

331912

成都工学院图书馆

基本馆藏

熔模精密铸造

[德意志民主共和国] 汉斯 阿侬道夫著



国防工业出版社

熔模精密铸造

〔德意志民主共和国〕 汉斯 阿侖道夫著

卢运模译



国防工业出版社

1965

出版者的話

原书作者搜集了几乎所有分散在各国公开出版刊物(1943~1954年)上的关于熔模精密鑄造的資料,并以摘要形式按熔模精密鑄造生产过程的順序整理成书。

本书詳尽地介紹了熔模鑄造发展史、熔模精密鑄造的应用范围、熔模制造、鑄型准备、澆鑄和鑄件清理等,并对不同的工艺方法作了比較,提出了較為客觀的評價。原书所附的专利摘要,由于年代較久,国内又多未收藏,故予以删去。

本书譯文曾請李振鼎先生全面校訂,在此表示深切謝意。

本书可供精密鑄造专业的工程技術人員、研究人員和高等院校師生閱讀。

PRÄZISIONSGIESSVERFAHREN MIT AUSSCHMELZMODELLEN

Hans Allendorf

FACHBUCHVERLAG LEIPZIG 1958

熔模精密鑄造

卢运模譯

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168¹/₃₂ 印張8⁷/₈ 223千字

1965年8月第一版 1965年8月第一次印刷 印数:0,001—5,800册

統一书号:15031-934 定价:(科七)1.50元

序 言

約十五年前，在我国（德意志民主共和国）工业生产中，就成熟地采用了熔模制造精密鑄件的方法。近十年来，这种方法在所有类似的制型方法中，无疑地发展得最显著和最迅速。虽然它已有了几千年的历史，但是它的基本原理仅在五十年前，在制造齒輪中，才又重新被注意起来。此外，在制造不宜作机械加工的高精度合金鑄件方面，这种方法也显示出极为突出的优越性，这也是近十五年到二十年来在飞机发动机方面所企求的。今天机器制造业的許多小的机件和它的特殊部分，是使用熔模鑄造法經濟地制成的。

熔模精密鑄造領域的技术发展，一直是极为活跃的，但是有关的文献資料却十分缺乏，沒有一本完备的德文书，甚至在专业杂志上也很难找到几篇德国著作。这是因为战后初期，我国科学家及鑄造工作者沒有可能从事这一方法的研究。相反，我們却非常感謝瑞士和苏联专家在科学研究和生产技术方面，作出了許多有价值的貢獻。

此外，不仅記載在书上，而且发表在大量杂志上的英国資料是很丰富的。根据最近介紹，英国熔模鑄造的机械化水平以及对它进行的研究，已經达到了一个完全值得注意的水平。

无疑美国科学家和冶金师，在从事这一領域內的研究和生产方面，也做了許多活跃的工作。除了許多內容丰富的书籍外，他們还出版了大量的公开刊物，这些刊物使鑄造工作者深刻地認識到这种方法的物理化学过程。它們同时也指出了这种方法应用的可能性，并让人們認識到它的困难所在，因而这些資料由于其实用地介紹了配方、合金等等，是頗有价值的。

本书搜集了几乎所有分散在国内外各种专业刊物上有参考价

值的資料，并进行了加工整理，以便为鑄造工作者提供一本熔蜡鑄造方面的实用参考书。由于从这些資料中摘录的叙述和数据，是按着这种方法的各个工艺过程，以摘要的形式并按从 1943~1954 年的年代順序加以归納的，因此，技术数据的重复在所难免。这种重复正是为了說明早先所达到的成就所必須的。

最近，在本书所述的这种鑄造方法的領域內，出現了“失模精密鑄造”这一概念。但是迄今流行的一些術語如“精密鑄造”，“熔模鑄造”在专业範圍內仍然通用，并为每个鑄造工作者所熟悉，同时因为这个新名詞未广泛使用，故在本书的标题和正文內仍然采用原来的術語。

阿尔特堡/萊比錫，1958 年春

作 者

目 录

序言	3
1 緒論	7
1.1 历史回顾	7
1.2 定义和特点	9
1.3 熔模鑄造法的工艺过程	9
1.4 一些組織和生产技术上的細节	13
1.5 应用范围	15
1.6 經濟性	19
1.7 精确度	23
1.71 表面精度	25
1.8 鑄件設計准則	28
1.81 尺寸公差	39
1.82 加工余量和收縮余量	42
2 熔模的制造	51
2.1 母型或压型的制造	51
2.2 制造压型所用的合金	59
2.3 制造熔模的原料	62
2.31 蜡料及其特性	62
2.311 混合蜡料	69
2.312 潤滑剂	73
2.313 蜡料压注机和模子的制造	74
2.32 聚苯乙烯(热塑性塑料)	83
2.321 塑料压注机及塑料模的制造	86
2.33 冻结水銀模及其制造	90
3 鑄型的制备	101
3.1 为塗第一层塗料准备模子和模子的塗复	101
3.2 粘結剂和混合料	104
3.21 硅酸乙酯	104
3.22 水玻璃、胶体硅酸和氫氧化鎂—水泥	122

3.23	水玻璃和硅酸乙酯	125
3.24	磷酸鉍、磷酸鈉和磷酸鈣	127
3.25	石膏和矾土水泥	133
3.3	塗料和混合料	134
3.4	填料和混合料	147
3.41	有色合金填料	147
3.42	鉄合金填料	150
3.43	填料	156
3.44	填料的制备設備	158
3.5	向熔模四周填入填料	160
3.51	振動和振動設備	163
4	澆注前鑄型的准备	169
4.1	鑄型的干燥及干燥設備	169
4.2	熔模的熔化和熔化設備	172
4.3	鑄型的焙燒及所屬的設備	177
5	焙燒后鑄型的澆注	184
5.1	熔化設備	184
5.11	感應電爐	184
5.12	電弧爐	188
5.13	坩堝材料和澆注機用的坩堝	193
5.14	鑄型的澆注和澆注機型箱的尺寸和材料	194
6	鑄件的清理	202
6.1	从型箱內取出鑄件	202
6.2	从直澆口取下鑄件	204
7	澆注系統	206
7.1	单个熔模的澆注系統	206
7.2	模組的澆注系統	215
7.3	斷裂試样的澆注系統	228
7.31	有色合金斷裂試样	228
7.32	鋼合金斷裂試样	233
8	特殊应用范围	238
8.1	渦輪叶片	238
8.2	銑刀和特形刀具	244
9	熔模鑄造方法用的合金	251

1 緒 論

1.1 历史回顾

远自上古时代，人們已开始用熔模方法鑄造复杂的鑄件。早在四千年前，埃及人以及稍后的商朝时代(公元前 1766~1122 年)的中国人就采用了这种方法，并以手工形式从事生产。在皮屋瓦尔斯基 (Piwowarsky) 的文章中[1]，詳細地介紹了这种方法。文中的許多插图使人們認識到：当时的許多艺术品，无疑只有使用蜡模方法才能制造出来。在文中皮屋瓦尔斯基举出了一幅十世紀中国制造的青銅酒桶图片和一幅头戴珊瑚刺頂飾的少女青銅身像图片，該少女身像来自于十六世紀的西非洲。

在文艺复兴时代前，在一段很长的时期內 (1500~1571 年)，这种方法被蔡利尼 (Cellini) 所采用，并創造出有名的“百尔修”像 (图 1)。利斯特 (Lister) 在一篇文章中[2]，着重地叙述了这个鑄件在制造方面的詳細情况，他不仅介紹了十六世紀时佛罗林次 (Florenz)● 的盛景，而且还叙述了当时熔模鑄造技术上的一些細節。蔡利尼所使用的方法，已由华西里 (Vasari) 和蔡利尼本人詳細地記錄下来[3][4]。

近三十年来，在熔模鑄造領域內所取得的巨大进步，应该归功于在两种应用可能性方面。根据馬尔斯哈尔 (Marshall)[5] 的介紹，直到 1920 年，熔模鑄造尚不能用于任何一种铁合金，因为那时人們还未找到一种既具有足够耐火性，同时又能保証光滑表面的制模材料。

两个德国人，一个名叫埃尔得勒 (W. Erdle)，一个名叫布拉格 (Karl Prange)，他們以高耐火性陶瓷材料与硅酸乙酯合 并起

● 佛罗林次 (Florenz)——意大利一城名。——譯者



图1 “百尔修”像。



图2 用Vitallium制作的假牙齿。

来作了试验，结果高耐火性的材料问题得到解决。在1929年，他们铸造出熔点为 1570°C 的铬、钴、锰(锡)合金(即所谓 Vitallium)人造牙齿。后来，他们迁居到美国，并在那里开设了一家用这种方法制造假牙齿的企业。

今天约有225家公司获有这种方法的使用权。图2系两个熔模铸造法制成的人造牙齿实例，该图摘自尚尔特(Short)的一篇文章中[6]。

以后，当美国装饰品制造业能够经济地铸造出大量类似产品的时候，模子的大量生产问题便得到了解决，并且为这种方法在其它工业部门的应用开辟了道路。从这种原来手工业形式的装饰品制造业中，产生了金属制造业和铸钢业的重要专业部门。

阿尔滨(Albin)[7]叙述了装饰品大量生产的过程。在叙述中引用了许多图片，使人们了解到这种方法的一些最重要的工序。

在第二次世界大战期间，这种古老的造型和铸造方法得到了巨大的发展，当时使用这种方法制出了数以百万计的各种器械零件，这些零件如使用其它方法是难以甚至是不可能制型和铸造的。战后，这种方法在德国、英国、法国、瑞士和苏联获得了技术上和经济上的进一步完善。

1.2 定义和特点

熔模鑄造系精密鑄造方法的一种，属于这种方法的还有挤鑄或压鑄，金屬型鑄造和壳型鑄造。

熔模鑄造是一种利用可以熔化的模子而制成一个整体或分件鑄型的制型与鑄造方法。用作鑄型材料的为一种細粒的陶瓷材料，将这种材料作为薄塗层塗在模子上，然后使用較便宜的材料，即所謂填料将熔模四周填实。鑄型干燥后，将模子熔化掉。因而，这种造型方法省去了分型面以及上下箱或某些特殊型箱。

国外通用的术语“失蜡”，如同“蜡模鑄造”一样，标示了这种方法的特点。前者表明在熔化模子时蜡料“失去”；后者說明熔模被包复或被塗上了一层覆盖物（塗层），所以，又称其为“塗层方法”。

熔模鑄造与其它制型和鑄造方法相似的地方很少。根据布劳烏（Brown）的分析〔8〕，它与永久型鑄造（金屬型鑄造，压鑄或挤鑄）有两点相似：

1. 用熔模法鑄造时，也习惯于使模子的最大尺寸置于鑄型的垂直方向，而不像一般砂型鑄造那样置于水平方向。
2. 鑄型的透气性同样很低，因此对于鑄型的排气应給予特別的考虑，并需要丰富的經驗。

相反，它与永久型鑄造的区别在于鑄型内部的冷却速度不同。除此以外，它与永久型和砂型鑄造的区别还表现在其型腔是完全隐蔽的，澆注前不能再打开鑄型来檢查其有无缺陷。

1.3 熔模鑄造法的工艺过程

熔模鑄造方法的主要工艺过程如下：

根据奥帕尔哈尔（Operhall）的介紹〔9〕，熔模精密鑄造同鑄造生产中的一般造型方法一样，也是从制造始模或母模开始。首先繪制出待澆鑄的零件图，零件图的尺寸应包括熔模材料和待澆

鑄件合金的收縮量，二者總計約為 1.1~1.5%。母模通常用黃銅製造，因為這種材料具有耐腐蝕性和良好的加工性。然後，用製成的母模製造鋅鎂合金或類似的低熔點合金壓型或母型。

製造壓型時，應保證分型面的準確位置，以便無損壞地從壓型內取出熔模。根據熔模的尺寸大小和形狀，將溫度為 68°C 的蜡料於 35~70 公斤/厘米² 的壓力下，注滿壓型，在經過蜡料凝固所需的停置時間後，這一過程即告結束。然後，從壓型內取出模子，仔細地檢查，再把模子、直澆口、內澆口裝配成模組，或一個相當複雜的模子—澆注系統。

將整個模組浸入具有石膏糊濃度的耐火塗料中，使其包復上一層 0.5~1 厘米厚的塗層。耐火塗料由粒度為 325 篩号的硅酸鹽粉末和膠體硅酸鹽粘結劑所組成。當模組上的糊狀耐火塗料滴淨後，為了提高塗層的強度，再撒上一層尖角砂子。

第一層塗料相當於一般砂型鑄造的面砂，因為這一層細粒度的耐火塗料，能將蜡模和母模的精細度賦予鑄件，使其具有格外光滑的表面。模組或模子—澆注系統在室溫干燥 8~10 小時後，裝入型箱內。在裝入時，將模組的澆口杯朝下，放在鋼制底板上，并用蜡使直澆道粘附在底板上，然後套上用不銹鋼製成的並且予先在箱內鋪上防水紙的薄壁型箱，防水紙應比型箱高出几厘米。型箱的尺寸很重要，模子到型箱內壁的距离最小應為 20~25 毫米，過薄的埋置層會引起鑄型的開裂。

此後，用硅酸鹽粉末、砂子和粉狀耐火泥加硅酸乙酯或膠體硅酸鹽粘結劑組成的混合料填滿型箱。把干的填料或埋置料（第二層塗料）放進混合器內，按著每 0.45 公斤填料加入 100 毫升液體粘結劑的比例，加入液體粘結劑，并使二者充分混合。在填充時，將型箱放在振動台上，通過振動台的振動，使填料均勻而致密地填充在模子的四周及細小的輪廓部位。現在就可以了解在型箱內鋪紙的目的。由於振動會使填料體積縮小，所以，振動前必須備有多餘的填料（突出的紙邊高度相當於造型機的填充框的

邊緣)。此外，水和填料的粗大顆粒沉淀在鑄型的表面上。

鑄型在空氣中凝固 6~8 小時後，硬化到了可以從底板上取下的程度，就在鑄型的底面，蜡模直澆口與型箱邊齊平，而突出于上型箱的砂層和紙套則用鋸切掉。

熔化蜡模時，直澆口作為蜡料的流出口。熔模時，先將鑄型直澆口朝下放在架子上，然後送進溫度為 95°C 的爐內。

經過 12~16 小時後，粘結物的溶劑揮發掉了，大約有 80% 的蜡料，從鑄型內流出。其餘的蜡料被填料吸收或粘附在型腔的表面上。

失蜡後的鑄型放在可移動的、耐熱的架子上，推進下一段爐區內。這段爐區的進口溫度為 190°C 。根據鑄型的尺寸和形狀以及澆鑄合金的種類不同，爐子的出口溫度約為 $870\sim 1040^{\circ}\text{C}$ 。

整個焙燒階段延續 10~12 小時。在這段時間內，蜡料的最後殘余部分在高溫下完全揮發掉，鑄型獲得了彻底的焙燒。當鑄型溫度冷卻到 $850\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 時，即進行澆鑄。這樣就可以毫無困難地鑄出 0.3 毫米厚的邊緣。

熔化設備是間接電弧爐或感應電爐，裝進的爐料應相當于鑄件加澆冒口的總重量。爐溫用光學高溫計測量，當熔液達到適當的澆鑄溫度時，就將焙燒後的鑄型澆口朝下，置于爐子的開口上，并用鉤緊裝置和石棉密封圈把鑄型與爐子牢固地連接在一起。然後將爐子旋轉 180° ，當旋轉到傾角為 135° 時，控制閥自動打開，于是一股 $0.2\sim 0.7$ 公斤/厘米² 的壓縮空氣通過導管作用在熔液上，金屬液在此壓力下注入鑄型的型腔內。這種澆鑄方法改善了熔液在薄壁處的流動性。澆鑄後，從爐子上取下鑄型，放進通氣櫃內，進行冷卻。

下面的工序均為大家所熟悉。即用風動錘打開鑄型，取出鑄件，再用細粒鋼丸或石英砂對鑄件進行噴砂清理。噴砂時所用的壓縮空氣壓力為 $0.7\sim 2.1$ 公斤/厘米²。繼而，用鋸或切割砂輪切掉澆冒口，鑄件與內澆口相接的部位應進行打磨。然後，進行嚴格

的檢驗，必要时还要进行彻底的X光檢驗。

根据克林根斯泰伊 (Klingenstein) 的叙述而編繪的上述工序示意图示于图 3。

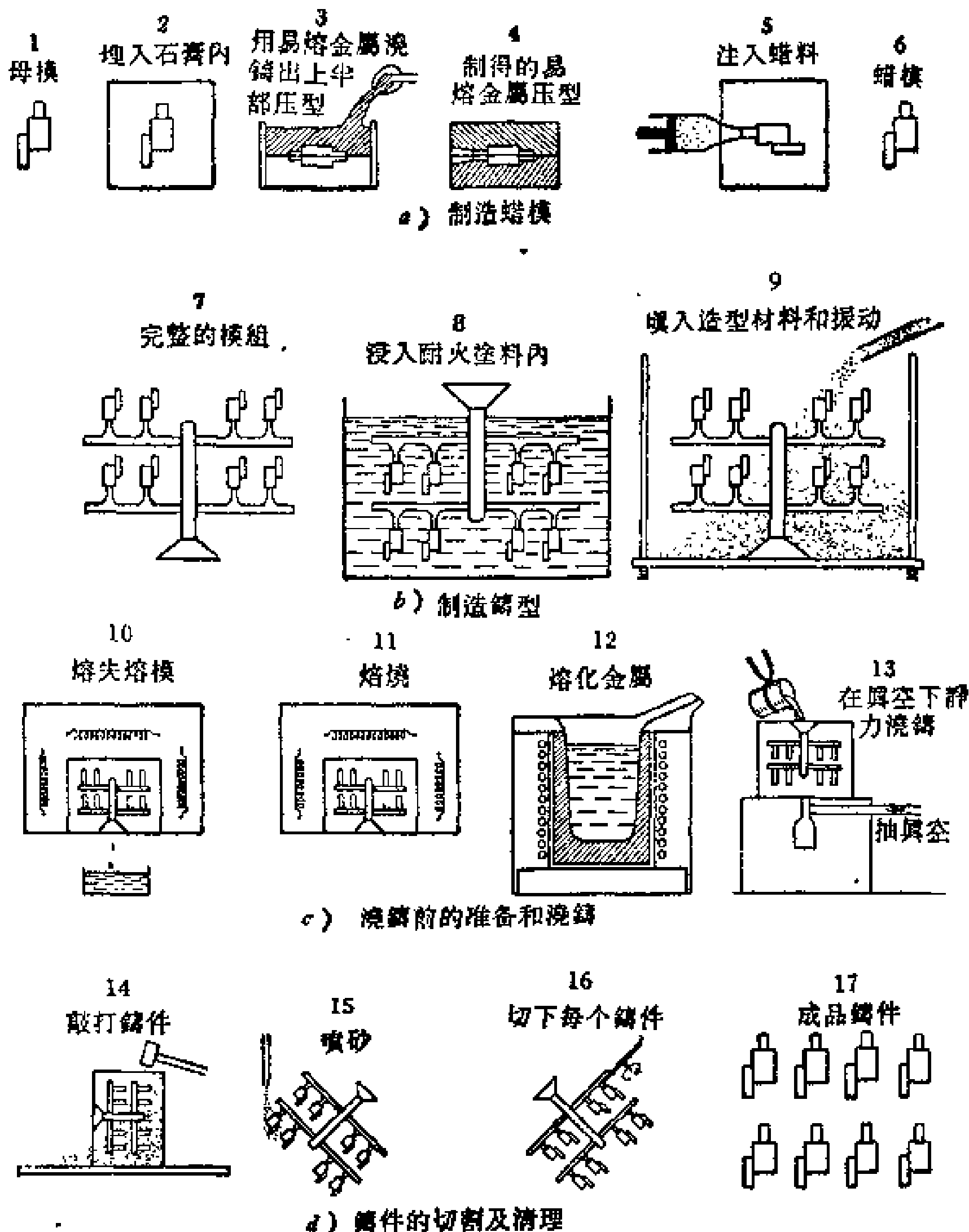


图 3 熔模铸造方法的工艺过程示意图 (根据克林根斯泰伊的介绍)。

应该指出，一些低熔点合金的精密铸造，如黄铜，青铜，除

鎂以外的輕金屬，都不是这样复杂。在这些情况下，第一层塗层是不必要的。簡單的做法，是把模子直接浸入比較便宜的石膏-砂子混合料內。这种鑄型的干燥費用要比用于高熔点合金鑄件的鑄型的干燥便宜得多。在熔模的干燥和熔失后的鑄型焙燒通常也可以省掉，但鎂合金則例外。

麦卡布埃布頓 (Meerkamp van Embden) 在一篇頗有閱讀价值的关于各种現代化造型和鑄造方法的綜合性論文中 [10]，簡要地介紹了熔蜡鑄造的历史和技术的发展后，清楚而詳細地叙述了这种方法的各个工艺过程。遺憾的是他沒有給出任何技术数据。

1.4 一些組織和生产技术上的細節

本节將論述一些組織上和生产技术上的細節，通过对这些細節的了解，使人們認識到这种方法在近几年来不断发展完善的情况。

泰弟斯 (Tedd) [11] 介紹了英国的一个新型的全机械化熔模鑄造工厂，該工厂占地面积为 3700 米²。文中論述技术細節較少，而用了更多的篇幅来叙述組織措施方面的問題。他着重叙述了对所有进厂的原料、混合料、炉料、成品以及工艺过程的极为周密和严格的控制。

泰弟斯介紹了用途不同的檢驗卡，如果沒有这些檢驗卡，順利地进行生产是不可能的。同时，也不能保証經濟地进行生产。

例如蜡料的檢驗包括下面几个項目：

1. 凝固点；
2. 收縮量；
3. 破裂强度；
4. 燃燒时的灰分含量。

对于每項檢驗，泰弟斯均介紹了准确的檢驗方法。

这篇內容丰富的著作，由于引用了許多生产图片，而更加生

动，从这些图片中可以看到該厂各个生产部門的高度机械化的运输技术。文末所附的討論，也富有启发性和閱讀价值。

另一篇是关于周产量为 10000 件中小型和小型零件的，其中主要是渦輪叶片，高度机械化的精密鑄造車間的报告[12]，这篇报告清楚地指出了熔模鑄造的目前技术水平。該車間主要鑄造奧氏体耐高溫不銹鋼，鉻鉬合金鋼和高速鋼。

該車間对于运输技术給予了特別的注意，例如模子和澆口是在傳送帶上装配的。

此外，悬空运输帶把澆鑄后的鑄型从炉旁运送到鑄型脫砂工段，从这里再把鑄件送到清理車間，而用过的填料則通过悬空輸送帶送到准备車間。

蜡料压注机設置在平行于通过工作地点的傳送帶的两旁，压注机是自动工作的。这里用下注式压注机較适合，只有在特殊情况下才使用上注式压注机。

这篇文章引用了許多有用的生产图片，并与另一續篇报告[13]一起詳尽地介紹了这个目前最現代化的熔模精密鑄造工厂的各个車間。

蓉克尔 (Yonker) [14]补充了上述报告，并介紹了一个占地面积約为 5900 米²的新型精密鑄造車間。厂房的布置特別讲究，所有照明設備，空气調节装置以及运输技术等进行了革新。車間的卫生和洗滌設備以及舒适的男女休息室均极現代化。該車間共有工人 500 余人，其中約有一半是女工，她們大部分在制模工段和模組装配工段工作。

这个新型車間拥有 16 台自动化蜡料压注机。工人除打开和关闭压型以及从压型內取出蜡模需要手工操作外，其余工作只需按压鈕，开动压注机即可。

蓉克尔还介紹了每一个工段的生产过程，并举出許多生产图片，通过这些图片可以了解到許多文中沒有提到的細節。

1.5 应用范围

如前文所叙，熔模铸造在第二次世界大战期间，就已具有特别重要的意义。当时在飞机发动机的制造中，对结构和材料上的要求已提高，用其它的加工方法是不能得到满足的。其中一例，如图4所示。

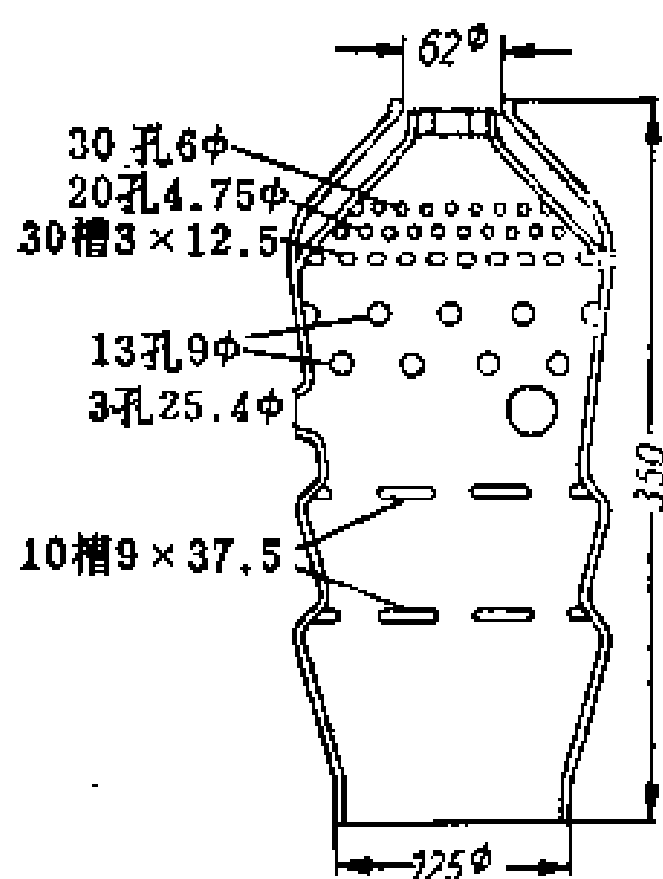


图4 燃气涡轮发动机的燃烧室
断面（根据泰弟斯的介绍）。

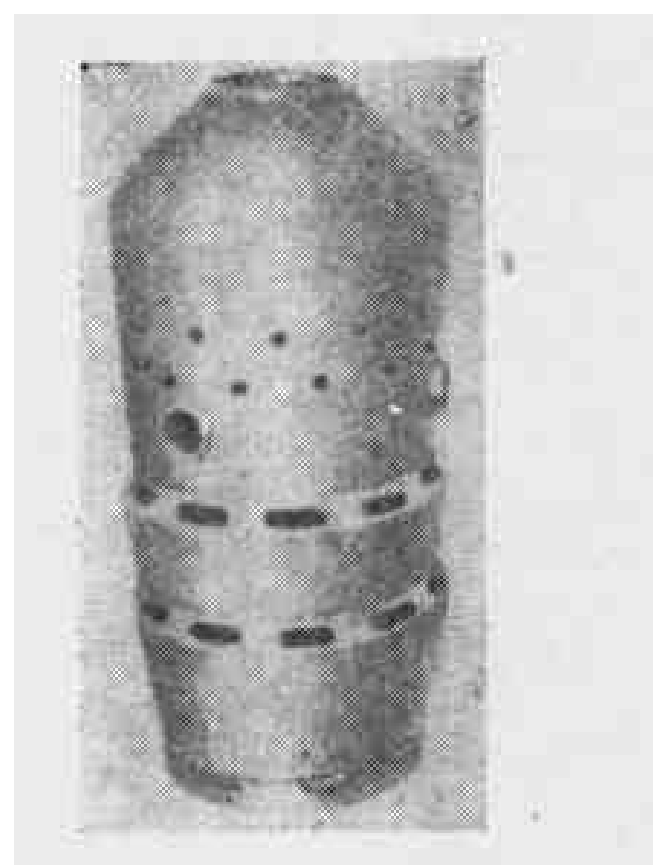


图5 图4所示的燃烧室成品铸件（根据泰弟斯的介绍）。

这是一个燃气涡轮发动机的燃烧室。它的总长为350毫米，最大外径为268毫米，壁厚平均只有1.5毫米。特别应该指出的是许多孔和槽，它们必须铸得格外整齐和精确，因为该铸件所用的材料是一种最大含碳量为0.08%、含镍量为75%、含铬量为22%和含钛量为2.75%的耐高温的镍合金，而这种材料是不能切削加工的。成品铸件如图5所示。

图6为一燃气涡轮进气管铸件，该铸件同样也是使用耐高温合金钢制成的，其直径为750毫米，平均壁厚为2毫米，净重为24公斤。

它有8个支管全部铸在一个环形体上。这个零件从前是用几块钢板件焊接而成的，由图可以了解到该铸件对造型和铸造方法

所提出的高度技术要求。

图 7 所示的铸件是一个重量为 4 公斤，用耐高温高强度合金钢制成的转子。

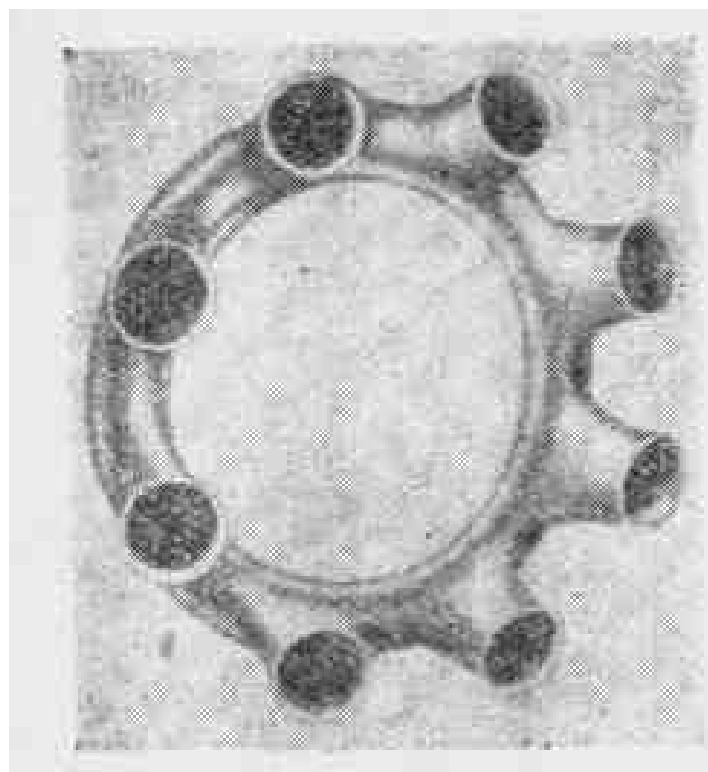


图 6 带 8 个支管的环形空心件（根据泰弟斯的介绍）。



图 7 耐高温合金钢转子（根据庸克尔和斯头尔茨的介绍）。

该毛坯的尺寸精确度达到了只有用磨削余量来作为加工余量的程度。由于该铸件使用了中央直浇口与几个冒口连在一起的浇注技术（见图 113），铸造工作者对其极感兴趣。

图 8 所示为一雷达器械零件，该零件采用熔模铸造以后，制造费用仅是原来的四分之一。

过去这个部件是由二十几个零件，在使用昂贵的、极其精确的量具和夹具的条件下，用银焊料焊接在一起的。而现在该零件是在模子没有斜度的情况下铸造出来的。铸件的材料是硅镁铝合金。零件的厚度公差小于 0.075

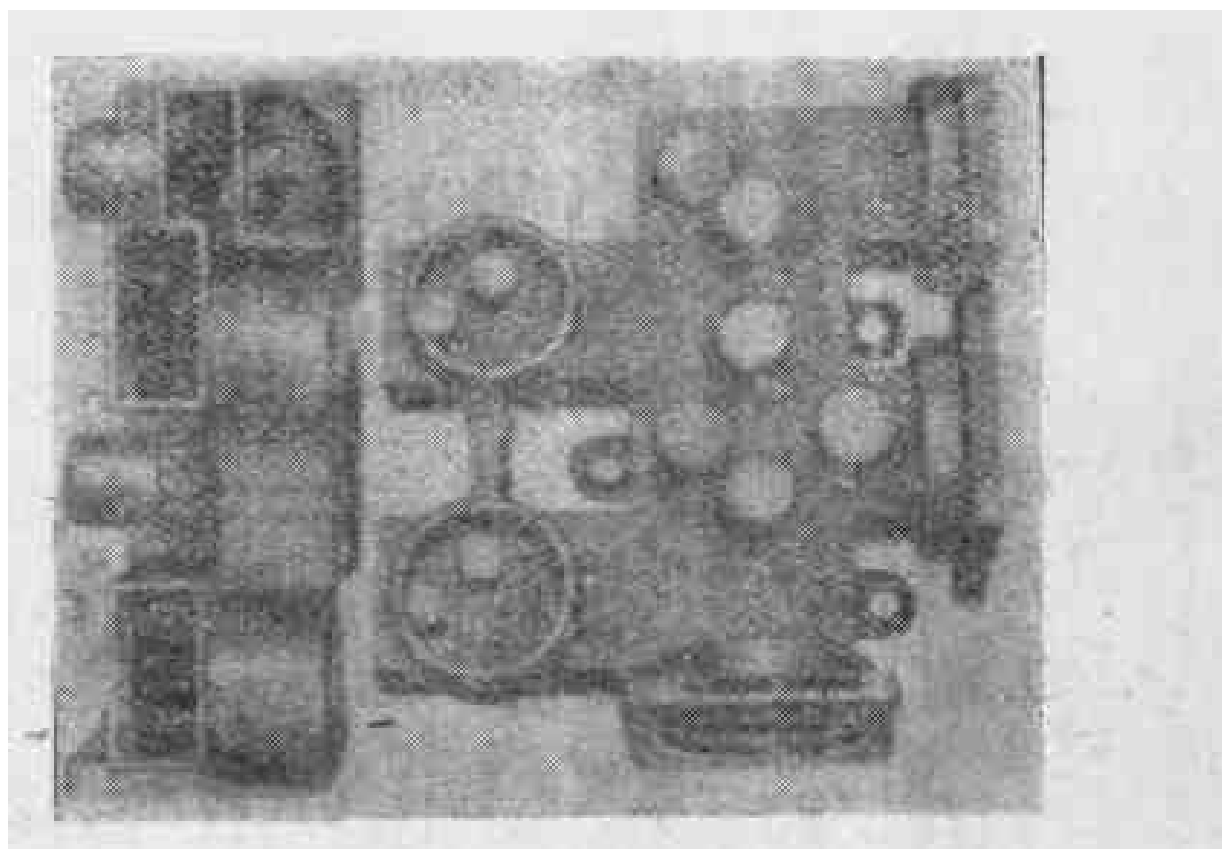


图 8 硅镁合金雷达器械铸件[根据乌德（Wood）和鲁德维希（Ludwig）的介绍]。