。 因為2者來源為瓷土,瓷土含量因添加 活性碳而降低,當然石英與鈉長石也降 低。然而也可能在強還原作用下而也有 部分轉變成玻璃相,由半定量結果也顯 示:玻璃相含量與活性碳添加量成正比。 另外在20角度約為44.6度處產生小 量的碳化矽(jcpds77-1084, 圖 5 中標 示為 S)。根據文獻,石英的遠紅外線放 射率為最低,而碳化矽之遠紅外線放射 率高於 0.83, 鈉長石之遠紅外線放射率 也高於石英,所以當其被轉換成玻璃相

或碳化矽時,整體趨勢有利於提高遠紅 外線放射率的。

至於瓷土添加 10%以上的活性碳試 片之遠紅外線放射率沒有明顯增加,可 能主要取決於氣孔率,而氣孔率與吸水 率成正比。因為當氣孔率逐漸增加,越 易形成熱阻絕性材料,造成遠紅外線放 射率測試時,表面越無法達到 34℃, 根據斯特凡-波茲曼定律 (Stefan-Boltzmann law):一個黑體表面單位 面積在單位時間內輻射出的總能量與黑 體本身的絕對溫度的四次方成正比,故 其熱幅射效率會降低。但是因為活性 碳、玻璃相增加以及石英相減少等因 素,使得遠紅外線放射率數值能夠維持 穩定。

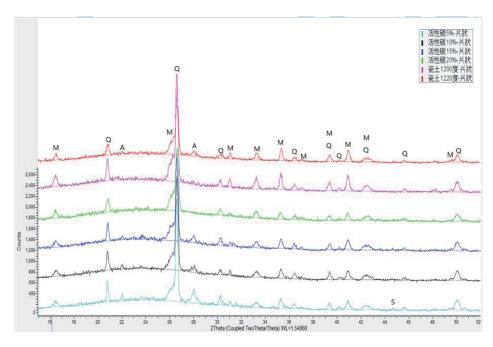


圖 5 瓷土分別以 1200℃、1220℃在空氣中燒結以及不同含活性碳量瓷土試片以 1220°C 埋碳燒結後所測得之 XRD 礦物相鑑定之結果

## 八、SEM 電子顯微鏡微結構分析結果

圖 6~9 為使用瓷土分別添加活性碳 5%、10%、15% 以及 20% 經過成型、乾燥以及用 1220  $^{\circ}$  埋碳燒結後之試片截面顯微結構。於圖 6 中較淺色區域為燒結瓷土,深色部分為活性碳顆粒或孔洞,孔洞直徑皆小於  $10~\mu$ m,並形成不連續之孔洞結構,做成茶具類器皿比較不容易產生滲水之現象。由圖 7、8、9 可見

活性碳顆粒過多形成連續孔洞,孔洞數量與活性碳添加量大致上成正比,其原因如吸水率測試結果所述,皆不適合製成茶具器皿使用,反而比較適合作為過濾性材料使用,可進一步發展成為極有潛力之活性碳與陶瓷複合材料濾心,兼具過濾與處理水質之功能。

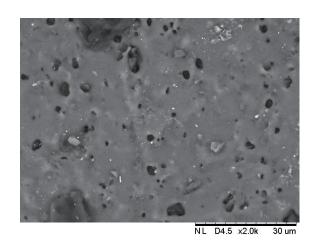


圖 6 瓷土添加 5% 活性碳燒結後之試片截面顯微結構

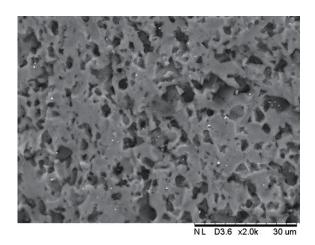


圖 7 瓷土添加 10% 活性碳燒結後之試片截面顯微結構

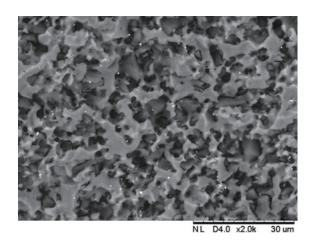


圖 8 瓷土添加 15% 活性碳燒結後之試片截面顯微結構

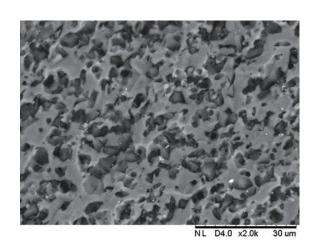


圖 9 瓷土添加 20% 活性碳燒結後之試片截面顯微結構

# 九、產品研發

使用 95% 的瓷土添加 5% 活性碳, 採用石膏模具及注漿方式成型、烘乾後

於1220℃埋碳燒結,其吸水率小於5%, 遠紅外線放射率高達 0.94 之各種茶具 組如圖 10。



圖 10 使用 95% 的瓷土添加 5% 之活性碳,採用注漿方式成型、烘乾後於 1220℃埋碳燒 結製成之茶具組

## 十、ICP 溶出試驗

選取上述茶具組之茶杯,用 4% 醋酸浸泡 24 小時之後,再用 ICP 分析鉀(K)、鈣(Ca)、矽(Si)、鎂(Mg)、鈉(Na)、鋁(Al)、 鐵(Fe)、 鎘(Cd)、

鉛(Pb)等元素溶出結果列於表 6。從表中可知有些微量元素釋出,最高為鈣達 0.205ppm,其次矽為 0.044ppm、鎂為 0.022ppm、鉀為 0.013ppm,其餘元素釋 出極少,而且鉛與鎘溶出試驗也符合規範。

表 4 本研究所採用活性碳、瓷土以及不同活性碳含量之泥漿在不同研磨時間下之粒徑分析結果,單位為  $\mu$  m

單位:ppm	鉀(K)	Ca(鈣)	Si(矽)	Mg(鎂)	鈉 (Na)	鋁(Al)	鐵 (Fe)	Cd(鎘)	Pb(鉛)
溶出量	0.013	0.560	0.405	0.135	1.064	N. D.	N. D.	N. D.	0.12
背景值	N.D.	0.355	0.361	0.113	1.062	N. D.	N. D.	N. D.	0.02
淨值	0.013	0.205	0.044	0.022	0.002	N. D.	N. D.	N. D.	0.10
規範	-	-	-	-	-	-	-	0.5	5
備註	-	-	-	-	-	-	-	合格	合格

## 肆、結論

一、本研究採用 DT/TGA 熱分析來檢測 瓷土加入活性碳漿料之吸放熱反應 以及重量損失變化。結果發現當活性碳增加,放熱反應越明顯,吸放 熱線於 617~632℃前後約 100℃範 圍之積分面積與活性碳添加量呈現 正比關係,所對應之重量損失也越高,而於500℃左右的吸熱反應也因為瓷土含量減少而變小。但在活性碳含量部分發現添加越多活性碳,其熱重損失量落差越大。可能是因為在低溫時形成碳化矽,於逐漸升高溫度時轉換回石英相時分子量增加所導致。由此可證明漿料中活性碳含量確實依配比存在。

- 二、本研究採用球磨機將瓷土與不同比率活性碳混合而成的漿料研磨 15小時,可控制平均粒徑在 2 μm 左右。用石膏模具製成生胚,經烘乾後以埋碳方式分別燒結 1200℃以及1220℃成為試片。由試片吸水率測試結果顯示:吸水率與活性碳添加量成正比,與燒結溫度成反比。
- 三、在瓷土添加 5% 活性碳於 1220℃埋碳燒結試片之微結構中,觀察到不連續之孔洞結構,孔洞直徑皆小於 10 μm,做成茶具類器皿不會產生滲水之現象。添加更多活性碳會造成孔洞數量過多,皆不適合製成茶具器皿,但可作為過濾性材料使用。
- 四、由 X 光礦物相鑑定結果可知:燒成 試片之石英相含量與活性碳添加量 成反比之趨勢,所減少的含量轉變 成玻璃相以及小量的碳化矽,故整 體礦物相改變趨勢有利於提高遠紅

外線放射率的。添加 10% 以上活性 碳之試片之遠紅外線放射率沒有明 顯提高,可能是因為氣孔率增加所 導致。

- 五、遠紅外線放射率測試結果發現:瓷 土添加5%活性碳即可大幅提升遠 紅外線放射率至0.94。高遠紅外 線放射率有利於提高熱輻射能之效 率。
- 六、本研究已成功地將活性碳與瓷土結 合製成茶具組,使用 ICP 進行鉛、 鎘溶出試驗也符合規範,極為適合 日後之推廣。

# 參考文獻

- 王箴主編(1994)。《英漢化工大辭典》,頁 16、146、419。
- 任衛等編著(1999)。《紅外陶瓷》,武漢工業大學出版社,頁10、170。
- 林永昇等,高效能遠紅外線陶瓷粉末之材料特性與生物效應,**《科儀新知》**,(28) 6: 60-67。
- 食品器具容器包裝衛生標準第六條,中華民國一零二年四月九日署授食字第 1021300776 號 令 修 正, 取 自 http://www.aaci.org.tw/news/1020415-102066.pdf
- 斯特凡-波茲曼定律,取自 https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%96%AF%E7%89 %B9%E8%97%A9%EF% BC % D%E7%8E%BB%E5%B0%94%E5%85%B9%E6%9B%BC%E5%AE% 9A%E5%BE%8B
- 樊夢麗等,近紅外光譜水光譜組學, Progress in Chemistry, 2015, 27(2/3): 243。
- Bacto Laboratories Pty Ltd (2005) IR Thermometers & Emissivity Tables www.bacto.com.au
- Emissivity coefficients common products, 取 自 https://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d447.html
- Laboratory emissivity spectra of feldspars associated with sodiccalcic alteration and country rock lithology. Spectra are from the ASU TES Library (Christensen et al., 2000).,取 自 https://www.researchgate.net/figure/Laboratory-emissivity-spectra-of-feldspars-associated-with-sodiccalcic-alteration-and\_fig8 2823 26669
- Table of Emissivity of Various Surfaces,取自 <a href="https://www.transmetra.ch/images/transmetra\_pdf">https://www.transmetra.ch/images/transmetra\_pdf</a> /publikationen literatur/pyrometrie-thermografie /emissivity table.pdf
- W. D. Kingery, H. K. Bowen, D. R. Uhimann(1976), Introduction to Ceramics (2nd ed.), pp. 300°

# Study of the Porcelain with Active Carbon Composites and Products Development

Jyung-Lyang Shen \*

#### **Abstract**

In this study, 2 different porcelain clays and activated carbons were compared and selected by using the WDS-XRF and a pH meter. Slurries were prepared by adding different amount of activated carbon water and sodium silicate into the porcelain clay, and ground with a ball mill machine. Grinding time and laser particle size analyzer were utilized to control the particle size. Then use DT/TGA to analyze the slurries' reaction and carbon's content. The specimens were formed by slip casting using plaster of Paris, and then fired at different temperatures using charcoal burying method, followed by the far-infrared emissivity water absorption XRD and SEM microstructure analyses. The results showed that the best formula for the development of tea sets is using porcelain clay containing 5% of activated carbon. After being sintered at 1220°C, the water absorption rate of the specimen is less than 5%, and the emissivity is 0.94. Besides, the results of XRD analysis confirm that the change of mineral phase is conducive to improving the far-infrared emissivity. Finally, ICP was used to carry out ions dissolution experiment to confirm that the product dissolution tests are within the safety specifications which will facilitate the subsequent promotion.

**Keywords:** Porcelain clay, activated carbon, emissivity, XRD mineral identification, ICP dissolution test.

<sup>\*</sup>Associate researcher, National Taiwan Craft Research and Development Institute. ( shen@ntcri.gov.tw )