

適用於工廠設備機器的熔射

一、前言

熔射被應用於各種工業，而成爲重要的加工技術。熔射能在各種母材表面形成的熔射層具有防銹、防蝕、耐熱性、耐磨耗性、電氣絕緣性、電氣傳導性……等的機能賦與。

熔射材料能作爲賦與其機能性目的之材料有金屬（合金）陶瓷及各種的混合物（金屬陶瓷）等很多的材料，單體或複數以上的組合，也能熔射施工，無論廠內或是現場施工都可以，被加工物的大小、熱影響，全面或局部的腐蝕和磨耗而成爲減少原來尺寸的損傷……等，也很輕易的復原補修，具有多樣化的加工技術。

對工廠設備機器的熔射適用，防銹爲目的之自然環境和防蝕爲目的之人工環境條件有很大區別，因爲自然環境可依各地區域的不同，熔射條件上大致比較單純。熔射對自然環境有AWS和BS規格等表示很容易了解與明白。工廠設備之類的內部環境條件，包含機器的不同爲參考之依據，熔射材料和加工方法的錯誤，不僅熔射層的破損，也導致母材的損壞，還有依照一些非實際的推理、文獻……等，好像和它一樣的熔射施工在使用中得到破損失敗的可能性也很大。當然對工廠設備的熔射適用，熔射材料的其諸性質、環境條件加工物、加工方法等最適合有把握的方法，而且基於實際熔射方式和材料的經濟性及附加機能，因此不得不期待。

二、防蝕熔射的對應方式

大氣、水、海水、土壤……等爲自然環境、其他設備之類利用人工加熱、流動（攪拌）、化學藥液的反應狀態爲人工環境來區分，防蝕熔射的對應方法表1示之。用於自然環境的橋樑、水門、（鐵骨）鋼結構建築、通信塔等。一般的陰極防蝕都用鋅、鋁熔射。最初到必要補修10年～20年，推薦的熔射規格表2、表3摘錄參考。

這個時候熔射厚度爲0.1 mm ~ 0.2 mm (100 μm ~ 200 μm) 在其上面封孔處理和塗裝（塗上顏色）。防銹是個重要的工作、自然環境更嚴苛的時候，皮膜（熔射層）的厚度當然須要增加，封孔處理後的塗裝厚度也是要增加，但是在環境經常變化的時候反而很容成爲熔射層的剝落的弊端。譬如熔射後沒有封孔處理時，海岸地帶的熔射層表面受污染變黑，如果有腐蝕性物質發生，皮膜和母材境界會起腐蝕作用，皮膜的剝離等就會發生。然而，自然環境用於防銹熔射的規定脫脂、脫污垢和粗而化的噴砂，熔射材料和熔射層、封孔劑，還有其它的熔射作業條件、工程管理、品質管理的施工是很重要。

人工環境的設備機器，材質和構造及壓力和溫度、液體（化學藥液）條件的不一樣。自然環境以炭鋼爲主，人工環境中有炭鋼、低合金鋼、不銹鋼到高級材料，作爲能比母材更具有耐久性熔射材料選擇之依據。

表 1 防蝕熔射的對應方法

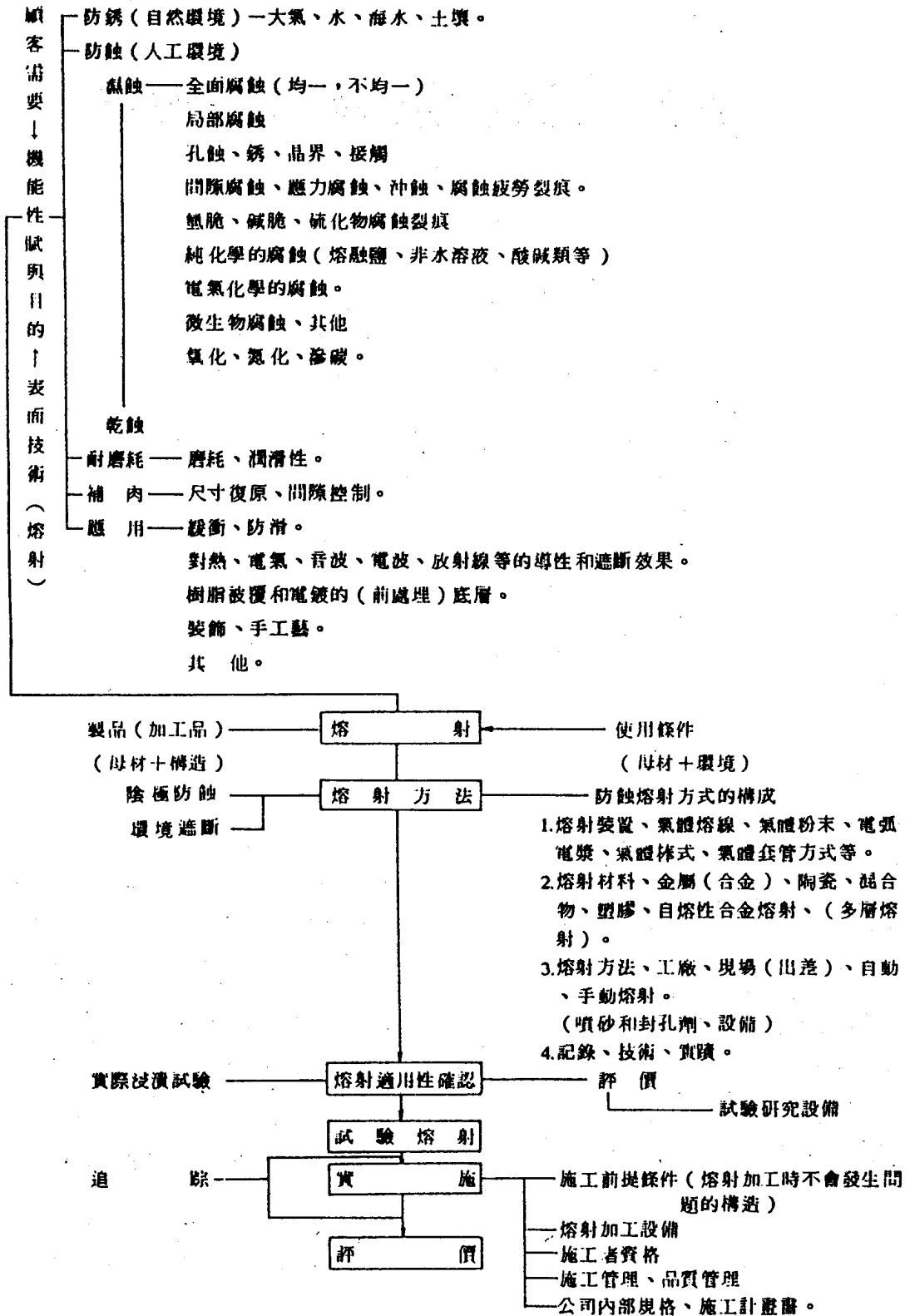


表 2 BS 5493 2569

環 境	熔射 (方法) 規格	補修時間
無污染內陸	鋅或鋁 (150 μm) + 封孔處理	20 年以上
污染內陸	鋅或鋁 (150 μm) + 封孔處理	同 上
無污染海洋	鋅或鋁 (150 μm) + 封孔處理	同 上
普通乾燥地方	鋅或鋁 (100 μm)	同 上
屋內潮濕地	鋅或鋁 (100 μm) + 封孔處理	同 上
淡水環境	鋅或鋁 (150 μm) + 封孔處理	同 上
海水濺沫地帶	鋅 (300 μm) 或 鋁 (150 μm) + 封孔處理	同 上

[附錄] 鋅：99.5% 鋁：99%

封孔劑、鋁靛青液：10 ~ 20 / 瀝青液，其他封孔劑
(10 ~ 20 鋁粉 / 柏油)

⊙ 液酚樹脂
⊙ 液環陽樹脂
⊙ 液 P U 樹脂
⊙ 矽樹脂

表 3 AWS C-2, 2-67, C-2, 3-54 T 推薦

環 境	溶 射 方 法	須要補修年限
田園之大氣	鋅 (75 μm) 或 鋁 (100 μm) + PR + AV (1 道)	AWS 參照 12 年 19 年年的侵漬實 驗
槽內鹽水 PH6.5 以下	鋁 (150 μm) + PR + CV (2 道)	
槽內淡水 PH6.5 以下	同 上	
槽內淡水 PH6.5 以上	鋅 (250 μm)	
船、甲板、船台	鋁 (150 μm) + PR + AV (1 ~ 2 道)	
海水中之物	鋁 (150 μm) + PR + CV (1 ~ 2 道)	
魚槽、槽類	鋁 (150 μm) + PR + CV (2 道)	
船底污水內部	鋁 (150 μm) + PR + CV (2 道)	
鋼樁 (水中)	鋁 (150 μm) + PR + CV (2 道)	
鋼樁 (水線上)	鋁 (150 μm) + PR + AV (2 道)	
高鹽分高濕大氣	鋁 (150 μm) + PR + AV (1 道)	
低鹽分 大氣	鋁 (100 μm) + PR + AV (1 道)	

附錄：鋅 99.9% 鋁：99.0% AV：鋁乙烯

PR：磷酸 4% 以下的代銹底漆

CV：透明乙烯

其它：PVB、環陽乙烯等。

其熔射材料有鎳 (Ni) 鉻 (Cr) 合金、鎳鉻合金、鈦 (Ti) 鈮 (Nb) 鉭 (Ta) 等高級耐蝕材料到陶瓷。但是熔射材料的選定，基於每個環境的不定變化，因此熔射方法的推薦到決定，以浸漬試驗或樣品試驗（能夠熔射適用的確定）是必要。

工廠設備機器構造材料，金屬（合金）等耐蝕表和文獻到機器設計製作可以引用對應。熔射時表 4 和表 5 有各種金屬（合金）熔射皮膜形成的熔射材料和熔射層自然電極電位的不同。還有，熔射熔融之熱源和熔射方法，因此也可以變化。陰極防蝕是熔射層比母材低電位的時候，熔射層成爲犧牲陽極保護母材，由於腐蝕環境條件耐用年數也有變化。另一方面，比母材高級的熔射層都用於環境遮斷的防蝕，但是母材暴露時，而成爲母材犧牲的損傷。熔射施工程序和前面

敘述一樣，熔射層和母材之關係（因電位之不同）及熔射層和腐蝕環境（形成不會腐蝕皮膜），所以塗上封孔劑的母材不會暴露出才是重要的關鍵。

一般從金屬耐蝕表裡的低價鋼鐵製品，熔射高級耐蝕材料，但是對濕蝕的腐蝕環境沒有預測而導致母材的損傷也有。如何（防止）預防這個事故的發生，可從機器材質和構造類似的試驗試片，用於試驗條件時也要預想實際使用時發生應力和腐蝕環境類似的熔射試驗（浸漬和實驗試驗，熔射適用性確定）進行或者在機器裡放入試片預測應力加以評估的方法。還有更值得信賴的適用試驗，就是在器具內進行局部的熔射試驗，經過觀察的方法也有。這是器具內無法放置試片的構造器具之類都予以採用爲多。表 6 主要是工廠設備採用的防蝕熔射例。

表 6 化學裝置的防蝕熔射例

名稱	損傷發生位置	損傷形態	防蝕熔射方法
塔槽類	分解反應	本體內部等	全面腐蝕 沖蝕、銹蝕 應力腐蝕裂痕、(氫蝕) (ブリストア、露點腐蝕等)
	蒸溜、蒸發 吸收、抽出		Ni-Cr-Mo Ni-Cr, Ni-Al Ni-Cr-TiO ₂ 等合金
交換器	凝縮器	傳熱管、管板、銅	全面腐蝕
	冷却器 深冷器		孔蝕 應力腐蝕裂痕
燃燒設備	加熱爐	管支架、反射管(コーン)等	(バメジコワム シク)
	鍋爐	加熱器	硫酸、露點腐蝕
	燃燒爐 トンネル	輻射部過熱管 磚裂、爐框、(目的)	高溫氧化、氮化、碳化 (ホトズボト)(目地割水)
機械	唧筒	葉輪、軸、套筒	沖蝕、腐蝕
	鼓風機	葉輪、套筒	高溫腐蝕、磨損
	壓縮機	汽缸、活塞、軸	磨耗、全面腐蝕
	攪拌機	攪拌軸、葉輪、套筒	磨耗、全面腐蝕、孔蝕
其他	集塵機	本體、(シト)電極等	全面腐蝕、磨耗、高溫腐蝕
	乾燥機	本體、多孔板、軸、鼓風機等	高溫腐蝕、磨耗
	配管	各種閥、閥座、支架等	磨耗、沖蝕、腐蝕
煙囪	內、外壁	高溫腐蝕、硫酸、露點腐蝕	

人工環境的熔射適用已經知道，迴轉機類及動的機器、唧筒和攪拌機及鼓風機之類和開等的耐磨耗性、耐蝕性要求的補修熔射。

另一方面塔槽交換器之類大部分都有定期的保養計劃，機器定期維修時，對下期維修的必要與評價，放入製作各種的熔射試片，依照其結果的計劃進行熔射再予以補修。然而也可作為機器的開放局部檢查，有腐蝕損傷的時候，緊急處理及其他適用事例和腐蝕環境狀況的判斷，充分檢討後，再採取熔射補修，這種情形，放入易於辨認的試片，以利於追蹤。

大致上設備、機器等構造很大的熔射修補都在現場施工為多，關於換新機件和較簡單的易於運輸的機件就在熔射工廠施工。

表 7 全部機器類的防蝕熔射施工順序。防蝕熔射的適用於全面腐蝕或局部腐蝕、沖蝕、點蝕防止等方面，熔射都十分適用。適用的事例對下游業者而言，已開發的防蝕技術很多成為保留的「技術機密」期待實績的案例能依次漸漸的發表出來。引用文獻 2、6、8 可供參考。人工環境的防蝕熔射例的 ABC (BS 2569 part 2 一樣規格) 表 8 是耐高溫腐蝕的熔射規格。

表 7 全部機器類的防蝕熔射順序

項	目	摘	要
防蝕技術調查 防蝕熔射計劃	防蝕熔射檢討	機器類的腐蝕原因調查和防蝕法的比較，防蝕熔射的調查研究。防蝕熔射的適用性檢討，熔射規格檢討，防蝕熔射加工實績。	
	防蝕熔射規格的決定	試片測試	檢討後熔射規格試片完成，試片浸漬試驗開始。
熔射加工設計 和 工程計劃	試片分析和評價	回收試片及記錄，對試驗結果的評價和報告完成必要時再做追加試驗的計劃。	
	買入規格書	回收試片及記錄，對試驗結果的評價和報告完成必要時再做追加試驗的計劃。	
		熔射加工要領書	回收試片及記錄，對試驗結果的評價和報告完成必要時再做追加試驗的計劃。
維 修 (工 程)	熔射加工準備	工作計劃及設備、器材之準備。	
	停止運轉	機器打開、確定安全、清掃、(蒸氣和噴射洗淨)。	
	檢查和熔射加工範圍	OSM的確認，SDM檢查和工期的決定。(工作內容的決定)	
	改造、補修	將設計強度和運轉條件的能力，熔射加工時不會發生構造條件的改造或補修。	
熔 射 加 工	熔射加工的安裝	安全作業環境(控架、粉塵、噴砂的回收等)不須熔射面的保護)熔射設備安裝。	
	前處理	油脂、氧化物除掉(回收分離、防止噴砂材料污染及母材的清淨和不良。	
	噴砂	母材的噴掃(清潔及活性化)和粗糙化	高濕度或兩天不能工作。
	熔射	形成環境遮斷的熔射層。熔射後的封孔	
封孔處理 後作業、記錄 裝置恢復和點檢	處理的封孔劑容易吸收而成複合層 撤除機材 架熔射加工記錄和檢查報告書。 內部零件，機器的組立，運轉前檢查，準備 SOM記錄。		
運 轉	運 轉	運轉記錄，追蹤調查、(DSM點檢)，下期SDM計劃。	
	評 價	下期SDM點檢(維修診斷)照舊、新造有無異常，可否補修。	
應 用		評價不好的原因調查，評價好可做為防蝕熔射的新規採用的檢討。	

雖然，最近爲了防止高溫腐蝕的陶瓷熔射正被用於多種用途，熔射加工的施工管理，日本防銹技術協會熔射部有製作「熔射施工管理手冊」發行，可供參考。

三、防蝕的陶瓷熔射

陶瓷層的特徵和金屬層的比較

1. 導熱性低。
2. 熱膨脹係數小。
3. 密度小。
4. 硬度高。
5. 化學的耐蝕性高。
6. 電阻大。
7. 安定性好。

以下是陶瓷層的應用

1. 耐熱層。
2. 作爲微粒間的抵抗磨耗防止層。
3. 耐蝕層。
4. 不導電層。
5. 輻射（熱、光）防止層。
6. 拆換之零件用品（螺絲、螺帽…等零件施於皮膜）。
7. 耐磨耗用熔射層。

陶瓷熔射層能在各種素材表面賦予耐熱、電氣絕緣、耐蝕、耐磨耗等目的的機能特性賦與。很多很多的應用。

熔射法依熱源分類主要有氣體式和電漿式；熔射材料有粉末、棒狀或者套管狀線式的材料。陶瓷熔射層如何賦予機能性爲目的其種類來決定。一般氧化鋯、氧化鎂爲耐熱用，氧化鋁或氧化鈦和氧化鋁之合金及氧化鉻是耐磨耗和耐蝕的材料，表9陶瓷熔射材料的融點表示。

一般陶瓷熔射應用在對迴轉機器類的耐磨耗用途中經封孔處理後再選擇適當的磨石來濕式研磨，

另一方面，大型設備機器類熔射後經封孔處理就直接。爲了母材和熔射層的良好密着、噴砂（打擊）粗糙母材表面，使其具有良好的密着性，但是母材表面和陶瓷層的境界、物理的性質、展性和熱膨脹結晶結構等大不相同，母材密着性的損害很容易發生在熔射層的破損和剝離。陶瓷熔射爲了和母材有良好結合的（Bonding）有底層熔射（Under coat），還有緩衝和二次防蝕爲目的中間熔射（middle coat）或多層熔射（複數以上的積層熔射），如此可得到比金屬（合金）更優良的耐蝕性；底層熔射（チリブデン）鉬是400℃以下，而（ニッケルワルミ）鎳鋁815℃以下，尚有鎳鉻合金是1093℃等底層熔射的膜厚一般從0.5~0.3mm的範圍，其他鉬、鋯等爲底層熔射的也有。防蝕陶瓷熔射主要採取有利性氣體（火焰）陶瓷熔射、高融點材料時用電漿式熔射。

防蝕熔射從實際被使用的機器構造和現場之狀況，皮膜的性質等，到熔射方法的種類、作業條件，能夠完全把握正確的選擇是很重要。參考AWS C2-13-70 FLAME SPRAYING OF CERAMICS表10~12摘錄。

近來在所有工業領域中，熔射法的利用也逐漸擴大，但被忽視甚或一般都不知道的熔射應用也有，前者如內熔射應用；後者即所謂的「技術機密」。就熔射加工法而言，熔射材料愈來愈多，有熔射前和熔射後的機械和耐蝕性、物理、化學的特性適用的熔射方式，對母材和皮膜及耐蝕環境等的瞭解程度，也是影響熔射方式的重要因素。施工方法依環境的不同有不同熔射規範，如何選定最合適的熔射施工方式須要熔射施工者與使用者相互協調、調查、記錄整理，以提供熔射施工最佳之方案。