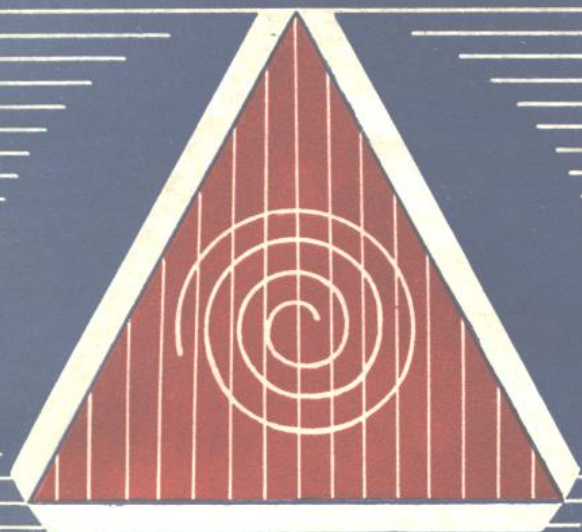




〔苏〕莫洛季洛娃 主编

简光沂 译 阮乃扬 校

# 精密合金手册

北京科学技术出版社

75.53073  
412

# 精密合金手册

[苏] B. B. 莫洛季洛娃 主编

简光沂 译

阮乃扬 校

31555/52

北京科学技术出版社



## 精密合金手册

【苏】Б.Б. 莫洛季洛娃 主编

简光沂 译

阮乃扬 校

北京科学技术出版社出版

(北京西直门外南路19号)

---

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
河北固安县印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 16印张 352千字

1989年4月第一版 1989年4月第一次印刷

印数1—3,600册

---

ISBN 7-5304-0271-4/T·46

定价: 5.70元

## 内 容 提 要

本手册对具有特殊性能和用途的金属和合金（即通称精密合金）进行了分类，并指出其应用范围。概括和系统地综述了关于软磁合金（包括薄电工钢带）、硬磁合金（可加工永磁合金）、膨胀合金、弹性合金、电阻合金、非晶合金、低温合金和热双金属的化学成分、品种、物理性能、机械性能、组织和工艺特性。同时还介绍了这些合金的性能与各种加工和试验条件的关系。

书末还列出了苏联、美国、日本、联邦德国、民主德国、英国、法国、澳大利亚、瑞典等国的精密合金牌号对照表，这对读者了解世界精密合金的发展和水平提供了非常宝贵的资料和数据。

本手册可供冶金、电工、机械制造、仪表制造以及其它涉及精密合金的制造、加工和应用的工业部门的研究人员、设计人员、技术工人阅读参考。对有关高等院校，中等专业学校的教师和学生也很有参考价值。

# 引言

所谓精密合金，是指具有特殊的物理性能和机械性能的合金。其性能水平取决于准确的化学成分，合金纯度（即不应含夹杂和有害杂质）、组织状态和高的制作精度。大多数情况下，为了使合金获得所要求的工作特性，就必须确保上述各种因素、化学成分和制造工艺技术的配合（例如熔炼、压力加工、中间热处理和最终热处理等）。

苏联国产的精密合金牌号达二百多种，其中包括带材、丝材、薄壁管、精密型材、棒材、锻材以及极薄带材（厚度小于 0.0015 毫米）。绝大多数精密合金牌号均为苏联中央黑色冶金科学研究所精密合金研究所研制制定。本手册中亦列举了该研究所和其它研究机构研制的变形精密合金的数据。

对精密合金，要求具有一定的组织状态，规定的磁特性、电特性、机械性能、化学性质和其它性质的配合。工业的迅速发展和用户水平的不断提高，对精密合金的要求更高、更严格了。要求在各种工作条件下合金性能稳定，规定的合金性能精度更为准确，变化小，并在工作状态下保证性能不变。只有提高现有合金的质量和研制新型的精密合金，才能满足如此严格的和复杂的要求。一般的铁、钴、镍合金已不能满足逐渐扩大和提高的要求了。目前一些添加稀有元素和稀土元素的铬基、钛基、锰基、铌基等新合金正在迅速发展。

精密合金制品和零件尽管尺寸小，但在仪表、仪器和自动化系统所起的作用是重要的。它们作为电源、放大器或主体信号滤波器，使整个系统工作，并决定着系统的精确度和可靠性。因此，合金的质量、性能和应用等问题引起各工业部门，特别是无线电、电工和仪表制造等工业部门的广大

专业工作者的浓厚兴趣。

精密合金按其物理性能和应用范围可分为下列几类：软磁合金、硬磁合金、膨胀合金、弹性合金、电阻合金、非晶合金、低温合金和热双金属。

软磁合金在弱磁场中具有高导磁率和低矫顽力。可以用来制造磁导体铁心、无线电通讯设备的磁屏蔽，在雷达、自动装置、无线电控制、计算机等中亦广为应用。

硬磁合金具有高的磁能，可用来做存储器元件——信号载体、无线电设备。按规定程序工作的自动化系统和计算机信息存储器等中之永久磁铁。

膨胀合金用于电子管和电子束装置中同各种玻璃，陶瓷和其它电介质封接，并可用来做具有恒定尺寸的测量仪表的零件。

高弹性合金具有综合的弹性，可以用来做弹簧和弹性元件，测量仪表之弹性敏感元件、流量计振动片，选择和调整规定频率的滤波器之谐振器。

电阻合金具有高的电阻系数和耐热性，可用来做无线电电子仪器的标准电阻，由热负荷和机械负荷记录和控制的仪表仪器的应变片，工业电炉和家用电器中的加热元件。

非晶合金是一类新型的精密合金。这类合金的组织、制造方法、在温度-时间平衡图上的存在区域，以及性能等方面均与晶态合金差异甚大。

低温合金在 $-269\sim 20^{\circ}\text{C}$ 的低温下具有综合的热、电、磁和机械性能。

热双金属是由两种或两种以上不同线膨胀系数的金属和合金，经全部接触表面焊接结合而成。主要用来做各种补偿装置、调温器以及家用电器中自动调节负荷和温度的元件。

## 常 用 符 号

---

- $\mu^*$  磁导率  
 $\mu \sim$  同上, 在交变磁场中  
 $\mu_a$  初始磁导率  
 $\mu_{a \sim}$  同上, 在交变磁场中  
 $\mu_H$  在指定磁场强度  $H$  下的磁导率 (磁场, 安/米)  
 $\mu_{H \sim}$  同上, 在交变磁场中  
 $\mu_{H/f}$  在频率为  $f$  (赫) 磁场强度为  $H$  (安/米) 中的磁导率  
 $\mu_{\max}$  最大磁导率  
 $\mu_{\max \sim}$  同上, 在交变磁场中  
 $\mu$  复数磁导率  
 $\mu'$  复数磁导率的实数部分  
 $\mu''$  复数磁导率的虚数部分  
 $\mu_p$  单极脉冲反复磁化时的磁导率  
 $\Delta\mu$  磁导率变化量  
 $\Delta\mu \sim$  同上, 在交变磁场中  
 $\mu_{\text{eff}}$  按磁场有效值定义的磁导率  
 $\mu_{1\max}$  按磁场基波定义的磁导率  
 $\mu_{\text{rev}}$  可逆磁导率  
 $\mu_0$  磁导常数  
 $\chi$  磁化率, 顺磁磁化率

---

\* 在所有场合均取相对磁导率的值。即材料磁导率与真空磁导率之比。

|                |                      |
|----------------|----------------------|
| $\phi$         | 磁通                   |
| $M$            | 磁化强度; 热双金属的敏感系数      |
| $M_s$          | 饱和磁化强度               |
| $B$            | 磁感                   |
| $B \sim$       | 同上, 在交变磁场中           |
| $B_H$          | 在指定磁场 $H$ (安/米) 中的磁感 |
| $B_H \sim$     | 同上, 在交变磁场中           |
| $B_{\max}$     | 规定磁化回线的最大磁感          |
| $B_{\mu\max}$  | 在最大磁导率的磁场中磁化时的最大磁感   |
| $B_s$          | 技术饱和时的磁感             |
| $B_r$          | 剩余磁感                 |
| $B'_{\mu\max}$ | 在最大磁导率的磁场中磁化时的剩余磁感   |
| $B_{1\max}$    | 磁感基波的振幅值             |
| $\Delta B$     | 磁感变化量                |
| $B_r/B_{\max}$ | 矩形比                  |
| $H$            | 磁场强度; 显微硬度           |
| $H \sim$       | 同上, 在交变磁场中           |
| $H_{\max}$     | 指定磁化回线的最大磁场强度        |
| $H_{\mu\max}$  | 最大磁导率时的磁场强度          |
| $H_c$          | 矫顽力                  |
| $H_c \sim$     | 同上, 交变磁场中            |
| $H_{c\mu\max}$ | 同上, 在最大磁导率的磁场中磁化时    |
| $H_{CB}$       | 按磁感定义的矫顽力            |
| $H_{CM}$       | 按磁化强度定义的矫顽力          |
| $H_{st}$       | 启动磁场                 |
| $H_f$          | 终止磁场                 |
| $H_{st}/H_c$   | 起始系数                 |

- $H_t/H_c$  终止系数  
 $H_{1\max}$  磁场基波振幅值  
 $H_{\text{eff}}$  磁场有效值  
 $H_0$  脉冲下的阈场  
 $\Delta H$  磁场变化量  
 $\Delta H \sim$  同上，在交变磁场中  
 $H_{k2}$  上临界磁场  
 $H'$  超导体中的磁通穿透场  
 $S_w$  在脉冲充磁制度下的开关系数  
 $f$  频率；悬臂固定的热双金属片末端的挠度  
 $J$  电流密度  
 $j_k$  水平磁场中的临界电流密度（4.2 K时）  
 $(BH)_{\max}$  磁能积  
 $B_t H_c$  能积  
 $U$  电压  
 $P$  总比损耗  
 $P_h$  比磁滞损耗  
 $P_{h\mu, \max}$  在最大磁导率磁场中磁化时的比磁滞损耗  
 $P_B/f$  在磁感  $B$  和频率  $f$  下的总比损耗  
 $\text{tg} \delta_m$  总磁损角的正切  
 $d_h$  磁滞损耗系数  
 $d_p$  涡流损耗系数  
 $d_r$  后效磁耗系数  
 $\alpha_n$  振幅不稳定系数  
 $\gamma$  磁滞回线隆起度系数；密度，螺旋线张角，扭转时的相对位移，扭转角  
 $N$  退磁因子

- $R$  磁-机械耦合系数
- $K$  各向异性常数; 热力学温度
- $\lambda_s$  饱和磁致伸缩系数
- $\alpha$  动态磁致伸缩系数; 导温系数
- $\tau$  在脉冲状态下的反复磁化时间; 脉冲长度持续时间, 或试验时间
- $\rho$  电阻率 (电阻系数)
- $\rho_1, \rho_2$  热双金属主动层和被动层的电阻率
- $Q$  绝对热电势系数
- $R$  电阻
- $R_0$  剩余电阻
- $\Sigma$  热电势; 应变; 弹性后效
- $\Sigma_y$  弹性应变
- $\Sigma_0$  永久应变
- $S$  应变敏感性; 金属薄板和金属丝的横截面积
- $\sigma_B$  极限强度 (瞬时强度, 即  $\sigma_b$ )
- $\sigma_{yn}$  弹性极限 (即  $\sigma_e$ )
- $\sigma_T$  屈服点 (物理的) (即  $\sigma_s$ )
- $\sigma_{H3}$  抗弯强度极限 (即  $\sigma_{bb}$ )
- $\sigma_{0.2}$  永久变形为 0.2% 时的 (条件的) 屈服点
- $\left. \begin{array}{l} \sigma_{0.005} \\ \sigma_{0.002} \\ \sigma_{0.001} \end{array} \right\}$  永久变形为 0.005%、0.002%、0.001% 时的屈服点
- $\sigma_{0.11}$  以应力轴弯曲变形形成的角的正切比原始值增加 50% 时的比例极限
- $\sigma_0$  初始松弛应力
- $\sigma_i$  松弛应力
- $\tau$  剪应力

|               |                                  |
|---------------|----------------------------------|
| $\tau_B$      | 抗扭强度 (极限)                        |
| $\tau_{0.3}$  | 抗扭屈服点                            |
| $\tau_{0.02}$ | 抗扭弹性极限                           |
| $\tau_{0.01}$ |                                  |
| $\delta$      | 延伸率 (断裂后); 工作间隙宽度                |
| $\Psi$        | 相对收缩率                            |
| $a_H$         | 相对冲击韧性                           |
| HRB           | B 度标洛氏硬度                         |
| HRC           | C 度标洛氏硬度                         |
| HB            | 布氏硬度                             |
| HV            | 维氏硬度                             |
| $H_{200}$     | 200 克 负荷时的硬度                     |
| $E$           | 正弹性模量; 电热势 (振幅值)                 |
| $E_D$         | 动力学弹性模量                          |
| $E_1, E_2$    | 热双金属主动层和被动层的弹性模量                 |
| $E_{\phi}$    | 热双金属的有效弹性模量                      |
| $G$           | 剪切弹性模量                           |
| $B_T$         | 弹性模量温度系数                         |
| $\Gamma$      | 机械滞后系数                           |
| $M_{kp}$      | 扭矩                               |
| $A$           | 热双金属的比弯曲; 晶格参数; 回复系数             |
| $n_{ckp}$     | 扭转试验时试样断裂前的扭转次数                  |
| $f^{(1/100)}$ | 悬臂固定的厚 1 毫米, 长 100 毫米的热双金属片末端的挠度 |
| $r$           | 镜面反射系数                           |
| $c$           | 比热                               |
| $c_p$         | 同上, 在恒压下                         |

|                               |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| $\lambda$                     | 热导率; 波长; 应力敏感系数     |
| $T_c$                         | 居里温度                |
| $T_0$                         | 德拜温度                |
| $T_{\Pi}$                     | 熔化温度; 弯折温度          |
| $T_p$                         | 再结晶温度; 推荐工作温度       |
| $T_{CT}$                      | 稳定化热处理温度            |
| $\Delta T_{\text{сн}}$        | 工作温度范围              |
| $T_k$                         | 从超导过渡到正常状态的温度       |
| $T_o, T_{\text{кoн}}$         | 试验开始和终了温度           |
| $T_{\text{нр}}$               | 极限工作温度              |
| $T_{\text{раб. макс}}$        | 非晶态合金制品的极限使用温度      |
| $T_x$                         | 从非晶状态转变为晶态的温度       |
| $\Delta T_k$                  | 超导转变宽度              |
| $\alpha_{\mu}$                | 在指定温度范围内磁导率温度系数的平均值 |
| $\alpha$                      | 线膨胀系数 (TKЛP)        |
| $\overline{\alpha}$           | 平均线膨胀系数             |
| $\alpha_a \alpha_{\Pi}$       | 热双金属主动层和被动层的线膨胀系数   |
| $\Delta \alpha$               | 热双金属主动层和被动层线膨胀系数之差  |
| $h_a, h_{\Pi}$                | 热双金属主动层和被动层的厚度      |
| $\alpha_{\rho}, \beta_{\rho}$ | 电阻温度系数              |
| $\alpha_{Br}$                 | 剩余磁感温度系数            |
| $\alpha_{\text{HC}}$          | 矫顽力温度系数             |
| TKЧ                           | 频率温度系数              |
| $b$                           | 宽度                  |
| $l$                           | 长度                  |
| $h$                           | 厚度                  |
| $\omega$                      | 匝数                  |

# 目 录

---

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第一章 软磁合金               | 1   |
| 1. 弱磁场中具有最高磁导率的合金      | 4   |
| 2. 具有高磁导率和较高电阻系数的合金    | 42  |
| 3. 具有高磁导率和较高饱和磁感的合金    | 48  |
| 4. 矩形磁滞回线合金            | 62  |
| 5. 高饱和磁感合金             | 95  |
| 6. 低剩余磁感合金             | 105 |
| 第二章 特殊性能软磁合金           | 119 |
| 1. 较高变形稳定性和耐磨性的合金      | 119 |
| 2. 具有给定线膨胀系数的软磁合金      | 127 |
| 3. 高耐蚀性软磁合金            | 131 |
| 4. 高磁致伸缩合金             | 139 |
| 5. 热磁合金和热磁材料           | 144 |
| 6. 在超高频率下工作的软磁合金 7Ю-ВИ | 152 |
| 7. Fe-Ni 基合金磁性与温度的关系   | 154 |
| 8. 软磁合金的辐照稳定性          | 158 |
| 第三章 特殊电工钢              | 162 |
| 1. 超薄各向异性电工钢带          | 163 |
| 2. 超薄各向同性电工钢带          | 168 |
| 3. 立方织构电工钢带            | 173 |
| 第四章 可变形硬磁合金            | 176 |
| 1. 永久磁铁用合金             | 180 |
| 2. 磁滞电机用硬磁合金           | 206 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 3. 存储器元件用合金               | 219 |
| 4. 磁记录载体用材料               | 224 |
| <b>第五章 定膨胀合金</b>          | 227 |
| 1. 概述及合金分类                | 227 |
| 2. 铁磁合金                   | 233 |
| 3. 无磁合金                   | 276 |
| <b>第六章 弹性合金</b>           | 291 |
| 1. 弥散硬化合金                 | 294 |
| 2. 变形硬化合金                 | 316 |
| 3. 恒弹性合金 (艾林瓦合金)          | 333 |
| 4. 弹性合金在医疗技术上的应用          | 348 |
| <b>第七章 高电阻合金</b>          | 351 |
| 1. 加热器用合金                 | 351 |
| 2. 电阻器用合金                 | 367 |
| <b>第八章 非晶合金</b>           | 384 |
| 1. 非晶软磁合金                 | 385 |
| 2. 非晶因瓦合金                 | 391 |
| 3. 非晶电阻合金                 | 392 |
| <b>第九章 低温合金</b>           | 393 |
| 1. 特殊电性能低温合金              | 394 |
| 2. 特殊磁性能低温合金              | 398 |
| 3. 特殊机械性能低温合金             | 400 |
| <b>第十章 热敏材料 (热双金属)</b>    | 407 |
| 1. 热双金属的一般性质              | 407 |
| 2. 热双金属的分类, 标准性能, 制造和试验方法 | 408 |
| 3. 高灵敏度热双金属ТБ2013、ТБ1613、 |     |

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| ТБ 1281, ТБ 1624 .....                                       | 418 |
| 4. 较高热敏性的热双金属 ТБ 1523, ТБ 1423,<br>ТБ 1323, ТБ 1224 .....    | 419 |
| 5. 中等和较低热敏性的热双金属 ТБ 1132,<br>ТБ 1032, ТБ 0921, ТБ 0831 ..... | 420 |
| 6. 低电阻系数的热双金属 .....                                          | 421 |
| 7. 高电阻系数的热双金属 .....                                          | 422 |
| 8. 特殊用途的热双金属和热敏材料 .....                                      | 423 |
| 第十一章 苏联和世界各国精密合金对照表 .....                                    | 426 |
| 附表 国际单位制单位同其它单位制单位换算表 .....                                  | 495 |

# 第一章 软磁合金

软磁合金是一种铁磁性合金，它的磁滞回线窄，矫顽力低。软磁合金矫顽力不受限制，但一般认为不应超过1000~1200安/米。

按照软磁合金的一般定义，变压器钢和其它电工钢，其中包括纯铁及某些结构铁磁钢和不锈钢磁钢，均应归入此类。但由于上述的钢和合金产品种类很多，以及其磁性能和用途(制造较大型的电机和变压器等)的特点，一般应把它们分为各自独立的若干类。

本书所列的软磁合金按磁性、电特性、机械性能和用途，可分成十二大类(见表1)。软磁合金在恒磁场中的磁性取决于合金的化学成分和最终热处理后的组织和织构。合金的组织和织构也同样取决于制造方法。某些性能(如饱和磁化强度和居里点)在成分变化不大的情况下，变动不大，一般同制造条件和热处理无关。反之，诸如磁导率、矫顽力、磁滞损耗等特性则与上述因素关系极大，并比其它物理性质对杂质含量的变化、热处理条件和制度更敏感，因而人们把上述物理性质称之为组织敏感性质。

组织敏感性质同时取决于化学成分、杂质含量、非金属夹杂、试验温度、晶体结构，其中包括超结构和感生各向异性，晶粒取向、晶格缺陷和应力。并与合金成分所决定的基本物理常数(磁各向异性常数、磁致伸缩常数)有关。上述各种因素可能对组织敏感性产生不同程度的影响，有时这些因素在相反方向上起作用，例如，具有正磁致伸缩和负磁致

伸缩的合金在弹性极限区内的拉应力和压应力。正因为如此，在制造软磁合金时可以采用各种不同工序（熔炼、热轧、冷轧、中间热处理和最终热处理）对组织、各向异性（晶体的和感生的）、非金属夹杂和杂质原子的类型和数量以及其它因素定向施加影响，以期达到所要求的性能配合和水平。

因此，软磁合金的制造工艺过程，从原材料的选取开始到最终热处理结束，一般都有严格规定。

目前工业生产的软磁合金一般是使用非真空感应炉，真空感应炉，以及带有控制气氛的感应炉熔炼的。在某些情况下，为了获得极值性能，也采用各种形式的重熔工艺，例如电渣重熔、电子束重熔和等离子重熔。

金属锭的再加工可以采用各种方法，诸如：锻造、热轧、温轧、冷轧、拔丝、在纯净的保护介质或真空中进行热处理以及热磁处理（在纵向和横向磁场中）等。

在每种具体情况下，熔炼工艺和后步工序的工艺都要由该合金最终性能的形成机理所决定。

国定全苏标准（ГОСТ）和技术条件（ТУ）规定的软磁合金的性能，只能在冷加工带材（片材、棒材）制成的制品（磁导体）和在规定条件下按推荐的制度热处理之后才得以保证。

鉴于主要磁性能对塑性变形和弹性变形（薄片的落料，矫正，带材的剪切和卷缠、修整、钻孔、焊接、电镀等）产生的局部和宏观的作用十分敏感，所以制造磁导体的全部工艺都必须在最终热处理前进行完毕。

在某些情况下，例如制造磁记录磁头时，最终热处理之后还必须进行一些会产生应力的工序（浸渍、机械抛光）。