

鋁合金鑄件

Д. Е. 米 克 魯 辛 著
Л. М. 沃 耳 庇 楊 斯 基 主 編
孫 祖 培 譯



輕工業出版社

鋁 合 金 鑄 件

Д. Е. 米 克 魯 辛 著

Л. М. 沃 耳 庇 楊 斯 基 主 編

孫 祖 培 譯

內 容 簡 介

鑄工科學普及圖書集的对象是沒有受過專門技術教育的讀者。收入圖書集中的各短篇著作通俗地敘述鑄造生產的基礎。書的目的在於擴大讀者的工藝知識。

本書屬於圖書集中的第二類，專講鑄鐵、鋼和有色金屬的熔化工論和實際，鑄件的製造，金屬的澆注和凝固等問題。這一類中有10本書：“鋼鐵的性質和構造”，“鑄鐵和鑄鋼的爐料及其配制”，“在化鐵爐中熔化生鐵”，“電爐化鋼”，“金屬的澆注和凝固”，“鑄件的清理”，“鑄鐵件”，“鑄鋼件”，“銅合金鑄件”，以及“鋁合金鑄件”。

本書(第17冊)敘述了鋁合金的特性，鋁合金的熔化的方法以及熔化的它們的爐子。並介紹了製造鋁合金鑄件的各种方法。

Д. Е. Миклухин

ОТЛИВКИ

ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ

СПЛАВОВ

под редакцией Л. М. Волпянского
машгиз (Москва 1955)

根據蘇聯國立機器製造科技書籍出版社一九五五年版譯出

鋁合金鑄件

Д. Е. 米克魯辛著

Л. М. 沃耳庇楊斯基主編

孫祖培譯

*

輕工業出版社出版(北京東四六條30號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第009號

北京市印刷一廠印刷 新華書店發行

*

開本787×1092毫米·8·印張15·字數32,500

1957年8月第一版

1957年8月北京第一次印刷

印數(京)1—1,400

定價(十)0.27元

統一書號15042·金2

目 录

引言	4
一、鑄造鋁合金的特性	6
二、鋁合金的準備	11
三、鋁合金劑的準備	13
四、鋁合金熔化爐	15
五、鋁合金的熔化	23
六、液體合金的淨化處理	24
七、保護性還原劑	25
八、矽鋁明的調質處理	26
九、鋁合金的澆注	27
十、鋁合金鑄件的製造方法	29
十一、砂模鑄造	29
十二、石膏模鑄造	31
十三、鋁合金的硬模鑄造	32
十四、壓力鑄造	42
十五、鑄件的清理	47
十六、鑄件的檢查	48
十七、鑄件的热處理	49
結束語	51
參考資料介紹	52

引 言

一只銀白色的鳥飞向云霄。班机出發了。机艙中載着三十位乘客和大量的燃料儲备。这个空中艦艇有多大重量？它能空載这么多的重物。

一輛五座的小客車，重約1.5吨。即每一乘客約佔300公斤的汽車重量。如果在航空工業中保持着同样的負荷重量与机器重量的比例，飞机的重量应不下于9—10吨。但实际上它的重量不超过5—6吨。重量的減低主要是由于用鋁合金来制造飞机，因为鋁的比重几乎比鋼的比重小三分之二。

不难懂得，鋁合金对运输机械制造业特别是航空工业具有何等的意义。沒有鋁，就沒有近代的航空事業。但鋁及其合金的可貴还不仅仅由于其小的比重。它們还具有許多良好的性能。高的导电性、抗锈性以及对人体器官的無毒性，使鋁在电气工業、化学机械制造业和各种容器以及日用品的生产中成为不可缺少的材料。

鋁是地球表面上分布最广的一种金屬。在大自然中它以一种名叫鉄矾土的矿物形态出現。鉄矾土由各种氧化鋁組成，其中杂有各种氧化鉄、氧化矽和別的氧化物。但純淨状态的鋁的取得还是比较不久以前的事，因为冶金工業中通常所采用的取得金屬的方法，对鋁不能应用。这是因为鋁很难从与它結成化合物的氧和其他元素中分离出来。

第一次用化学方法获得金屬鋁是在1827年，但那时它的价值比純金的价值高。起初，1公斤鋁值1200盧布，到本世紀初，它的价值才降低到1盧布。当人們学会了用电流通过

熔化了了的矿石——冰晶石以及溶解在其中的氧化铝而取得铝之后，铝的价值的降低才成为可能。氧化铝可以从冶炼铁矾土并加以净化处理后得到。而加入冰晶石是为了降低氧化铝的熔解温度，因为纯净的氧化铝非常难于熔解。

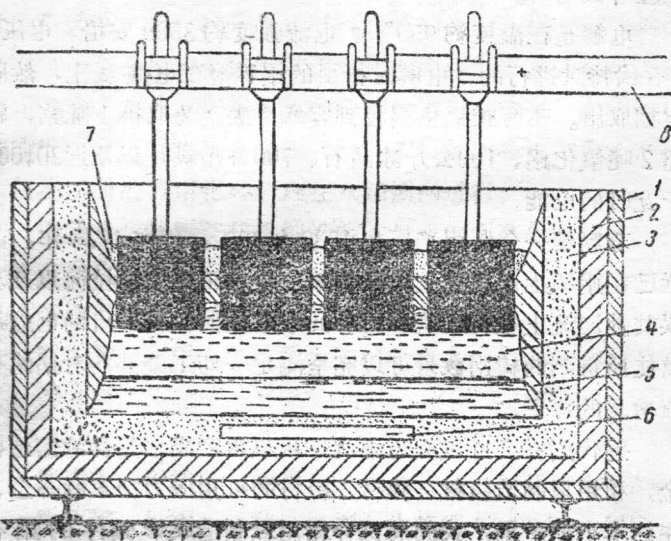


圖 1 制铝电解池的示意图

1—铁制容器；2—耐火磚；3—石墨層；4—电解液；5—熔化了了的铝；6—陰極；7—铝矾土層；8—有炭片的陽極。

圖 1 示意地說明了用来得到金屬铝的裝置。它是一个铁制容器 1，内部襯有隔熱和絕緣的耐火磚 2。磚的表面上填以石墨層 3 或用压紧的炭板堆砌。这一層作为直流电的負極，因此在石墨層中埋有金屬板 6，称謂陰極。

第二个極——正極——系在金屬棒 8 上，称謂陽極。在这个位在容器上面的金屬棒上，懸掛着浸在熔液里的炭片。

这熔液叫做电解液。

当电流通过容器时，冰晶石熔化了，并在其中熔解了氧化铝。氧化铝受电流作用分解为金属铝（析出在阴极上）和氧，后者与阳极炭片化合成一氧化碳和二氧化碳气。这样的过程叫做电解。

电解是在温度约 950°C 、电流强度约 3500 安培、电压 4—5 伏特时进行的。电解时析出的铝积聚在电炉底上，然后定期取出。不时把氧化铝投到容器中去。为取得 1 吨铝，约需 2 吨氧化铝、100 公斤冰晶石、700 公斤炭片以及近 20,000 千瓦时的电能。

苏联第一个制铝工厂在 1932 年开工，但在 1935 年，苏联已在铝的生产规模上佔世界第三位。正在安加拉河以及苏联其他河流上进行建筑和設計的水电站將供給廉价的电力并將使所得到的純铝数量可以完全滿足一切工業部門对铝的不断增長的需要。

近代铝合金可以分为兩类：用以生产成形鑄件的鑄造合金，和用以制造綫材、棒材、板材的可用压力加工的合金。在这本小册子里，我們將仅介紹用以制造成形鑄件的铝合金。这种合金集中了各种良好的澆鑄性能和高的强度，因此几乎在一切国民經济部門中都被广泛地采用。

一、鑄造铝合金的特性

純铝的鑄件很少見到，因为它的强度不大，硬度低，并且由于过大的韌性，很难在机床上加工。只有在个别情况下，当必須利用純铝的高的导电性或它的化学稳定性时，例

如为制造电学测量仪器或化学仪器，才用到純鋁的鑄件。而在大多数情况下，采用鋁同其他元素的合金鑄件。这类合金，根据成份中有什么样的元素和多大数量，而具有各种極為多样的性能。

鋁合金可分成兩类：**原生鋁**和**再生鋁**。属于第一类的是那些用純鋁、銅、矽等原始材料制成的合金。属于第二类的是把第一类合金的廢料經過再熔化和清理而得到的合金。廢料（飞翅、熔渣、切屑）送往專門的再生合金工厂去再熔化和清理，但有时再生合金也在机器工厂的鑄造車間內生产。断料和切屑的再熔化和清理在火焰爐內进行。

因为合金的鑄造和机械性能首先决定于其化学成份，所以合金按化学成份分类。

鑄造鋁合金，按其化学成份，可分成五类，即

第Ⅰ类。以鋁——鎂系为基础的合金；АЛ8和АЛ13号。

第Ⅱ类。以鋁——矽系为基础的合金；АЛ2，АЛ4，АЛ9号。

第Ⅲ类。以鋁——銅系为基础的合金；АЛ7和АЛ12号。

第Ⅳ类。以鋁——矽——銅系为基础的合金；АЛ3，АЛ5，АЛ6号。

第Ⅴ类。以鋁——其他成份（其中包括鎳、或鋅、或鉄）为基础的合金；АЛ1，АЛ11号等。

这样的分类是按2685—53号国定全苏标准規定的。鋁合金的牌号用АЛ（表示鑄鋁）兩個字母和数字表示，以示区别。

鋁鎂合金所含的鎂在АЛ8号合金中是从9.5到11.5%，在АЛ13号合金中是从4.5到5.5%。

高溫澆鑄时，鋁鎂合金氧化很强烈，因此鑄件肥实部份

的断面呈現灰色或黑色。加入万分之若干的鈦和鉍可以減低氧化的程度，并能消灭急剧降低合金机械性能 的 黑色 断面 現象。

作为鋁鎂合金优良性能的是它的巨大的銹蝕稳定性，小的比重（2.55克/厘米³）以及高的强度（28 公斤/毫米²）。这几类合金中間，最常用的是АЛ8号合金。用 АЛ8号合金澆鑄受負荷最大的另件：飞机机翼和起落架的坚固部件。但由于 АЛ8号合金的流动性小、收縮大并且容易出現收縮裂痕，不易用它来鑄造复杂的鑄件。

属于鋁矽合金(矽鋁明)的有АЛ2、АЛ4 和 АЛ9号合金。这些合金的区别在于矽的含量。АЛ2 号 合 金 含 有 10—13% 的矽，АЛ4号合金含有8—10.5%的矽和0.25—0.5%的錳，АЛ9号合金含有6—8% 的矽和 0.20—0.40% 的鎂。除作为合金成份的基本元素之外，其所含雜質的总数不应超过 1—3%。合金的其余部份由鋁組成。

鋁矽合金中的常見雜質是鉄、鋅、銅、鈦及其他元素。大部份这些雜質在合金性能上反映出来是有害的。鉄和鋅被認為是特別有害的雜質，因此必須力求使鉄和鋅在合金中的含量尽可能地小。

鋁矽合金除了有良好的机械性能外，还具有良好的澆鑄性能的特征。高的流动性使它适合于鑄造薄壁另件。小的澆鑄收縮和不易形成熱裂紋，使它有可能在硬模中澆鑄。这种合金还有高的密度和高的耐銹稳定性。它用来鑄造發动机（航空的、摩托車的）的重要另件。

在这类合金中，АЛ4 号合金，由于集中了优良的机械和澆鑄性能，是最好的合金之一。拉伸試驗时，它的强度是20 公斤/毫米²。它用以鑄造最重要、受强力負荷的另件。

这个合金的缺点是容易在鑄件的肥实部份形成疏松和縮孔。为了減少疏松和不使收縮集中在一处，建議合金中矽的含量保持在下限（8—9%）附近。

此外，АЛ4 号合金对鉄杂质有很高的敏感度。稍許增加合金中鉄的含量，就会大大降低合金的塑性。例如，当鉄含量为 0.4% 时，合金的伸長度是 5—10%。如果鉄的含量上升到 0.6%，伸長度下落一半以上，总共只有 2—4%。当鉄含量提高到 0.8% 时，伸長度降到 1% 或更小。因此必須竭力使合金中鉄的含量不超过 0.5%。

有时，为了除去鉄在合金中的有害影响，加入所謂中和剂。銘、釩、鈷、鎳、錳都可用作中和剂。例如，随着錳含量的增加，鉄在合金中形成的脆性化合物被粉碎了。当中和剂到达一定的比例，鉄的脆性化合物便告消失。但过量的中和剂使合金的机械性能变坏。

加鎂可以使合金在热处理时强化。含鎂量不大的合金，热处理后强度可提高一倍。

АЛ7 和 АЛ12 号的鋁銅合金仅含有銅和鋁。在 АЛ7 号合金中，銅的含量是 4—5%，而在 АЛ12 号合金中是 9—11%。在这兩種合金中矽被視作杂质，它的含量在 АЛ7 号合金中不应超过 1.2%，而在 АЛ12 号合金中不超过 1%。

在澆鑄性能上，这类合金远远不如第二类和第四类合金。它的流动性低，有形成裂紋的傾向。这类合金的鑄件，由于巨大的晶間收縮其特点是有疏松現象。發生这种收縮孔，合金晶粒之間形成了空穴。但鋁銅合金能在高温时保持强度和硬度，这是它的良好性能。

鋁銅合金中最常見的是 АЛ7 号合金。АЛ7 号合金在热处理的狀態中具有良好的机械性能，因此用来制造許多飞机另

件（支架、手柄、操縱另件、方向盤等等）。

AJ12 号合金用来鑄造不重要的另件，因为它的强度不高。但它在机械加工后，表面光潔。

AJ13、AJ15 和 AJ16 号鋁銅矽合金，除含有 4—6% 的矽外，尚含有 1.5—3% 的銅。AJ15 号合金采用最广，其中銅的含量 1—1.5%，矽 4.5—5.5%，鎂 0.35—0.6%。这种合金中的雜質总数量不应超过 1—1.3%。AJ15 号合金具有与 AJ14 号合金相同的强度，但塑性較差。不过这种合金形成疏松的傾向較小，对鉄含量的敏感度也較小。銅提高 AJ15 号合金在高温时的强度和稳定性。因此 AJ15 号合金用来鑄造受負荷的另件以及气冷发动机的另件。

最后一类是成份复杂、有特殊物理机械性能的合金（AJ11 等）。属于这类合金的有：抗热性好、用来制造气冷发动机气缸盖的合金；鑄造膨胀系数低、用来澆鑄活塞以及其他需要在高温时保持尺寸大小的另件的合金。但复杂成份的合金具有不好的澆鑄性能。此外，它們容易产生突然發生的廢品，以疏松和黑斑形式出現，因此用这类合金制造另件时，必須精确地遵守生产的工艺。

鋁鋅合金也属于复杂成份的合金类，其典型的代表者是 AJ11 号合金。

再生鋁合金的特点是含有大量雜質，因此必然具有不良的机械性能。

在机器制造业中，再生鋁合金用来制造用途不重要的另件。这类合金十分广泛地用来制造日用品（桶、鍋、壺等等）。有时，再生合金用作配料，即加在熔化原生合金的爐料中。

二、鋁合金的準備

鋁合金的準備過程可以分成三個階段。第一階段是準備原料和配合爐料；第二階段是熔化爐料；第三階段是淨化或清理液態合金。

原料準備過程包括清除場地上和芯模骨架中的廢鑄件，把鋁塊碎裂到所需的尺寸，並準備好必需的合金劑。所有爐料要小心地稱量並按投入熔化爐的先后次序放置在料堆上或爐的附近。

通常爐料由 40—60% 的回爐品，其中包括廢品、澆口、帽頂、冒口等，以及 60—40% 的原始金屬——鋁塊、合金劑——所組成。合金劑是鋁和難熔金屬的合金。合金劑的準備及其用途將在以後詳細說明。

配合爐料時必須估計到合金中各成份的熔耗。金屬在熔化過程中因氧化而損失的部份叫做熔耗。根據所採用的爐子型式、爐料成份和熔化過程，熔耗的數值可以在很大的範圍內變動。熔耗的大小憑經驗決定，並且對每一鑄造車間應各別規定。在一般工廠中，合金中各元素的熔耗在下列範圍內變動：鋁 1—3%，矽 1—5%，銅 0.5—2%，錳 0.5—1.5%，鎂 2—3%，鋅 2—3%，鐵 0% 或有稍許的熔耗，即鐵的數量相對地增加了。

現在舉例說明鑄造車間中採用最廣的 АЛ5 號合金的爐料計算方法。這種合金的化學成份是：1.0—1.5% 銅，4.5—5.5% 矽，0.35—0.60% 鎂，其餘是鋁。為熔煉 100 公斤的合金，如不計算熔耗，平均的爐料應含有：5 公斤矽，

1.25 公斤銅，0.5 公斤鎂，93.25 公斤鋁。若計算熔耗：銅為 1%，矽為 5%，鎂為 2%，則在上述計算好的元素成份中應加入熔耗的損失，這樣，矽是 $5 + 0.25 = 5.25$ 公斤，銅 $1.25 + 0.0125 = 1.2625$ 公斤，鎂 $0.5 + 0.010 = 0.510$ 公斤。

但因為爐料中某些成份是以合金劑的形式加到合金中去的，就有必要把純元素換算成所需的合金劑的數量。銅是以 50% 銅和 50% 鋁構成的合金劑的形式加進去的。因此，銅鋁合金劑的重量應等於：

$$\frac{100 \times 1.2625}{50} = 2.525 \text{ 公斤。}$$

矽通常是以矽鋁明（含矽 11—13% 的合金）的形式加進爐料中去的。矽鋁明的重量應等於：

$$\frac{100 \times 5.25}{12} = 43.750 \text{ 公斤。}$$

鎂以純金屬形態加到合金中去。

爐料的最后成份將是：矽鋁明 43.750 公斤，銅鋁合金劑 2.525 公斤，鎂 0.510 公斤，其余是鋁塊。

當計算含有回爐品（澆口、廢品、帽頂）的爐料時，首先應該算出回爐品中各元素的含量，然後加入不足之數，達到規定的成份，並考慮熔耗。

如果合金在鐵制坩堝中熔化，則合金將吸收鐵元素，因此計算爐料時也應考慮到合金中鐵的含量，不使超過規定的極限。

三、鋁合金剂的准备

鋁合金中的某些成份如銅、鎳、錳、矽，熔点很高，因此为了把它們加到合金中去，須預先做成中間合金——合金剂。

合金剂是兩種或三種金屬的合金。合金剂的熔点与合金成份中主体金屬的熔点相近。熔煉鋁合金时約需用十种左右的合金剂。其最常見的有：

- 1) 銅鋁合金剂，含銅 45—55%，熔点 570—600°；
- 2) 錳鋁合金剂，含錳 9—11%，熔点 770—830°；
- 3) 矽鋁合金剂，含矽 12—15%，熔点 620—660°。

有时，除双相合金剂外，需要制成三相合金剂。例如，最适合于 AJ1 号合金的是銅鎳鋁三相合金剂，含銅 35—45%，鎳 15—25%，熔点 700—740°。采用三相合金剂只有在經常大量澆鑄同一种金屬时是合宜的。三相合金剂的优点是成本比双相合金剂低，并且加入合金中去的量可以少。

制造鋁合金剂有几种方法。第一种方法的原理是用鋁使金屬元素从其氧化物中还原。这种还原的結果可以得到鋁和某些难熔元素如鈮、钒、鎢等的合金。

第二种方法是利用鹽类的电解来制造合金剂，即把电流通过熔解了的鹽。

第三种方法是使合金剂中的各金屬直接合成。这一方法最簡單，采用最广。它还可以有几种方式：

- 1) 金屬元素和鋁分別熔化，然后把鋁倒入金屬中。
- 2) 把熔化了的金屬加到熔化了的鋁中去。

3) 把小塊金屬加到熔化了了的并过热的鋁中去。

4) 把鋁塊加到熔化了了的金屬中去。

第三種和第四種制造合金劑的方法在工廠實際中采用最廣。現在研究一下以銅鋁合金劑為例的制造工艺。

兩種銅鋁合金劑最為常用。第一種合金劑由 33% 的銅和 67% 的鋁組成。這個合金劑的熔點最低 (548°C)，用在不需含大量銅的鋁合金中。第二種合金劑由 50% 的銅和 50% 的鋁組成。熔點是 575° 。這是一種應用最廣的合金劑。有這樣含銅量的合金塊容易破碎。

為了得到特別純淨的合金劑，把銅在炭層下熔化，然後把小塊鋁錠加到熔化了了的銅中去。每次投料後應攪動合金。不能一次加入大量的鋁，因為這樣會使合金發生強烈過冷。當鋁全部熔化後，根據合金的熔化溫度把它加熱或冷卻到 $670-700^{\circ}$ ，用脫水氯化鋅淨化，去掉爐渣，進行澆注。

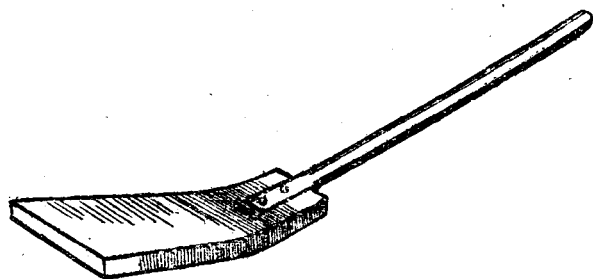


圖 2 石墨攪板

合金澆注在開口的、預熱過的生鐵模子中。這樣鑄出的合金劑錠的厚度不應超過 25 毫米。錠愈薄，它的化學成份在整個截面中分布愈勻。攪動合金劑應該用石墨攪板進行，它是用舊的石墨坩堝和鐵管制成的（圖 2）。應特別注意任何

合金剂应该含有尽可能最小数量的铁（不超过0.35%）。

四、鋁合金熔化爐

用来熔化鋁合金的有許多不同構造的火爐。所有这些爐子可以分成四类：

坩堝爐属于第一类。

属于第二类的是火焰反射爐，主要用来熔化切屑、大塊的破件，很少直接用来熔合金。

第三类是迴轉式或固定式的电阻电爐。这类爐子广泛用来熔化任何种类的鋁合金。

第四类是鉄芯感应爐。

爐子的选择决定于生产規模，鑄件用途，車間內动力情况，鋁合金的数量，以及每班的用量。

对于使用少量但多种鋁合金的車間，坩堝爐被認為是最好的爐子。同时也适宜于制造合金剂。

迴轉式坩堝爐采用很广（圖3）。这种爐子用重油或煤气加热，燃燒后的气体从單独的烟道中排出。迴轉式坩堝爐是一个內部襯有磚塊的鉄壳，鉄壳中放入生鉄鑄的坩堝，它的突緣支在鉄壳的环圈上。坩

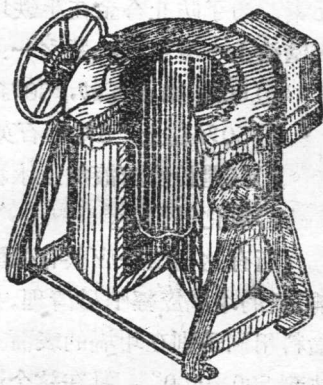


圖3 迴轉式坩堝爐

堝盖沒了爐子的內腔，使燃燒所产生的气体不与熔化了的金

屬接觸。外壳以短軸支在兩個支架上。爐子用轉盤轉動。外壳側面，靠近底部處裝有噴油器或煤氣燃燒器。燃燒室在坩堝下面。燃燒氣體圍繞着坩堝上升，使坩堝加熱，氣體經過爐壳的煙孔進入煙道，然後到煙囪中去。爐子上部置有與車間內吸風裝置相連接的煙罩。

坩堝通常用低矽生鐵制成。但有時在這類爐子中採用石墨坩堝。石墨坩堝承受的熔化物數量比生鐵坩堝少，但它的優點是合金在其中熔化時不會吸收鐵元素。此外，在石墨坩堝中，可把合金加熱到比在生鐵坩堝中較高的溫度，因此石墨坩堝常用來製造合金劑。石墨坩堝由石墨、耐火黏土和干的焙燒過的火泥粉的混合物制成，石墨的數量愈多，坩堝愈堅固。石墨坩堝在應用前應該完全烘乾并加熱。為了防止氣體沖擊熔化了的金屬，這是必要的。

生鐵坩堝比石墨坩堝堅固而且便宜。并且它把熱量傳給金屬比石墨坩堝更強力一些。但合金在生鐵坩堝中吸收了鐵元素。為了防止合金在生鐵坩堝中熔化時吸收鐵元素，坩堝內壁塗上一層下列物質之一：

- 1) 60% 細石英砂，30% 耐火黏土，10% 水玻璃；
- 2) 50% 黏土，8% 細石英砂，5% 水玻璃，37% 水；
- 3) 白堊粉水溶液加上水玻璃；
- 4) 氧化鋅溶液。

所有這些塗料應該有像酸奶油那樣的濃度。在上塗料之前，新的坩堝應經噴砂清理，并在爐子中加熱到 $150-200^{\circ}\text{C}$ 。塗料用刷子刷在坩堝的表面上。上過塗料後，坩堝第二次加熱到 $500-600^{\circ}$ ，并在這個溫度下維持 3—5 小時。只有這樣之後，才能往坩堝中裝料。

有時，在保溫爐中，即金屬在其中熔化後便進行澆注并