

精密合金 手册

〔苏〕O. H. Альтаузен 等 编

简 光 沂 译

阮 乃 扬 校

北 京 冶 金 研 究 所

精密合金

手册

Б. В. Молотиллов 主编 [苏]

简光沂 译

阮乃扬 校

北京冶金研究所

1975年12月

北 京

Прецизионные сплавы (справочник)

Б. В. Молотиллов 主编 [苏]

*

精密合金手册

简光沂 译

阮乃扬 校

开本 787×1092 1/32 · 字数 340 千字

北京冶金研究所出版

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

* * *

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

* * *

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

译 者 按

本手册对精密合金进行了分类并指出了使用范围，概括和系统地综述了关于软磁合金、可加工永磁合金、电阻合金、膨胀合金、弹性合金、超导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。同时例举了性能与加工和使用条件的关系。

本书可供冶金、电工、仪表制造和其它涉及到精密合金的制造、加工及应用的工业部门的工人、干部、技术人员以及有关高等院校教师和工农兵学员参考。

必须指出，这个手册只限于提供苏联在精密合金研制和生产方面的概貌，并不反映世界各国在这个领域的发展水平。手册中列举的指标和相应的生产工艺并不是先进的，有一些已相当陈旧和落后，而且有某些论点是不甚确切的，应该加以商榷的。因此，在参考这个手册时，我们必须遵照毛主席“古为今用，洋为中用”和“去粗取精，去伪存真”的教导，吸取其有益的成份，批判其误谬的东西。

本书在译校过程中陈其安等同志曾对若干章节作了校阅。

引 用 符 号

μ	导磁率		磁率
$\mu_{\sim}$	同上, 在交变磁场中	μ_i	可逆导磁率
μ_0	初始导磁率	I	磁化强度
$\mu_{0\sim}$	同上, 在交变磁场中	I_s	饱和磁化强度
μ_1, μ_2	在指定磁场(毫奥)中的导磁率	χ	磁化率
μ_{12}, μ_{21}	同上, 在交变磁场中	B	磁感
μ_m	最大导磁率	$B_{\sim}$	同上, 在交变磁场中
$\mu_{m\sim}$	同上, 在交变磁场中	B_m	规定磁化循环的最大磁感
μ_t	指定温度(°C)下的导磁率	$B_{m\sim}$	同上, 在交变磁场中
μ_t°	同上, 在交变磁场中	$B_m^{\mu m}$	在最大导磁率的磁场中的最大磁感
μ°	复数导磁率	B_s	技术饱和时的磁感
μ'	复数导磁率的实数部分	B_r	剩余磁感
μ''	复数导磁率的虚数部分	B_0	偏磁化的磁感
μ_d	微分导磁率	$(BH)_m$	最大磁能积
$\mu_{d\sim}$	同上, 在交流磁场中	$B'^2_{\sim}$	在交流磁场中的剩余磁感
μ_H	单极脉冲反复磁化时的导磁率	$B_r^{\mu m}$	同上, 在最大导磁率的磁场中磁化时
$\Delta\mu$	导磁率的变化	B_H	在磁场 H (奥) 中的磁感
$\Delta\mu_{\sim}$	同上, 在交流磁场中	$B_{H\sim}$	同上, 在交变磁场中
μ_A	单极反复磁化时的导磁率	B_{1m}	磁感基波的振幅值
μ_d	按磁场有效值定义的导磁率	B_n	脉冲磁化状态下的磁感
μ_{1m}	按磁场基波定义的导	ΔB	磁感变化量
		$\Delta B_{\sim}$	同上, 在交变磁场中

K_H	矩形比系数	U	电压
$K_H\sim$	同上, 在交变磁场中	P_r	比磁滞损耗
H	磁场强度; 显微硬度	$P_{B/r} \times f$	在折合为频率的磁感 B 下的比磁滞损耗
$H\sim$	同上, 在交变磁场中	P	总比损耗; 力
H_m	指定磁化循环的最大 磁场强度	$P_{B/f}$	在磁感 B 和频率 f 下 的总比损耗
$H_{m\sim}$	同上, 在交变磁场中	P_B	比涡流损耗
$H_m^{\mu m}$	最大导磁率时的磁场 强度	$P_r^{\mu m}$	在最大导磁率的磁场 下磁化时的比磁滞损 耗
H	矫顽力	$\frac{P_r^{\mu m}}{H_m^{\mu m}}$	同上, 用磁场强度作 单位
$H_{e\sim}$	同上, 在交变磁场 中	$\text{tg} \delta_M$	总磁损角正切
$H_c^{\mu m}$	同上, 在最大导磁率 的磁场中磁化时	η_r	磁滞损耗系数
H_{cr}	启动磁场	η_B	涡流损耗系数
H_Φ	终止磁场	η_H	后效损耗系数
H_{cr}/H	起始系数	α_H	振幅不稳定性系数
H_Φ/H	终止系数	K_B^{μ}	在最大导磁率磁场下 磁化时的迴线隆起系 数
H_H	脉冲磁化状态 下的磁场强度	N	退磁因子
H_{1m}	磁场基波振幅值	k	磁-机械耦合系数
H_H	磁场有效值	K	各向异性常数
H_0	脉冲状态下的阈场	a	动力学磁致伸缩系数
ΔH	磁场变化量	Δ	应力敏感性系数
$\Delta H\sim$	同上, 在交变磁场中	τ	在脉冲状态下的反复 磁化时间; 脉冲长度、 保持和试验时间
S_a	在脉冲磁化状态下的 开关系数	λ_c	饱和磁致伸缩系数
f	挠度; 频率		
F	频率范围		
i	电流		

α_B	在 $-40 \sim +100^\circ\text{C}$ 温度范围内磁感的温度系数的平均值	$\sigma_{0.2}$ $\sigma_{0.005}$	永久变形为 0.2、0.005% 等时的(条件的)屈服点
α	线膨胀系数(ТКЛР)	σ_p	应力-应变曲线的正切角增长到初始值 50% 时的比例极限
$\bar{\alpha}$	平均线膨胀系数	σ_τ	抗扭强度
α_1, α_2	热双金属主动层和被动层的线膨胀系数	σ_0	初始松弛应力
$\Delta\alpha$	热双金属主动层和被动层的线膨胀系数之差	σ_r	松弛应力
γ	密度; 螺旋线的张角	δ	延伸率(断裂后); 工作间隙宽度
ρ	电阻率	ψ	断面收缩率(断裂后)
ρ_1, ρ_2	热双金属主动层和被动层的电阻率	a_H	单位冲击韧性
ρ_{20}	20°C 下热双金属的电阻率	HRB	B 度标洛氏硬度
R	电阻	HRC	C 度标洛氏硬度
α	电阻温度系数	HB	布氏硬度
e	热电势; 应变; 弹性后效	HV	维氏硬度
ε_y	弹性应变	E	正弹性模量; 电动势(振幅值)
ε_0	永久应变	E_R	动力学弹性模量
S	应变敏感性; 薄板和金属丝的横截面积	E_1, E_2	热双金属主动层和被动层的弹性模量
σ_B	抗拉强度	$E_{\Phi\Phi}$	热双金属的有效弹性模量
σ_y	弹性极限	G	剪切弹性模量
$\sigma_{сж}$	抗压强度极限	β_y	弹性模量温度系数
σ_T	屈服点(物理的)	θ_0	居里温度
σ_{H3}	抗弯强度极限	θ_D	德拜温度
		c	比热
		c_p	同上, 在常压下

λ	导热率; 波长	b	宽度 (载体、端、记录路线、薄片等等)
T_n	熔化温度; 弯折温度	l	长度 (载体, 薄片)
T_p	再结晶温度	h	厚度 (载体, 薄片)
T_K	从超导过渡到正常状态的温度	h_1, h_2	热双金属主动层和被 动层的厚度
H_K	磁场变化的临界速度	A	热双金属的比弯曲; 晶格参数; 返回系数
H_{K2}	表面临界磁场	ω	匝数
j_K	横向磁场中的临界电 流密度 (在 4.2 K 下)	M	热双金属的敏感系 数; 马氏体转变温度
S_a	超导混合材料的总横 截面	r	镜面反射系数
S_{cn}	超导体的横截面	M_{kp}	转矩
Γ	机械滞后系数	M_{cnp}	扭转次数
κ	维塔利-兰道参数		

目 录

引用符号	i
第一章 软磁合金	1
1. 在弱磁场中具有最高导磁率的合金	8
2. 具有高导磁率和较高电阻率的合金	46
3. 具有高的导磁率和较高饱和磁感的合金	53
4. 具有矩形磁滞回线的合金	67
5. 具有矩形磁滞回线的合金 (微米厚度)	96
6. 具有高饱和磁感的合金	103
7. 具有低剩磁的合金	113
8. 具有较高变形稳定性和耐磨性的合金	126
9. 具有指定线膨胀温度系数的软磁合金	135
10. 高抗蚀性合金	139
11. 高磁致伸缩合金	145
12. 热磁合金和热磁材料	155
13. 铁镍基合金磁性的温度关系	163
14. 软磁合金的辐射性能	167
第二章 可变形硬磁合金	172
1. 永久磁铁用合金	174
Fe-Ni-Al 系和 Fe-Co-Ni-Al 系合金	174
钴、铁和贵金属为基的合金	184
Fe-Co-V 系合金	191
Fe-Ni-Mn 系合金	195
Cu-Ni-Co 系和 Cu-Ni-Fe 系合金	195
Fe-Cr-Ni 系合金	197
Mn-Al 和 Mn-Ga 系合金	198

Fe-Al-C 系合金	203
合金化的硬磁钢	205
2. 磁滞电动机用硬磁合金	208
Fe-Co-V 系合金	209
Fe-Co-Cr-V 系、Fe-Co-Ni-V 系和 Fe-Co-Cr 系合金	221
Fe-Co-W-Mo 系和 Fe-Cr-W-Mo 系合金	243
Fe-Ni-Mn 系合金	258
Fe-Ni-Al-Nb 系合金	260
3. 磁记录载体用材料	264
第三章 电阻合金	268
1. 电阻和应变合金	268
2. 电热合金	282
3. 热敏电阻合金	294
第四章 膨胀合金	296
1. 低膨胀合金	304
2. 铁磁性定膨胀合金	326
3. 无磁定膨胀合金	355
第五章 弹性合金	366
1. 弥散硬化合金	367
Fe-Ni-Cr 基合金	367
Ni-Cr 基合金	381
Cr-Ni 系合金	387
Co-Ni 基合金	393
Nb-Ti 基合金	396
2. 变形硬化合金	400
Co-Cr-Ni 基合金	400
Co-Ni-Cr 基钟表发条用无磁合金 (织构型)	413
3. 恒弹性合金 (艾林瓦)	416
第六章 超导材料	431

1. 高临界电流密度的超导材料	431
2. 具有指定的超导和非超导(标准)参数配合的超导材料	442
第七章 热双金属	447
1. 热双金属的品种和性能	449
2. 热双金属的试验方法	464
3. 新的热双金属	467
4. 热双金属应用的一般介绍	470
附表: 一系列测量单位的换算值	473

第一章 软磁合金

软磁合金是一种铁磁性合金，其特征是具有窄的磁滞迴线和小的矫顽力。虽然软磁材料不受矫顽力的具体数值的限制，但可以认为该值不超过 10~12 奥。

按照软磁合金的一般定义，属于这类合金的还有变压器钢和其它电工钢(其中包括纯铁)以及某些结构的和不锈的铁磁性钢。然而，基于上述合金和钢的目录以及它们的磁性能和应用（较大型的电机制造、变压器制造等）的特点，通常将其分为独立的一类，所以它们未列入手册内。

按照主要的磁性能、电性能、机械性能和应用可将本章所述的软磁合金分为 12 类（表 1）。软磁合金在直流磁场中的磁性能由最终热处理后的化学成分、组织和织构决定。而合金的组织 and 织构本身也取决于制造方法。当成分发生不大的变化时某些性能（饱和磁化强度和居里点）也发生比较微弱的变化，一般不取决于制造条件加热处理。反之，诸如导磁率、矫顽力和磁滞损失等特性强烈地依赖于这些因素，且比其它物理性能对杂质含量或热处理的条件和制度较敏感。因而把它们称为组织敏感性。

组织敏感性也决定于化学成分、杂质和非金属夹杂的含量、试验温度、结晶组织，其中包括晶粒的超结构，感生各向异性和取向、晶格缺陷和应力。通过决定于合金总成分的基本物理常数（各向异性常数和磁致伸缩常数）的数值，上述各因素在不同程度上可以影响组织敏感性。有时这些因素在相反方向上（例如在具有正或负磁致伸缩的合金中的弹性

表 1 软磁合金的分类、一般技术性能和用途

类 别	合 金 牌 号	一般技术性能	用 途
1	2	3	4
在弱磁场中具有最高导磁率的合金	79НМ, 79НМУ, 80НХС, 80НХС-ВИ, 76НХД, 76НХД-ВИ, 80НМ, 77НМД, 72НМДХ, 77НВ, 80НХ, 83НФ, 81НМА, 78Н	最高的导磁率值 ($\mu_a = 20000 \sim 300000$ 高/奥, $\mu_m = 100000 \sim 1000000$ 高/奥); 最低的矫顽力值: 0.05~0.005奥(在中等饱和磁感值 6000~8000高斯下)	小型变压器、抗流圈、继电器、探伤仪和磁记录装置磁头的铁心; 磁屏
具有高导磁率和较高电阻系数的合金	50НХС, 50НХС-ВИ, 38НС, 12Ю, 12ЮК	高的导磁率 ($\mu_a = 1500 \sim 6000$ 高/奥, $\mu_m = 15000 \sim 100000$ 高/奥); 电阻系数 0.9~1 微欧·米[(欧·毫米 ²)/米](在 9000~14000 高斯饱和磁感下)	通讯设备、抗流圈、和脉冲变压器的铁心
高导磁率和较高饱和磁感的合金	45Н, 50Н, 50НУ, 50Н-ПД, 33НКС	高的导磁率 ($\mu_a = 2000 \sim 5000$ 高/奥, $\mu_m = 20000 \sim 100000$ 高/奥)。饱和磁感不小于 15000 高斯。	级间的和小型电力变压器、抗流圈、继电器和磁路零件的铁心。
矩形磁滞回线的合金	50НП, 50НПУ, 50НП-ВИ, 50НПУ-ВИ, 50НП-ЭЛ, 50НП-ПД, 65НП, 34НКСМ, 68НМП, 35НКСМ, 35НКСМ-ВИ, 35НКСМ-ЭЛ, 37НКСД, 37НКСДВИ, 40НКСМЛ, 79НМ, 80Н2М	最高的最大导磁率 ($\mu_m = 40000 \sim 1200000$ 高/奥)和在达 15000 高斯的饱和磁感下大的磁滞回线的矩形比 ($B_r/B_s = 0.90 \sim 0.98$)	磁放大器、无接点继电器、接触整流器、调幅器抗流圈, 脉冲变压器、磁性元件和计算装置等铁心。

续表 1

类 别	合 金 牌 号	一般技术性能	用 途
1	2	3	4
微米厚度的矩形磁滞迴线合金	79HM、77HMD、 81HMA、 80H2M、80HЮ	高的磁滞迴线矩形比 ($B_r/B_m=0.9\sim 0.96$); 矫顽力= $0.04\sim 0.6$ 奥, 低的反复磁化系数。	磁记忆元件, 译码器、位移记录器等的温度稳定性铁心。
高饱和磁感合金	27KX、49KΦ2 49KΦ、50KΦ 05HC	最高的饱和磁感(达24000高斯)和较高的居里点	普通磁铁和超导磁铁、电磁铁、小型电力变压器、抗流圈、磁放大器、磁屏、电机转子和定子、电话振动片、磁致伸缩装置等的铁心和极靴
低剩余磁感合金	47HK、47HKX、 64H、68HM、 79HM3、40H KMΠЛ	低的剩余磁感 (B_r 的5%); 导磁率与磁化场的关系不大; 温度变化和磁场作用时高的稳定性	脉冲变压器和宽频带变压器的铁心。
较高变形稳定性和耐磨的合金	16ЮX、 16ЮИХ、 10СЮ、 81HMA	最高的硬度 (HV 250~500)、强度(σ_B 达75公斤/毫米 ²)耐磨性并结合高的导磁率($\mu_5=10000\sim 50000$ 高/奥)和电阻系数达1.5[(欧·毫米 ²)/米]	电报和电视录象的记录头和复制头铁心。
给定线膨胀系数的合金	52H、47HD、 47H5K	线膨胀系数接近玻璃; 当饱和磁感为13000~16000高斯时矫顽力低于0.2奥	密闭磁触点的磁性元件
高抗蚀性合金	36KHM、16X	在高湿度、海水的条件下以及在很多活性介质中具有高的抗蚀性。	在湿的和侵蚀性介质中无保护层下工作的各种控制系统、电枢和电磁铁的磁导体, 以及风动阀和液压阀的磁导体

续表 1

类 别	合 金 牌 号	一般技术性能	用 途
1	2	3	4
高磁致伸缩合金	8IO、12IO、 14IO、65K、 50KΦ	最高的磁致伸缩值： $35\sim 80\times 10^{-8}$ 和低的 矫顽力：0.3~3奥	超声波、水声 装置、电机滤波 器、线性阻挡器 的磁致伸缩变流 器铁心。
热磁合金和热 磁材料	31HXГ、31HX、 32HX、33HX、 38HX、33HIO、 30HГ、 32HXIO、 TKM-08-1 TKM-09-1 TKM-012-1 TKM-015-1 TKM-015-2 TKM-017-1	在30~1500奥磁场 范围内陡度为30~60 高斯/度时磁感的线 性温度关系	测试仪表和电 真空装置的补偿 磁分路

极限范围内的拉应力和压应力)起作用。正是由于在制造软磁合金时可以用各种工艺过程(熔炼、热轧、冷轧、中间或最终热处理),而使得非金属夹杂和杂质原子的类型和数量以及其它因素对组织和各向异性(结晶的或感生的)产生定向的作用,因而达到了所要求的性能配合和水平。

因此,软磁合金的制造工艺过程照例是严格规定以选择炉料开始以最终热处理结束。

目前软磁合金在工业条件下熔炼是在非真空和真空感应炉中进行的。在某些情况下为了获得极值性能而利用各种类型的重熔:电渣重熔、电子束重熔、等离子弧重熔。

钢锭的随后处理采用各种加工方法进行。这些加工方法是:锻造、热轧、温轧、冷轧、拉丝、热处理(在控制精炼介质和真空中)和热磁处理(在纵向或横向磁场中)。

在每个个别场合下，熔炼工艺和随后工序均决定于给定成分的合金最终性能的形成机理。

按 ГОСТ 和技术条件规定，软磁合金的性能是由冷带（片、棒）制成另件后通过热处理（在规定的条件下，按推荐的制度）来保证的。由于主要磁性能对引起塑性或弹性变形（铲凿、矫直、剪切、缠绕、修整、钻孔、焊接、上绝缘层等）具有高的敏感性，所以制造磁导体的全部工艺过程都必须在最终热处理之前进行完毕。

在某些情况下，例如制造磁头时最终热处理后的一些会引起产生应力的工序（浸渍和机械抛光）是不可避免的。此时应考虑到磁性能不可避免的降低，当然，其降低的程度将

表 2 软磁合金冷轧带材的尺寸和公差

厚度, 毫米	厚度公差, 毫米	宽度, 毫米	带长,米(不小于)
0.02~0.03	- 0.003	30~100	30
0.04~0.05	- 0.008	30~100	30
0.06~0.08	- 0.01	70~200	30
0.1~0.15	- 0.02	80~250	20
0.18~0.25	- 0.03	80~250	20
0.28~0.4	- 0.04	80~250	10
0.45~0.7	- 0.05	80~250	6
0.75~0.95	- 0.07	100~250	1
1~1.35	- 0.09	100~250	1
1.4~1.75	- 0.11	100~250	1
1.8~2.3	- 0.13	100~250	1
2.35~2.5	- 0.16	100~250	1

注：1. 厚度小于 0.02 毫米和大于 2.5 毫米的带材按 用户和生产厂协商供货。

2. 供需双方同意的情况下,高轧制精度的带材按 ГОСТ 503-71 规定的公差交货。