

202516



航空材料学

А. И. 弗罗洛夫 著
Д. А. 雷任斯基



国防工业出版社

2
563

航空材料学

航空技术学校教学参考书

A. И. 弗罗洛夫 著

Л. А. 雷任斯基

楊复麟 沈嗣唐 譯



国防工业出版社

內容介紹

本書為中等航空技術學校學生的教學參考書。本書內容系敘述航空用金屬及合金的物理、化學、機械和工藝等特性的基本知識。其中包括碳鋼、特殊鋼、耐熱合金以及有色金屬合金的特性。有關金屬腐蝕及防腐方法問題，以單獨的章節敘述。本書中航空用非金屬材料——塑料、漆料、紡織材料、橡膠材料、絕熱材料、絕電材料和封嚴材料——的基本知識，也作了詳細地敘述。

本教學參考書系由 А.И. 弗羅洛夫（序言及第一、三、四、六、七、八章）和 Д.А. 雷任斯基（第二、五、九、十、十一、十二章）編寫的，由 А.И. 弗羅洛夫作總校訂。

АВИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Военное Издательство

Министерства Обороны Союза ССР

Москва—1954

本書系根據國防部軍事出版社

一九五四年俄文版譯出

航空材料學

〔蘇〕弗羅洛夫

雷任斯基 著

楊復麟 沈嗣唐 譯

*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 號

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

850×1168 1/32 • 81¹/₁₆ 印張 • 插頁 1 • 224 千字

一九五八年十月第一版

一九五八年十月北京第一次印刷

印數：1-1,700 冊 • 定價：（10）1.70 元

目 录

序 言	6
第 一 章 金属的一般性质	13
§ 1. 航空材料的主要类别	13
§ 2. 对航空材料的要求	15
§ 3. 金属的物理化学性质	16
§ 4. 关于主要变形类型和载荷类型的概念	22
§ 5. 金属和合金的主要的机械性质	27
§ 6. 拉伸试验	28
§ 7. 金属的硬度及测定硬度的基本方法	36
§ 8. 动力试验。冲击韧性的测定	40
§ 9. 金属的疲劳。持久（疲劳）极限的测定	43
§ 10. 高温试验	47
§ 11. 金属的工艺性质	54
第 二 章 钢的金相学与热处理	59
§ 12. 金属和合金的结构。结晶	59
§ 13. 重结晶。铁的异形变态的概念	62
§ 14. 金相学的方法	64
§ 15. 合金的概念	68
§ 16. 第一类平衡图	71
§ 17. 铁碳合金的组织	74
§ 18. 契尔诺夫图（铁碳合金平衡图）	76
§ 19. 钢的热处理	81
§ 20. 钢热处理的特殊方法	94
§ 21. 钢的化学热处理	99
第 三 章 铁碳合金	106
§ 22. 碳素钢	107
§ 23. 结构钢和工具碳素钢的特点	110

§ 24. 关于特殊鋼的一般介紹	113
§ 25. 在航空发动机結構中应用的几种 主要合金鋼的特点	119
§ 26. 飞机制造业中应用的合金鋼	124
§ 27. 灰口鉄	128
第 四 章 耐热和抗热合金	131
§ 28. 空气噴气发动机主要零件的工作条件	131
§ 29. 对制造空气噴气发动机主要零件用材料的要求	133
§ 30. 关于耐热性和提高耐热性方法的概念	135
§ 31. 提高金属和合金抗热性的方法	138
§ 32. 主要几类热稳定合金的特点	139
第 五 章 有色金属和合金	145
§ 33. 概論	145
§ 34. 鋁、鋁的性質、牌号及其用途	148
§ 35. 高强度鋁合金——硬鋁和 B95	151
§ 36. 硬鋁的热处理	157
§ 37. 深冲压用的 AMn 和 AMr 合金	163
§ 38. 鍛造和冲压用的鋁合金	164
§ 39. 鑄造用鋁合金	167
§ 40. 鎂和鎂合金	169
§ 41. 黃銅	173
§ 42. 青銅	176
第 六 章 金属与合金的腐蝕及其防护方法	178
§ 43. 腐蝕的一般知識	178
§ 44. 电化腐蝕	182
§ 45. 鋼的腐蝕和鋼零件的防护方法	183
§ 46. 鋁合金的腐蝕及其防护方法	194
§ 47. 鎂合金的腐蝕及其防护方法	199
§ 48. 飞机上防护层的維護	200
第 七 章 油漆材料	202
§ 49. 概論	202

§ 50. 油基漆的組成	204
§ 51. 航空用油基清漆、底漆、膩子和磁漆	207
§ 52. 聚氯乙烯和過氯乙烯漆	212
§ 53. 硝化纖維漆的簡述	216
§ 54. 防護劑和洗漆劑	218
第八章 紡織材料	220
§ 55. 概論	220
§ 56. 天然纖維制紡織材料	221
§ 57. 人造纖維制紡織材料	224
第九章 塑料	228
§ 58. 概論	228
§ 59. 塑料的組成部分	232
§ 60. 透明塑料	233
§ 61. 含酚醛樹脂為主的塑料	237
§ 62. 含纖維填充劑的酚醛塑料	239
§ 63. 結構用層合塑料	242
§ 64. 摩擦塑料	246
第十章 橡膠材料	248
§ 65. 關於橡膠的概念。天然橡膠和合成橡膠	248
§ 66. 橡膠的組成。橡膠制件的製造	256
§ 67. 航空用橡膠零件	258
§ 68. 橡膠液	263
§ 69. 橡膠制件的儲存	264
第十一章 絕緣材料	266
§ 70. 概論	266
§ 71. 飛機上電器無線電設備所用各種 主要類型電介質的特性	268
第十二章 絕熱和密封材料	272
§ 72. 絕熱和隔音材料	272
§ 73. 密封材料	274

序 言

本教学参考書的任务，是闡明有关航空材料即航空发动机結構和飞机結構所采用的各种材料的基本知識。

研究航空材料的化学成分，制造方法，性質和实际应用的实用科学，叫做航空材料学。

航空人員特別是航空技術人員，为了完成其日常工作起見，必須熟悉航空材料学的原理。航空材料学有助于在技术上合理地使用、保管及修理航空发动机和飞机。这門科学对于材料、半成品和备件的正确組織保管，以及在修理用的必需材料缺乏时，对于材料代用品的正确选择，都有很大帮助。在研究飞机和发动机的結構、計算零件强度和研究很多其他专题时，也同样需要有航空材料学的巩固知識。

苏联是航空材料学的发源地。正因为我国在战前五年計劃的年代里，飞跃地发展了航空事业和航空工业，航空材料学才正式成为一門科学，后来它就得到了迅速的发展和日臻完善。

航空材料学是建立在材料学、金屬工艺学、普通商品学及其他許多实用科学的基础之上的，在这些科学的建立和发展方面，俄罗斯学者和苏联学者起了巨大的作用。航空材料学的理論基础，是数学、物理学、化学、力学和材料力学。

关于金屬的科学原理，是天才的俄罗斯学者 M. B. 罗蒙諾索夫（Ломоносов, 1711~1765）創立的；他除了是許多其他科学的創立者之外，也还是化学、化学工艺学和地質学的創立者。M. B. 罗蒙諾索夫不仅奠定了金屬的科学原理，而且又培养了許多俄罗斯冶金专家的骨干。

在十八世紀末，俄国的冶金业已获得了巨大的成就。在很长期間內俄国在黑色金屬生产方面占世界第一位。当时，烏拉尔是

世界上最大的冶金工业中心，烏拉爾的铁是質量最好的，向很多国家輸出。以后，封建制度的俄国随着西欧各国資本主义的发展而开始落后于其他国家，但是“在十九世紀二十年代，俄国的生铁冶炼量仍比法国多半倍，比普魯士多三倍半，比比利時多两倍”^①。

我国在十九世紀，曾有許多对金屬学发展起很大作用的发明創造。

天才的俄罗斯工程师П.П.阿諾索夫(Аносов, 1797~1851)，力求获得高强度鋼，他是世界上最先利用显微鏡来研究鋼的組織的，并制訂了金屬組織的研究方法，后来把这种研究方法叫做高倍組織分析和低倍組織分析。

П.П.阿諾索夫是世界上第一个解决了熔炼高級優質碳鋼問題的，他研究了鉻、錳和鈦对鋼的性質的影响，打下了生产特种鋼的基础，制訂了利用重新冶炼生铁来从生铁中提炼鋼的方法。

除此之外，П.П.阿諾索夫在鋼的热处理和化学热处理的理論和实际方面，尤其是在渗碳工艺方面，增加了很多新的內容。П.П.阿諾索夫的許多发明創造，都先于外国科学数十年，他的一些著作，直到目前还具有一定意义。

偉大的俄罗斯学者，Л.К.契尔諾夫(Чернов, 1839—1921)是金相学即金屬的組織科学的創立者，他在金屬的科学发展方面起了重要的作用。

在十九世紀的后半期，俄国开始迅速地发展資本主义，发展工业，敷設铁路。在这个时期，又进行了改革軍备和建立海上蒸汽艦艇的工作。不但金屬的需用量大，同时对金屬質量的要求也高。当时用鋼炮装备軍隊和艦艇，曾花費了很大的劳动，因为炮厂不能制出質量良好的鋼炮筒。在試驗射击时，很多炮筒都崩断了。某些沙皇官員表示必須从国外訂購大炮，并拒絕建立自己炮

① 見列寧文选中譯本。

8

厂。这就进一步加强了俄国对西欧各国的依赖地位，并导致俄国变为殖民地国家。

当时，年青的学者Л.К.契尔诺夫进行了他研究钢的组织 的著名工作。Л.К.契尔诺夫发现了在热处理时促进晶体形成过程和晶体重建过程的一般规律；他用这个规律奠定了金相学的基础，并创立了钢的热处理的理论。

Л.К.契尔诺夫的工作，具有世界意义，因为他在世界上最先发现金属组织在热处理时变化的最普遍的规律，使得金属学成为现代科学，此外，他的发现帮助了俄罗斯学者和工程师能够顺利地冶炼出国产的优质钢，并促进了俄国冶金业的独立性及其顺利地进一步发展。

天才的俄罗斯学者Д.И.门捷列夫（1834~1907）所发现的化学元素周期律，以及他在溶液、结晶学和有机化学的理论方面的工作，对于金属学、材料学以及有关物质结构的近代学说的发展有着特殊的意义。

Д.И.门捷列夫和Л.К.契尔诺夫的工作，成为科学的金属学继续发展的基础。

Л.К.契尔诺夫的学生及其继承者，在金属学的今后发展和冶金工业的发展方面，起了巨大的作用。

А.А.勒任朔塔尔斯基（Ржещотарский, 1847~1904），1895年在彼得堡奥布霍夫工厂建立了俄国第一个金相试验室，并在把金属的科学研究方法运用到工厂实际方面进行了巨大的工作。此外，他在金属学方面写过名著：“淬火理论”和“铁、钢和生铁的微观研究”。

А.А.勒任朔塔尔斯基的学生和继承者、院士А.А.巴伊可夫（Баи́ков, 1870~1946），在冶金业和金属科学的发展方面起过重要的作用，他在冶金方法，材料学及物理化学的理论方面编写过许多著作。苏联政府授予А.А.巴伊可夫以社会主义劳动英雄称号，并将苏联科学院冶金科学研究所冠以他的名字。

院士Н.С.庫爾納科夫 (Курнаков, 1860~1941), 对科学有很大的功績。他制訂了合金的物理化学分析的方法, 并研究了合金的性質与其成分变化的关系問題。

在偉大的十月社会主义革命之后, 特別广泛地开展了金属学的研究工作。当时在苏联科学院和地方分科学研究所, 都成立了專門的金属試驗室。建立一些專門的金属科学研究所, 如列宁格勒金属研究所, 在許多高等学校里設立了金属学講座, 在大型的冶金工厂和机器制造厂中建立了金相試驗室。所有这些試驗室和研究所, 都装备有試驗設備, 并有数千科学工作者在进行工作。

苏联科学由于苏联政府和共产党的领导, 有了突飞猛进的发展; 而許多科学, 其中包括金属学, 已发展成世界第一位。

在第一个五年计划的年代里, 院士Н.С.庫爾納科夫和А.А.巴伊可夫都完成了很重要的工作。

在这个期間, Н.А.明凱維奇 (Минкевич, 1883~1942)、А.Л.巴包笙 (Бабошин, 1872~1938)、С.С.史捷因別尔格 (Штейнберг, 1872~1940) 及其他許多著名的苏联学者和工程师都开展了許多很有价值的科学活动。

Н.А.明凱維奇研究了許多有关鋼的热处理和化学热处理的重要理論問題, 他参加了許多苏联大型工厂热处理車間的建立工作, 同时又培养了大批的金属学学者。

А.Л.巴包笙編写了巨大的金相学教学参考書, 在其內容中闡明和提出很多苏联的金属学論点, 并叙述了許多有关金属試驗方法的新成就。

С.С.史捷因別尔格及其学生Г.В.庫爾鳩英夫 (Курдюмов) 創立了鋼的热处理的新理論。由于Г.В.庫爾鳩英夫在这方面的成就, 在1949年授予他斯大林獎金。

在有色金属及合金方面, 苏联学者作了很大的貢獻。

А.М.包契瓦尔 (Бочвар) 教授在有色金属的理論方面进行过巨大的工作, 他制訂了許多在实际运用中获得广泛使用的合金

牌号。

В.А.布达洛夫(Буталов)、Ю.Г.穆扎列夫斯基(Музалевский)、С.М.沃罗诺夫(Воронков)、Б.Е.沃罗维克(Воловик)、А.А.包契瓦尔、С.Т.康诺别耶夫斯基(Конобеевский)、Д.А.彼得洛夫(Петров)等同志的工作,对掌握生产航空用高强度铝合金方面起了很大的作用。

Ю.Г.穆扎列夫斯基和С.М.沃罗诺夫,在1925~1927年确定了铝合金的处理规范,而在1934~1935年制取了新牌号的高强度铝合金,这些合金直到现在仍保有其使用价值。

有色合金理论的许多工作,都是社会主义劳动英雄А.А.包奇瓦尔院士所完成的。

在近几年来,苏联制取了В95高强度铝合金,并应用在航空制造业中,这种合金的强度比硬铝的强度高半倍。苏联航空材料研究院,莫斯科航空工艺学院及一些航空工厂的工作人员,都参与了В95铝合金的研究和应用工作。

在金属学的发展同时,有关材料的其他科学领域也随之发展。创制了新的材料——塑料,制订了各种塑料的配方,许多工厂已掌握了这种材料的生产,并将其应用在飞机结构和航空发动机结构上。

生橡胶、橡胶、各种新的纤维材料和纺织品、漆料、绝电材料、绝热材料、封严材料——类似这些材料还很多,此处不逐项列举,同金属和合金一样被广泛地应用在航空工业中。

大批的俄罗斯学者和苏联学者都参与了这些非金属材料的研究和试制工作。

有机物质是组成大部分航空用非金属材料的基础。俄罗斯化学家Н.Н.济宁(Зинин)、А.М.布特列罗夫(Бутлеров)、В.В.马尔科夫尼科夫(Марковников)、А.М.翟采夫(Зайцев)和М.И.康诺瓦洛夫(Конвалов)等同志的工作,对非金属材料科学领域有很大意义。

卓越的苏联学者Н.Д.杰林斯基 (Зелинский) 和А.Е.法沃尔斯基 (Фаворский), 在其过去的工作中, 对科学给予了巨大的贡献。

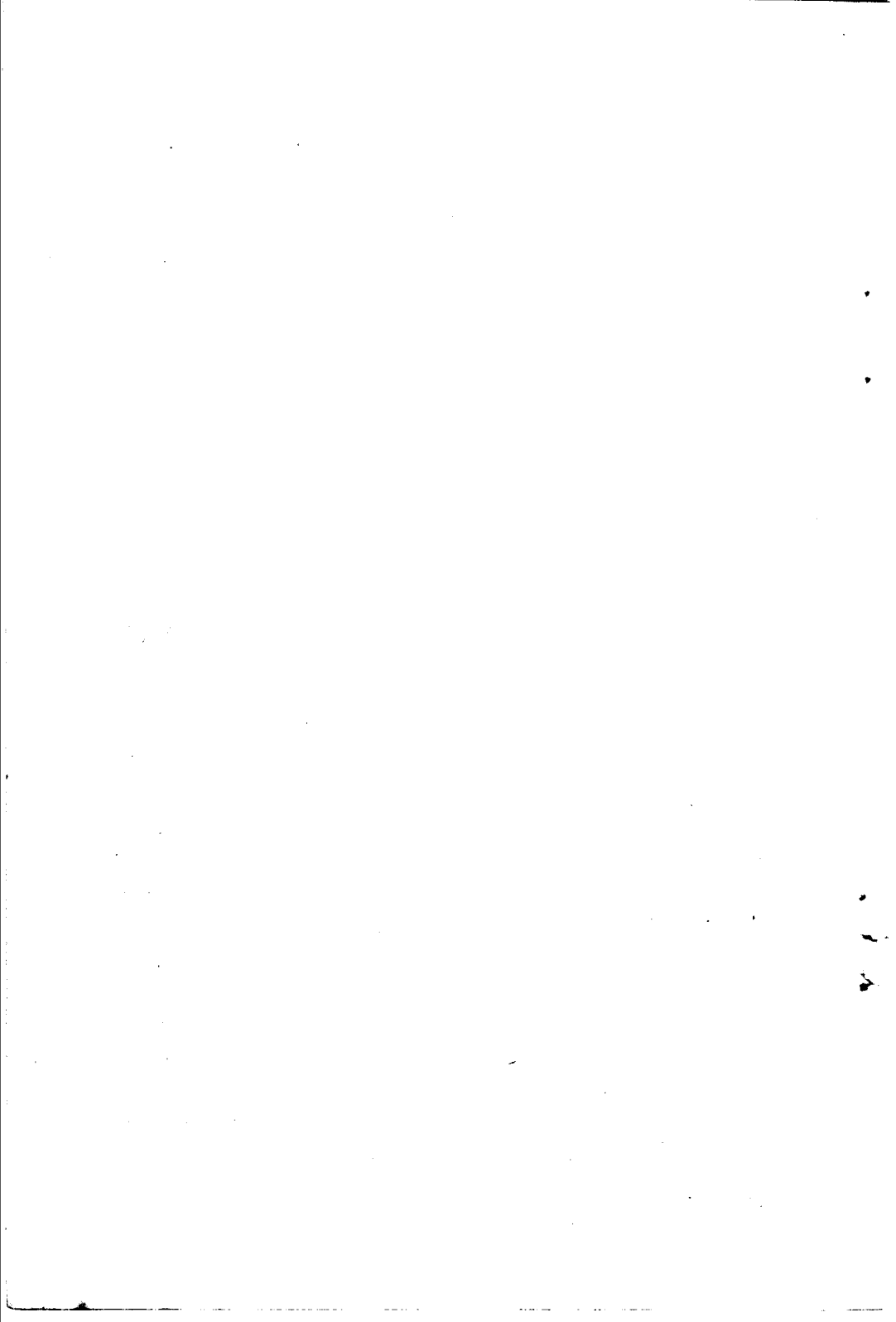
因而, 在十九世纪末, 创立了有机物质结构的理论, 制订了制造塑料用的各种原材料和半成品、人造纤维以及其他非金属材料等的生产方法。

在第一个五年计划的年代里, 建立了合成橡胶工业、塑料工业和人造纤维工业, 根本改造了, 实质上也就是从新建立了橡胶工业、油漆工业和纺织工业。在这方面起了巨大作用的有下列各科学研究所: 加尔波夫研究所、橡胶工业科学研究所 (НИИРП)、塑料科学研究所 (НИИПластмасс)、油漆工业科学研究所 (НИИЛК) 等。苏联学者的最大功绩是他们在世界上最先制出合成橡胶。由于组织合成橡胶的工业生产, 而使得苏联完全摆脱了必须从国外进口生橡胶和橡胶制品的问题。合成橡胶的创造者是院士С.В.列别捷夫 (Лебедев)、А.Е.法沃尔斯基、Н.Д.杰林斯基和教授貝佐夫 (Бизов)。

苏联的航空发动机设计师和飞机设计师拥有各种高强度的金属、合金和非金属材料的品种, 苏联工业按需要数量向各航空工厂供应这些高强度的材料。

在苏联科学和技术的发展过程中, 已积累了有关航空工业用材料的必需知识, 航空材料学已形成了一门独立的科学。在航空材料学的形成和发展当中, 起重大作用的有各航空高等学校, 如茹考夫斯基航空军事工程学院, 莫斯科奥尔忠尼启则航空学院及其他科学研究单位, 如苏联航空材料研究院 (ВИАМ) 以及各航空工厂的试验室和车间。在试制新材料时, 工厂所起的作用特别重大。各研究所、学校和工厂之间的亲密友谊, 科学家与劳动者之间的经常联系和互相帮助, 创造了显著的成就。

在苏联共产党第十九次代表大会决议中所规划的发展苏联科学和技术的美好远景, 特别是给航空材料学的继续发展开辟了新的可能性。



第一章 金屬的一般性質

§ 1. 航空材料的主要類別

現代飛機和航空發動機結構上所採用的材料種類極其繁多。
這些材料可分為兩大類：

I. 金屬及合金；

II. 非金屬材料。

金屬和合金也分為兩類：

1. 黑色金屬及合金；

2. 有色金屬及合金。

黑色金屬中有：鐵及其合金——鋼、生鐵。

有色金屬中有：鎳、鉻、鋁、鎂、銅、鋅、錫及這些金屬的合金。

在航空工業中，廣泛地利用有色金屬的合金：

鋁合金：硬鋁、B95合金、AMn合金、鋁硅合金等；

鎂合金，其牌號為：MJ4、MJ5、MA1、MA2等；

銅合金：黃銅、青銅。

非金屬材料分為好多類：

1. 木質材料：木材、膠合板；

2. 油漆材料：漆、底漆、磁漆；

3. 紡織材料：布、布帶、綫；

4. 橡膠材料：橡膠、膠液；

5. 塑料：有機玻璃、酚醛塑膠、“蓋其那克”絕緣膠木、夾布膠木等；

6. 絕緣材料：雲母、絕緣紙、膠布、塑料；

7. 封嚴材料：紡織品、橡膠、皮革、金屬等材料；

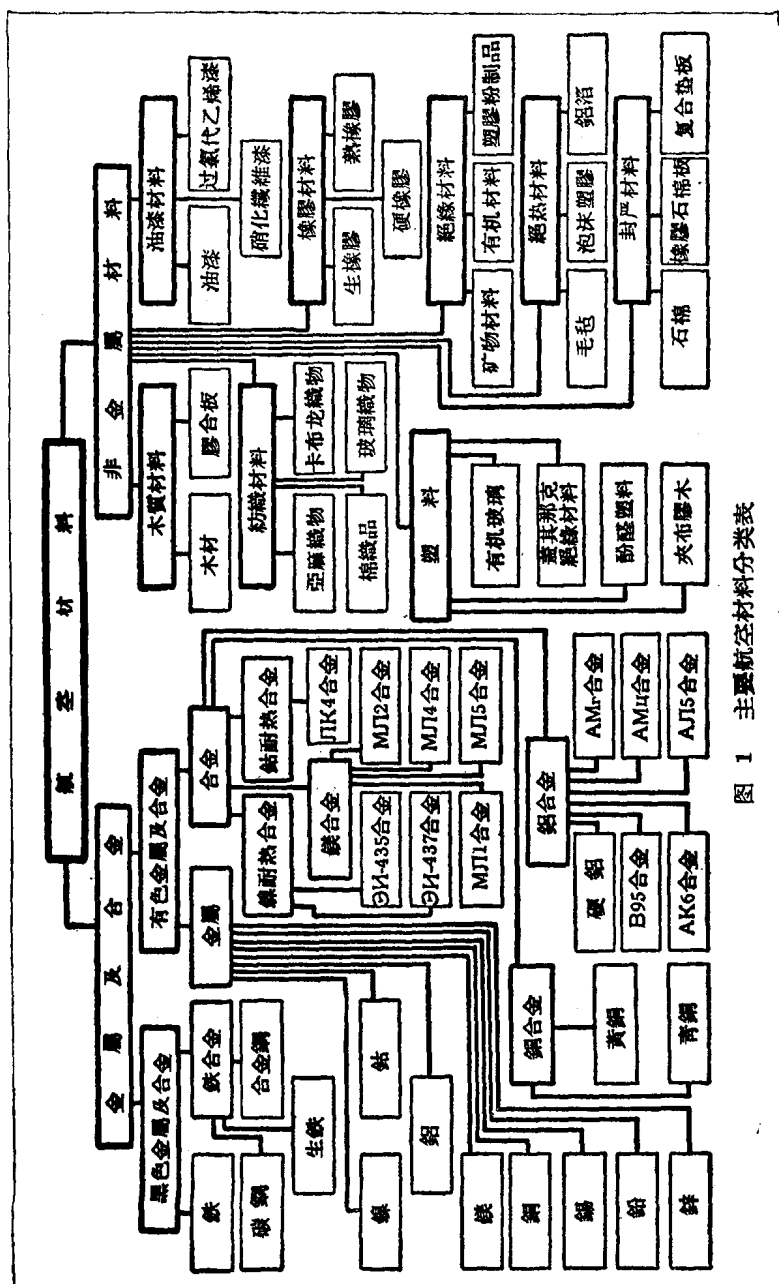


图 1 主要航空材料分类表

8. 絕热材料和隔音材料: 布、毛毡、泡沫塑胶或多孔塑胶(用合成树脂制造的显微松孔材料)。

为使分类更为明了起见, 现将主要的航空材料, 以系統图形式列出(图 1)。但須指出, 这个材料系統分类表远未包括所有的航空材料。

(苏联) 有很丰富的各种各样的原料和生产各种航空材料的工业。因此, 航空工厂、空軍及修理厂可以获得足量的各种优质的必需材料。

§ 2. 对航空材料的要求

所謂現代技术, 就是意味着高速、高温、高压的应用。对于航空技术来講, 尤其是这样。現代的飞机和航空发动机的零件, 都在非常恶劣的条件下工作: 須承受巨大載荷、激变温度和化学作用活潑的外界介質的作用。航空設計师在設計飞机或发动机时, 所選擇的材料要能保証: 結構在最小重量的条件下, 长时期可靠的工作, 易于加工、价格低廉、在自己的国家里有足够的产量。由此可見, 航空結構上所需用的材料, 必須能滿足一定的要求。这些材料必須: 比重小、强度高、易于加工、牢固耐用、价格低廉和来源充足。除了这些一般的要求以外, 对于飞机和发动机个别零件的材料还有特殊的要求, 譬如制造燃气渦輪叶片用的合金, 在高温下必須具有高的强度和稳定性。茲将各种要求分別叙述如下。

材料的比重有很大的意义。采用比重小的材料, 可以減輕单个零件的重量和整个飞机的重量。飞机的飞行重量是飞机自重和有效載荷燃料、彈藥、乘員等) 的总和。采用比重小的材料, 可以減輕飞机自重和增加有效載荷。

高强度的材料能保証結構的牢靠性, 可以减小零件的截面尺寸及其重量。强度高而且比重小的材料对于航空設計师来講, 尤其重要, 例如高强度的鋁合金(硬鋁、B95合金等)。

航空材料必須易于加工，例如金屬及合金應宜于鑄造、鍛造、輾壓及在金屬切削機床上加工。在這種條件下，零件的製造過程就更加簡單和便宜。此外，零件應有良好的焊接性，因為焊接能加速飛機和發動機的部件裝配過程，並降低其成本。

航空材料必須堅固耐用，也就是在工作條件下和保管情況下能抵抗外界介質的破壞作用和工作載荷。這樣就可保證飛機長期使用的可能性，並易于維護和保管其零件。

航空材料的應用範圍很廣，因此這些材料的價格必須低廉，其來源亦必須充足，也就是能大量地供應工業。

在現代航空工業中，使用能完全滿足上述要求的合金作為主要結構材料。特殊鋼和高強度的鋁合金，就屬於這類合金。

§ 3. 金屬的物理化學性質

航空工業部門的工程技術人員，必須通曉航空材料的性質，特別是金屬的性質，否則就不可能正確地使用和修理飛機和航空發動機。

在本章中將敘述金屬的物理性質、化學性質、機械性質和工藝性質。

所有的化學元素分為金屬和非金屬兩種。金屬有很多不同于非金屬的特性。

遠在十八世紀，偉大的俄羅斯學者М.В. 羅蒙諾索夫（Ломоносов）就給金屬下了第一個定義：“金屬是可鍛的光澤物體”。這個定義直到現在還有着它的實際意義，因為在這個定義中，指出了金屬的兩種最重要的獨有的特性：光澤和可鍛性或塑性。現在還應在這個定義中加上金屬的另外兩個特性：高的導電性和導熱性。

金屬的物理性質取決于金屬組織。一切金屬在固態下都有結晶組織。晶體是金屬從液態變成固態的過程中形成的。這種過程叫做結晶。熔化的金屬原子處于不規則的運動狀態，其運動速