

科學圖書大庫

珐 瑯 學

編著者 程道腴 簡瑞明 楊 凱

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

# 科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員  
發行人 石開朗 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十九年七月十一日再版

## 法 瑯 學

基本定價 1.40

編著者 程道腴 工業技術研究院材料科學研究室主任  
簡瑞明 工業技術研究院材料科學研究室副研究員  
楊 凱 工業技術研究院材料科學研究室副研究員

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(63)局版臺業字第0116號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱 13-306 電話 9221763  
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795 號 電話 9446842  
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

## 編著者序

我國科學及工程類專門名詞之核定，儘先就我國原有詞彙中擇用，或以含義類似者借用，否則譯音。查 *ceramics* 一詞，日文譯爲“燒物”，我則譯爲“陶瓷”。在二十世紀的今天，不僅陶瓷二字已失其正確的內涵性，即 *ceramics* 一字也只能說是遷就採用。向以瓷國（china）稱世之我國，若仍徘徊依戀於往昔之陶瓷技藝，則何日方可問鼎於高溫工業之中原。

*Ceramics* 中琉璃係無機塗料，我國向稱“搪瓷”或“洋瓷”，景泰藍亦屬之。若顧名思義，重操景泰藍或搪瓷之舊業，而忽視此一高溫表面塗膜或護膜，則又謬以千里矣。

桑榆非晚，乃相約本研究室陶瓷部門工作同仁，分頭就有關陶瓷及玻璃之中、日、英文資料，爬羅剔抉，或直譯、或編譯、與著述，以期適於國情、合於高工或專科之教材者，彙之成冊，拋引玉之磚，以就教於有道，共謀發展我國之高溫無機工業。尤有感者，徐氏基金會，高瞻遠矚，不惜工本刊印此“冷門”書籍，以啓導來者，欽佩無已。

本書乃琉璃學之初階，然其所應有之基本知識與操作，均分章敘述。日指月標則可，然非月也。

程道腴 謹識 六十六年二月

聯合工業研究所材料科學研究室

# 目 錄

## 編著者序

## 第一章 概 論

- 一、琺瑯的語源及定義…………… 1
- 二、琺瑯工業的沿革…………… 1
- 三、琺瑯的分類…………… 4

## 第二章 金屬材料

- 一、鑄 鐵…………… 5
- 二、軟 鋼…………… 6
- 三、鋁…………… 7
- 四、金、銀、銅及其合金…………… 8

## 第三章 軟鋼板及其製造成形

- 一、軟鋼板材料…………… 9
- 二、琺瑯器坯胎的成形…………… 15

## 第四章 琺瑯釉之原料及製造

- 一、琺瑯釉之原料…………… 22
- 二、原料調配…………… 29
- 三、熔塊熔製…………… 34

## 第五章 琺瑯之分類、成份及性質

- 一、底 釉…………… 39
- 二、面 釉…………… 42

- 三、琺瑯之物理性質…………… 51

## 第六章 鋼坯施琺瑯前之預處理

- 一、一般預處理方法…………… 55
- 二、特殊預處理方法…………… 60
- 三、鋼坯預處理之必要設備… 62

## 第七章 琺瑯之研磨、敷施及燒成

- 一、熔塊之研磨及其添加物… 64
- 二、琺瑯之敷施…………… 70
- 三、乾燥及刷釉…………… 72
- 四、燒 成…………… 73
- 五、琺瑯製品之缺陷…………… 77

## 第八章 軟鋼板琺瑯之試驗法與一般性質

- 一、附着度（熔着度）試驗… 81
- 二、化學試驗…………… 83
- 三、熱性試驗…………… 86
- 三、乳白度試驗…………… 89
- 五、磨耗試驗…………… 90
- 六、琺瑯不連續性（針孔及開裂）試驗…………… 90
- 七、其他試驗…………… 93

## 第九章 其他琺瑯

一、耐酸琺瑯·····	95	四、不銹鋼琺瑯·····	111
二、耐熱琺瑯·····	98	五、鋁琺瑯·····	111
三、鑄鐵琺瑯·····	103	六、銅琺瑯與珍飾琺瑯·····	115
		七、玻璃琺瑯·····	118

# 第一章 概 論

## 一、 琺瑯的語源及定義

琺瑯一詞英文爲 enamel，德文爲 email。但僅稱 enamel 時易與有機的 paint enamel 混淆，故有時以瓷琺瑯 (vitreous enamel (英), porcelain enamel (美)) 或鐵琺瑯 (ferro enamel) 稱之，國人習慣之稱呼有琺瑯、搪瓷、洋瓷等。

琺瑯是以某種玻璃燒附在金屬表面而成。Claudius Popelin (1866年) 對琺瑯釉 (enamel glaze) 的解釋爲：由硼酸化合物及矽酸化合物混合而成的一種低熔點玻璃，若添加金屬氧化物，能任意改變金屬特有的色澤而達着色的目的。美國 ASTM 對 porcelain enamel 的定義爲：一種瓷化或玻璃化的無機薄膜，以加熱熔化的方法附着於金屬的表面。

琺瑯製品兼具金屬堅固性及玻璃的特性，尤其表面美觀並具耐蝕性爲其優點。

琺瑯一詞在日本是由佛教古印度語“七寶”（拂麻嵌）逐漸演變而來，其演化過程如下：

蒜 嵌 → 蒜 → 發藍 → 佛郎嵌 → 法郎 → 琺瑯

## 二、 琺瑯工業的沿革

琺瑯工業的起源與玻璃工業同樣的悠久，從古埃及而希臘而羅馬，玻璃和琺瑯工業即隨着當代的文化中心而轉移演進，其市場也逐漸推展，乃至時下遍及世界各國。目前玻璃及琺瑯已和我們的日常生活完全打成一片。

根據歷史的記載或從古董上推斷，很難確實指出琺瑯起源的時間與地點。不過一般相信埃及人很可能是最早製造琺瑯的。埃及初期的琺瑯非常粗糙，經過一段長時期的發展後，至第一世紀左右，已有相當的規模及技術。這時期的琺瑯製品多爲白色或藍色，目前散存於世界各大博物館中。在希臘琺瑯發展也很早，如荷馬史詩記載可信的話，在西元前八世紀即有琺瑯製品出

## 2 琺瑯學

現。從現存博物館中希臘琺瑯器推測，則其產品最早可追溯至西元前四世紀。

琺瑯藝術有一定的形態，始於西元第六世紀的拜占庭帝國。在這段時期發展的琺瑯工藝品，可依製法不同分為兩類：一為景泰藍（cloisonne）一為無絲琺瑯器（champleve）。景泰藍製法為以金屬線焊於器皿或裝飾品上圍成圖案，然後以琺瑯釉的粉末或糊狀物填充於金屬線內燒成。此法多為金匠所採用作成美觀的金銀器產品。無絲琺瑯多為銅匠所採用。由於銅器體積較大且笨重，焊燒金屬線不太方便，故先於銅器上刻好凹凸圖形，再填充琺瑯原料燒成。

拜占庭帝國對琺瑯工藝的發展有極大的貢獻，其製品以金、銀、銅等為坯製成美觀價昂的裝飾品如戒指、盾、馬具等。以後以君士坦丁堡為中心，琺瑯工藝逐漸向歐洲大陸推廣，至十一、二世紀時傳入義大利、法國、德國而鼎盛。

琺瑯的發展在東方較西方更難從歷史上推斷。我國在元代以前即有琺瑯製品，最早的琺瑯器可追溯到唐代，其後隨東西貿易的進展，琺瑯工藝受拜占庭文化的影響而緩慢改進。至元代西征之後，琺瑯器及技術才大量引進。我國製琺瑯的技術大抵沿習西方，以景泰藍、無絲琺瑯等為主，但最大差異在我國琺瑯器大多以銅器為主，而金銀器產品極少。至清代以後直接漆上琺瑯的銅器（painted enamel）大為盛行，稱為洋瓷。此時洋瓷大多以白色為底，間或也有在白色坯體上加繪彩繪者。

古代日本琺瑯器發現最早者在第八世紀，此時製品完全為日本形式。其後經由我國傳播才逐漸有西方文化的影響。至十九世紀日本門戶開放後，西方文化大量引進，琺瑯工藝脫離舊有的範式而大為發展，為日本近代琺瑯工業奠定基礎。

以廉價的鋼鐵為坯的琺瑯器始於近代。最初以幼稚的乾式方法製成鑄物琺瑯。現今應用甚廣的軟鋼琺瑯，其製造始於十九世紀初葉。1850年英國就有類似現代琺瑯釉的使用，至1871年釉藥的初步建立完成。

其後由於鋼鐵工業及其他化學工業的發展，琺瑯器材開始進入現代化與工業化。十九世紀軟鋼板的製造發明，使琺瑯的坯體得以廉價供應。碳酸鈉製造法（路布藍法1792年，索爾末法1863年），硼砂精製法（1860年），氧化鈷，作為乳白劑用的氧化錫，冰晶石的使用及以粘土為研磨添加劑等的研究、發展，使得釉藥獲得良好廉價的供應。此外，由於窖爐、耐火材料及燃料的不斷改良，新式製鋼方法如柏塞麥法、西門子馬丁法、平爐法等的相繼問世，促進琺瑯器製法的改進。1924年隧道型自動式燒成窖完成後，奠

定了琺瑯工業自動化的基礎。

目前琺瑯工業的製造法，多以自動化生產及嚴格的品質控制為發展方向。在坯材方面，軟鋼、鑄鐵、鋁等已取代已往的金、銀、銅器而為主要的原料。琺瑯釉的發展已趨於成熟，各種色料，耐化學侵蝕，高反光性耐熱性等成為研究發展的主要項目。至於產品方面，也由以往的裝飾品轉為以工業用產品為主。表1-1中所示為日本50年代末期琺瑯主要產品之生產狀況：

表1-1 日本鋼鐵琺瑯生產狀況 (單位：噸)

產 品 年 代	1956	1957	1958	1959	1960
厨 房 用 具 及 餐 具	9,028	9,058	7,904	7,589	8,129
衛 生 用 品	661	658	610	649	604
化 學 器 具	3,222	3,484	2,947	4,239	6,722
釀 酒 槽	8,453	6,237	4,084	5,236	10,519
冰 箱 及 洗 濯 機	—	346	239	406	461
招 牌、標 幟、布 告 欄	3,032	2,758	2,201	2,327	2,382
其 他	1,054	1,570	1,557	1,996	2,450
合 計	25,581	24,107	19,538	22,448	31,266

而在美國，由於生活水準較高，琺瑯產品的應用亦較廣，在整個陶瓷工業中琺瑯所佔的比重亦較日本為大，這可由表1-2中看出。

表1-2 各種陶瓷產品於陶瓷總生產額中所佔比率

種 類	美 國 (1954年)		日 本 (1957年)	
	生 產 額 (1,000美元)	%	生 產 額 (1,000日元)	%
水 泥	1,202,528	22.9	85,958,981	36.6
玻 璃	1,946,236	37.1	61,049,383	26.0
一 般 陶 瓷 器	572,518	10.9	37,254,475	15.7
耐 火 材 料	337,669	6.5	25,017,034	10.4
耐 磨 材 料	233,694	4.5	5,558,570	2.2
琺 瑯	441,400	8.4	5,155,941	2.1
紅 磚	—	—	1,604,908	0.6
建 築 用 陶 瓷 器	360,741	6.9	—	—
其 他	149,357	8.8	14,382,050	6.1
合 計	5,244,143	100.0	235,981,342	99.7



### 三、 琺瑯的分類

琺瑯種類繁多，但至目前尚無一有系統且完整的分類方法。通常多以琺瑯的坯胎料，琺瑯器的特殊性質或用途，琺瑯敷施的先後等作為分類的標準

(1)依琺瑯坯胎所用金屬而分類：

種 類	主 要 用 途
軟鋼琺瑯	廚具、衛生器具、洗濯機、冰箱、浴缸、化學容器、建築用板、耐熱裝置、招牌、標幟、佈告欄等。
鑄鐵琺瑯	廚具、浴缸、化學容器、耐酸閥等。
鋁 琺 瑯	建築材料、船舶、車輛、飛機等。
銅 琺 瑯	時鐘盤、計量盤、景泰藍，電話撥號盤等。
金銀琺瑯	景泰藍、勳章、獎牌等。

(2)依琺瑯的特性及用途分類：

琺瑯的特性	主 要 用 途
耐 熱 性	瓦斯器具，熱交換機等的陶瓷被覆。
耐 熱 衝 擊 性	噴射引擎等的陶瓷被覆
耐 磨 耗 性	洗濯機、浴缸等。
耐 蝕 性	建築材料、招牌等。
非 吸 着 性	冰箱、食品貯藏用具。
色 調 的 不 變 化	建築材料及其他。
耐 酸 性	化學器具。

### 問 題

1. 試舉出常見琺瑯製品數種，並分類之。
2. 琺瑯工業能達到現代化受何種影響為大？

## 第二章 金屬材料

琺瑯成品的優劣受坯體材料的影響很大，故琺瑯製造者，即使不能直接控制金屬坯材的製造，但仍須熟悉其製造過程，成份及性質。現今琺瑯用之金屬材料，以鋼鐵為主。其分類方法，主要以鐵中含碳量為準，其他成份如矽、錳、硫、磷等雖對鋼鐵性質有相當影響，但一般均不以其為分類標準。

純鐵（或接近純鐵）在琺瑯工業上稱為琺瑯用鐵（enameling iron）。含碳量由純鐵至1.7%者為鋼。超過1.7%者為鑄鐵。鋼中又因含碳量之多少分三種，含碳量少者延展性好稱為低碳鋼，略多者為中碳鋼，二者均適於加工，稱為軟鋼。含碳量在0.85%以上者質硬，稱為高碳鋼或硬鋼。施琺瑯用之鋼屬於軟鋼，且其含碳量大多為0.2%以下，最高者亦不超過0.5%。

用於琺瑯工業之鑄鐵，其含碳量介於2.8%至3.7%之間，但大多數含碳較多，在3.25%至3.6%之間。

### 一、 鑄 鐵

1. 鑄鐵之成份及性質 雖然鑄鐵之主要成份為鐵及碳，但其含有物並不如此簡單。在實際上鑄鐵尚包含少量錳、矽、硫、磷等。此等少量金屬的存在，對製造、加工、及最後之性質上均有很大的影響。茲將適合琺瑯工業用之鑄鐵成份列於表2-1。

鑄鐵成份之控制主要在適合鑄造及施釉工程。其熔化時必須有相當之流動性以充滿鑄模，且不產生氣泡及大量熔渣（slag）。各種主要成份對性質之影響，略述

表2-1 施琺瑯鑄鐵之化學成份（重量%）

	範 圍	理 想 成 份
碳(總量)	3.25 - 3.60	3.25 - 3.35
石墨形碳	2.80 - 3.20	—
化合形碳	0.22 - 0.52	—
矽	2.25 - 3.00	2.50 - 2.60
錳	0.45 - 0.65	0.45 - 0.60
磷	0.60 - 0.95	0.60 - 0.70
硫	0.05 - 0.10	少於0.09

如下：

**碳** 碳以化合形或游離之石墨形存在於鑄鐵中。如碳與鐵結合成雪明碳鐵（cementite,  $Fe_3C$ ），或溶解於波來鐵（pearlite）及奧斯田鐵（austenite）而成化合形多者，稱為白鑄鐵。白鑄鐵質硬脆，收縮大，不適用於琺瑯用，現已很少使用。灰鑄鐵中碳多呈游離石墨形（graphite）存在。石墨形碳超過3%時鑄物變軟。化合形碳與石墨形碳相對多寡之量取決於鑄鐵之熱處理。

**錳** 錳含量在0.5%以下時可使鑄鐵軟化，但含量超過2%時反使鑄鐵硬化。同時錳可促進碳溶解於鐵中，少量的錳可增加鐵之韌性。

**磷** 0.7%以下的磷對鐵之性質影響甚小；但大量加入時却使機械性能減弱。磷可減低鐵之收縮率，增加軟化度。此外磷對熔融鐵水，有增加其流動性之功能，有助於薄片或複雜外形物件之澆鑄。

**硫** 硫有助於化合碳之形成，故增加鑄鐵之硬度、脆性及收縮率。由於硫會減低鐵之機械性能，故其含量必須保持在0.1%以下。

**2. 施琺瑯鑄物之外形設計** 不論鑄鐵以乾式或濕式敷施琺瑯，鑄物之外形設計對琺瑯器燒成之成功與否，均有決定性的影響。鑄物內外均需避免尖角，否則施琺瑯後易產生斥裂（crazing）或片紋（chipping）。而且角邊過於尖銳的話，琺瑯易於流失。

欲施琺瑯之鑄物，在設計上需考慮整個表面在加熱時受熱均勻，否則一部份琺瑯已經過火，另一部份尚未成熟。欲使鑄物加熱均勻，在設計上除盡量使鑄件厚薄一致外，尚需依賴長久的經驗。一般說來，鑄件突出部份或尖角加熱最快，故需盡量避免。

## 二、軟鋼

軟鋼板為目前琺瑯工業最常用之坯材，以後另有詳述，本章僅作一番簡介。

適於琺瑯工業之軟鋼，其含碳量多在0.2%以下，富延展性，適於加工成形。此外軟鋼需具有平均的成份分佈，表面適合上釉，易於清洗，高溫時無太大之外形變化等性質。鋼之製造過程並非一成不變的，其化學成份，物理性質及均一性亦時常不同，但可控制在合理的範圍內。琺瑯製造者需瞭解製鋼之過程，產品之性質，並與製鋼者充分合作，方可得完好之琺瑯成品。

## 三、 鋁

隨着低溫琺瑯的發展，鋁作為琺瑯器坯體者，近年來有顯著的增加。茲將琺瑯工業常用的鋁或鋁合金列於表2-2。

表 2-2 琺瑯用之鋁及鋁合金

種 類		Cu	Si	Mn	Mg	Zn	Cr	Fe	Ti	其他	Al
1100(2S)											99%
3003(3S)	範圍			1.00							餘量
	標準	0.20	0.60	1.50		0.10		0.70		0.15	
3004(4S)	標準			1.2							
2017(17S)	標準			1.25	1.0						
	範圍	3.5		0.40	0.20						餘量
	標準	4.5	0.80	1.00	0.80	0.10	0.25	1.00		0.15	
2024(24S)	標準	4.0		0.5	0.5						
	範圍	3.8		0.30	1.2						餘量
	標準	4.9	0.50	0.90	1.8	0.10	0.25	0.50		0.10	
5052(52S)	標準	4.5		0.6	1.5						
6053(53S)	標準				2.5		0.25				
	範圍		0.50		1.10		0.15				餘量
	標準	0.10	0.90		1.40	0.10	0.35	0.35	0.15	0.15	
6061(61S)	標準		0.7		1.3		0.25				
	範圍	0.15	0.40		0.80		0.15				餘量
	標準	0.40	0.80	0.15	1.20	0.20	0.35	0.70	0.15	0.10	
6062(62S)	標準	0.25	0.6		1.0		0.25				
4043(43)	標準	0.25	0.6		1.0						
	範圍		4.5								餘量
	標準	0.60	6.0	0.30	0.10	0.50		2.0		0.20	
(356)	標準		5.0								
	範圍		6.5		0.20						餘量
	標準	0.20	7.5	0.10	0.40	0.10		0.60	0.20	0.10	
	標準		7.0		0.3						

鋁在許多方面較鋼鐵性質為優；如質輕、不易腐蝕，鋁銹為無色且不繼續向內侵蝕等。但鋁強度不及鋼鐵，質軟而易變形。鋁及鋁合金之熔點在  $640^{\circ} - 660^{\circ}\text{C}$  之間。純鋁經冷作 ( cold-work ) 後可增加抗張強度至一倍，鋁合金添加合適之其他金屬可得更高之強度。耐蝕性及加工性隨成份之不同而異。

鋁合金可分為鑄造合金及成形合金，或分為普通合金及可熱處理合金。普通鋁合金不可熱處理，但冷作後可增加其硬度。在  $280^{\circ}\text{C}$  以上徐冷 ( annealing ) 可減低其冷作時產生的硬性。可熱處理之鋁合金，其處理溫度在  $450 \sim 550^{\circ}\text{C}$  之間，加溫至此溫度而淬火 ( quenching ) 可增加其強度。

欲使琺瑯之敷施容易及獲得良好之燒成結果，鋁之表面需清潔平滑，鋁銹必須除去，表面光亮與否均可。施琺瑯之前，純鋁僅需表面清潔即可，但鋁合金須特別之處理。

#### 四、 金、銀、銅及其合金

金、銀、銅及其合金之琺瑯製品，多為裝飾品或珍飾器皿，也有用做勳章、紀念章及小匾牌者。

金的熔點為  $1064^{\circ}\text{C}$ ，體膨脹係數在  $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$  之間為  $45 \times 10^{-6}$ 。純金適合於製琺瑯器，但需避免銻、鋅、錫等雜質，以免引起缺陷。金加銀、銅形成合金，此種合金亦適於琺瑯用。

銀的熔點為  $961^{\circ}\text{C}$ ，體膨脹係數在  $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$  之間為  $60 \times 10^{-6}$ 。由於銀的色澤，它特別適於敷施各種有色透明琺瑯，而製成各種裝飾品及獎章。琺瑯用之銀多為銀銅合金，常用者含銀量在  $90 \sim 95\%$  之間。另一種合金含銀較低，其成份為  $72\%$  銀及  $28\%$  銅，其熔點較低，需特殊低溫之琺瑯來塗施。

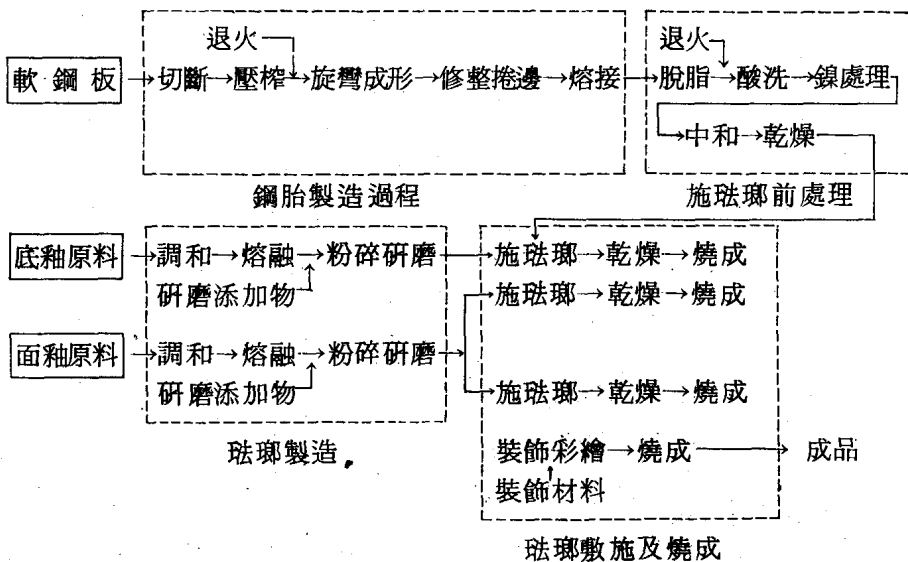
銅之熔點為  $1084^{\circ}\text{C}$ ，體膨脹係數為  $54 \times 10^{-6}$ ，由於其價廉且外觀美麗，顏色與金相似，故為裝飾琺瑯中最理想的金屬坯材。最常用者為黃銅，為銅與鋅的合金，其含鋅量高至  $13\%$  均可施以琺瑯。

### 第三章 軟鋼板及其製造成形

軟鋼板琺瑯，佔琺瑯製品的大部份，並依所用鋼坯的厚薄，而分為薄鋼板和厚鋼板琺瑯。這是隨製品種類的不同，採用的材料有厚薄之別。

軟鋼板琺瑯器具的製造法，大致上可分為軟鋼板坯的成形，施琺瑯前之預處理，琺瑯製造，及琺瑯之敷施與燒成四部份，下面以流程圖概述其過程。表 3-1 程序是臉盆、鍋等小形琺瑯器的製造過程，洗衣機、建築用嵌板等大形物件亦可準此程序製造，惟坯的製造方法略有差異。

表 3-1 軟鋼板琺瑯製造流程圖



#### 一、軟鋼板材料

軟鋼板琺瑯所用坯材為軟鋼 (soft steel 或 mild steel)。適合敷施琺

琺瑯之軟鋼需具備下列條件：

- (1) 含碳量在 0.2 % 以下，特殊情況下亦不超過 0.5 %
- (2) 表面成份組織均勻。
- (3) 壓榨成形時，不發生破裂、皺紋及扭曲。
- (4) 易以普通方法熔接及焊接。
- (5) 無分層現象 ( lamination )、氣泡、及表面缺陷。
- (6) 清潔、脫脂，及酸洗容易。
- (7) 燒成之際，不起歪曲變形，且產生的氣體不多。

鋼板的厚度通常以規號 ( gauge number ) 表示，日本使用「何枚物」的也很多。所謂「何枚物」是指鋼板一疊 ( 91 公分 × 183 公分或 3 呎 × 6 呎，總重量 50 公斤 ) 的板數，例如 12 塊鋼板重 50 公斤即為「12 枚物」，其對應的規號為 30 號，每塊重 4.16 公斤，厚度 0.317 公厘。第 3-2 表列出相互間的關係。

表 3-2 薄鋼板表

稱謂(何枚物) (一疊 50 kg)	規 號 (Gauge)	厚 度 (mm)	一 噸 板 數	一 塊 重 量 (kg)	1 m <sup>2</sup> 重 量 (kg)
2	14	1.980	—	—	4.4648
—	16	1.590	—	—	3.7206
—	18	1.270	—	—	2.9765
4	20	0.954	80	12.5	2.2324
5	22	0.794	100	10.0	1.8603
6	24	0.635	120	8.33	1.4951
7	25	0.556	140	7.14	1.2771
8	26	0.476	160	6.25	1.1162
9	27	0.437	180	5.56	1.0232
10	28	0.397	200	5.00	0.9301
11	29	0.357	220	4.55	0.8371
12	30	0.317	240	4.16	0.7441
13	30½	0.293	260	3.85	0.6877

廚具以一次加壓成形者，採用規號 30 或 30½ 號，二次加壓者採用 29 號，三次加壓者則使用 24—28 號。化工機器及酒桶等使用 9 號—3 號。冰箱、燃氣爐灶 ( gas range )，建築內壁用等之琺瑯板 ( panel )，

適宜採用第3-3表所列厚度的軟鋼板。

表3-3 琺瑯板所需鋼板坯的厚度

鋼 板 尺 寸		規號(gauge)
長	寬	(必要限度)
60.96 cm. (24 in.)	30.48 cm. (12 in.)	24
60.96~81.28 cm. (24~32 in.)	30.48~50.80 cm. (12~20 in.)	22
81.28~152.40 cm. (32~60 in.)	50.80~66.04 cm. (20~26 in.)	20
152.40~182.88 cm. (5~6 ft.)	66.04~91.44 cm. (26 in~3 ft.)	18
243 84 cm. 以上(8ft. 以上)	91.44 cm. 以上(3ft. 以上)	16

建築外壁採用第3-3表中之值再加厚1~2號的板厚即可。招牌、標識採用24~26號已夠，風力大的場所，大形招牌需用18~16號鋼板。

一般說來，儘可能選用厚的軟鋼板比較安全，太薄者，燒成時易引起變形，歪曲，且易引起琺瑯的脫落及毛筋(hair line)等缺陷。

1. 軟鋼板的化學成份 琺瑯所用的鋼板大體上為未淨鋼(rimmed steel)中的冷軋鋼板(cold rolled sheet)。一般來說，熱軋鋼板(hot rolled sheet)或黑鐵皮(black sheet)及淨靜鋼(killed steel)的冷軋板塗施琺瑯燒成後易引起缺陷，故通常多不使用。

琺瑯所用的鋼板，其化學分析可以表3-4作為代表。

表3-4 琺瑯用鋼板之化學成份

	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Ti (%)	Si (%)
純鐵(琺瑯鐵, enameling iron)	0.03	0.04	0.01	0.030	痕跡	—	—
未淨冷軋鋼	0.08	0.35	0.015	0.030	痕跡	—	—
鈦鋼(Ti-Namel)	0.05	0.30	0.010	0.030	—	0.30	0.10
極低碳鋼	0.002	0.33	0.008	0.026	—	—	0.004



由轉爐及平爐等製鋼爐傾出的鋼，倒入熔杓 ( ladle ) 後，溶有與鐵化合之氧及游離氧，鑄成熟鐵時必須將這些氧除去 ( 脫氧 ) 。

脫氧的方式有二：其一是以鋁矽及其他適當的脫氧劑加入熔鋼中，上述的氧元素即與鋁矽等脫氧劑化合成熔渣而脫氧；第二法幾乎不加入脫氧劑，而是在鐵水凝固時游離氧隨着上浮，自然將氧除去。以前法脫氧的鋼在鑄模內凝固時，幾乎沒有氣體發生，是為「淨靜鋼」，後者稱為「未淨鋼」。未淨鋼其表面為含碳量低的固體金屬，中間層有大量氣泡，中心則含有多量的碳，硫及磷。通常含碳量低者柔軟，表面良好，展性高，適於薄板製品的製造。

與未淨鋼相較，淨靜鋼的組織均一且不含氣泡，適於作工具鋼，鍛造鋼及其他合金鋼。由於所添加的脫氧劑不能完全以熔渣的形態除去，有一部份均勻分佈於鐵的組織中，這種殘留的雜質，在施琺瑯後易引起缺陷。且淨靜鋼成形後表面不如未淨鋼平滑，也是不適於施琺瑯的原因之一。

使用鈦為脫氧劑所得之淨靜鋼稱為鈦鋼 ( Ti-Namel )，其優點為防止氫氣，二氧化碳等在加溫時逸出，從而獲得良好之琺瑯性質。例如不施底釉而直接敷施面釉，燒後仍可附着得宜，而且琺瑯燒成後幾乎沒有缺陷。故美國在 1947 年開發成功後，即大受歡迎，但苦於價格太高而不能普及。

熱軋鋼板 ( 亦稱黑鐵皮 ) 以前廣被採用。但因熱軋法在施琺瑯後易引起缺陷，故自冷軋法問世後逐漸被取代。然目前仍有部份厚板製品採用熱軋法的。

純鐵 ( enameling iron ) 是由美國開發出的琺瑯用鐵板，其含碳量低，燒成時下陷 ( sagging ) 少，且少有缺陷產生，在美國使用已久，是最適於作為琺瑯用的鐵板。但由於其他不純物也極少 ( 見表 3-4 )，而使加工壓軋不易，且與未淨鋼的冷軋鋼板相較價格太高，因而其用途受到限制。

表 3-4 中之極低碳鋼，其製品在 1959 年出現於市場。這種鋼的製造程序，壓軋工程與未淨冷軋鋼板相同，再經最後氫氣徐冷 ( wet -hydroden annealing ) 以除去碳而成。極低碳鋼由於含碳量極微，燒成時鋼板下陷很小，又有極佳的壓形加工性，及琺瑯的缺陷不易產生等優點，故雖價格比普通冷軋鋼高，但可說是目前最適於琺瑯用的鋼板，有推廣使用的趨勢。

## 2. 軟鋼板的物理性質 基於琺瑯加工的觀點，軟鋼板主要的物理性質如表 3-5 所示。

與琺瑯敷施關係最密切的物理性質，是熱膨脹係數及坯體在燒成時的下陷。一般琺瑯釉的熱膨脹係數為  $8.5 \sim 10.5 \times 10^{-6}$ ，坯與釉的膨脹不必完全一樣，寧可鐵坯的膨脹小一點，這樣在琺瑯燒成時缺陷較少。