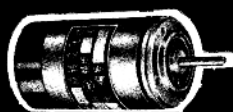


常用金属弹性材料手册



北京图书馆藏

N 15299

中文资料

微 特 电 机

常用金属磁性材料手册

(内部资料 注意保存)

一九七四年十一月



A 841306

前 言

在伟大领袖毛主席亲自发动和领导的批林批孔运动推动下，在深挖洞，广积粮，不称霸和抓革命，促生产，促工作，促战备的方针指导下，我国无产阶级专政更加巩固，国民经济正在出现蓬勃发展的新形势。随着微特电机技术的迅速发展，相应对磁性弹性材料也提出了新的要求。为了适应发展的需要，我们在总结过去工作的基础上，搜集补充了有关资料，编印成《微特电机常用金属磁性弹性材料手册》，以供微特电机设计、生产作参考。

本手册收入微特电机常用金属磁性材料和金属弹性材料多种。其中有：金属软磁材料铁硅系合金、铁镍系合金、铁钴系合金和铁铝系合金；金属磁滞材料铁钴钨系合金和廉价磁滞材料；金属永磁材料铝镍钴系合金和稀土钴永磁合金以及金属弹性材料。简要地介绍了这些材料的牌号、规格、成份和组织结构以及热处理工艺与其电磁、物理、机械性能的关系。提供了特殊环境对软磁材料性能影响的数据。并附有直流和交流磁特性曲线。

由于我们水平有限，经验不足，搜集的资料又不很全面，《手册》中还可能存在很多问题，希望同志们批评指正。在编印本《手册》时，得到有关单位的大力支持和指导，特表谢意。

编 者

一九七四年十一月

毛主席语录

只有社会主义能够救中国。

我们的方针要放在什么基点上？放在自己力量的基点上，叫做自力更生。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。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。

目 录

第一章 金属软磁材料

§ 1—1 概 述.....	1
§ 1—2 工程纯铁.....	1
§ 1—3 铁硅系合金.....	2
§ 1—4 铁镍系合金.....	7
§ 1—5 铁钴系合金.....	16
§ 1—6 铁铝系合金.....	17
§ 1—7 软磁合金的动态性能.....	25
§ 1—8 特殊环境下软磁合金的磁性能.....	34

第二章 金属磁滞材料

§ 2—1 概 述.....	45
§ 2—2 铁钴钒系合金.....	45
§ 2—3 铁锰镍系合金.....	49
§ 2—4 铁钴钼系合金.....	50
§ 2—5 铁钴钨合金.....	53
§ 2—6 铁钴钼钨合金.....	55
§ 2—7 铁钼铬合金.....	55
§ 2—8 钨钢 (2J64)、铬钢.....	57

第三章 金属永磁材料

§ 3—1 概 述.....	59
§ 3—2 以铁镍铝为基的磁钢.....	59
§ 3—3 粉末磁钢.....	63
§ 3—4 稀土钴永磁材料.....	65

第四章 金属弹性材料

§ 4—1 概 述.....	68
§ 4—2 铜 合 金.....	69
§ 4—3 弹 簧 钢.....	78
§ 4—4 特殊弹性合金.....	82

第五章 磁性能及弹性能的测试方法

§ 5—1 磁性能的测试方法.....	89
§ 5—2 弹性模量及其温度系数的测试方法.....	93
附录一 冶金工业部部颁标准和草案摘要.....	97
附录二 金属软磁材料的交直流磁性能曲线.....	151
附录三 几种金属软磁材料在各种温度下的磁性能曲线.....	269
附录四 金属磁滞材料的磁性能曲线.....	293
附录五 金属磁性材料和金属弹性材料国内新老牌号与国外牌号 对照表.....	319
附录六 符号说明.....	325
附录七 名词解释.....	329

第一章 金属软磁材料

§ 1—1 概 述

金属软磁材料被广泛应用于现代电工技术、通讯技术和自动控制等领域。它的主要特征是：

1. 矫顽力 H_c 较小，通常只有十分之几到千分之几奥斯特。
2. 导磁率大，其最大导磁率 $\mu_{\max}$ 一般从几千到几十万，甚至可以高达100万以上。

因此，金属软磁材料的磁滞迴线较窄，磁滞损耗很小，磁阻也低，极易被磁化或退磁。

由于微特电机的品种繁多，对材料的饱和磁感应强度、电阻率、方形比、温度稳定性、防锈性能和磁化曲线线性等也各有不同的要求。因此，对各种软磁材料有一个概要的了解是很有必要的。

微特电机常用的金属软磁材料主要有工程纯铁，铁硅系、铁镍系、铁钴系和铁铝系合金，现分别介绍如下。

§ 1—2 工程纯铁

工程纯铁有很高的饱和磁感应强度，高的导磁率，良好的机械加工性能，而且价格便宜，所以是一种重要的软磁材料。工程纯铁主要有：电解铁、阿姆柯铁和滕基铁。它们可用作直流微特电机的磁路。但在使用时必须充分考虑到它们的电阻率较低和发生老化现象。

工程纯铁的热处理工艺如表1—1所示。

表1—1

热 处 理	温 度 (°C)	保温时间 (小时)	冷却速度 (°C/小时)	保护气氛	出炉温度 (°C)
普通退火	850~900	3~4	100	氢气或真空	350
高温退火	1250~1300	3~4	100	氢 气	400

对磁性要求比较高的情况下，应尽量采用高温退火。长时间的高温退火可以消除有害杂质，促使晶粒长大，从而进一步提高了磁性能。一般情况下，只采用普通退火。

工程纯铁的磁性能如表1—2所示。

表1—2

材 料	μ_0	$\mu_{\max}$	Hc(奥)	B_1 (高)	B_5 (高)	B_{10} (高)	B_{25} (高)	B_{50} (高)
电 解 铁	500	6000~ 15000	0.3~1.2					
阿姆柯铁			0.5~1.5	5000~ 9000	14500~ 18500	15500~ 20000	16500~ 20800	17500~ 21900
碳 基 铁	1000~ 3000	15000~ 21500	0.08~ 0.8					

§ 1—3 铁硅系合金

由于硅钢具有良好的磁性能，且资源丰富，价格低廉，为电讯、电力工业广泛采用。

硅钢分热轧和冷轧两类，具体牌号及性能详见《电工用热轧硅钢薄板部颁标准 YB73—70》和《冷轧硅钢标准草案》（附录一）。现将微特电机常用十种硅钢牌号标准摘录于表 1—3。

影响硅钢磁性能的因素很多，相互影响也很复杂，这里仅就主要方面作以下简介。

（一）相 图

由铁硅合金相图（图1—1）可见，当合金的含硅量超过 2.5%（重量百分比，下同）时， γ 相的区域消失。因此对于含硅高于2.5%的合金可进行高温退火，使得晶粒长大，以便获得良好的磁性能。但是实用合金中总含有少量碳、硫、磷等杂质元素。碳的存在，将使含 4%Si 的二元合金相图演变成如图 1—2 所示，由此不难看出当含碳量为 0.02% 时就将出现两相区，故必须严格控制合金中的有害杂质。

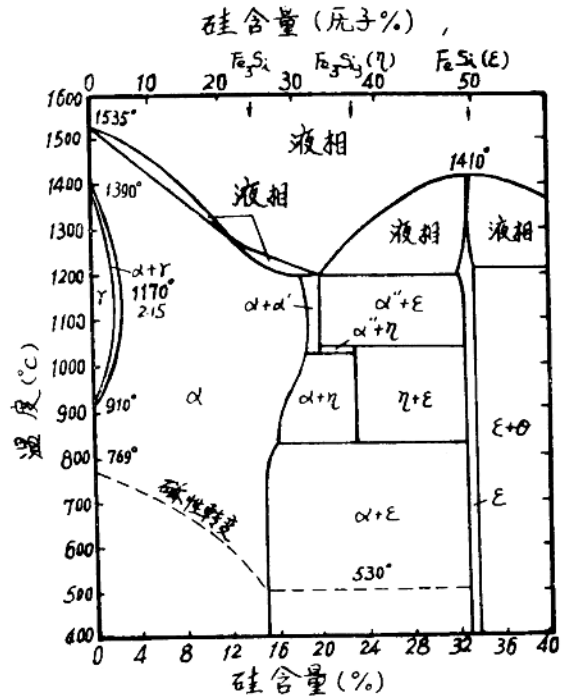


图 1—1 铁硅合金相图

微特电机常用硅钢及其磁性性能

表1-3

钢号	厚度 (毫米)	不同磁场的磁感应强度(高斯)不小于										单位铁损(瓦/公斤)				
		B _{0.2}	B _{0.4}	B _{0.5}	B _{0.8}	B ₂	B ₄	B ₅	B ₁₀	B ₂₅	B ₅₀	B ₁₀₀	P _{10/50}	P _{15/50}	P _{7.5/400}	P _{10/400}
D21	0.5									14800	15900	17300	2.5	6.1		
D31	0.2															
D42	0.35									14600	15700	17100	1.6	3.6		
D43	0.35									14500	15600	17800	1.15	2.8		
D44	0.35									14300	15400	16600	1.05	2.5		
	0.1							12000	12900	14000				2.2	6.3	11
DG41	0.2							12100	13000	14200					7.2	12.5
	0.35							12300	13200	14400					10	17
1D21	0.1		8000		10000		14500		15500						10	22
	0.2		8000		10000		14500		15500						12	24
1D11	0.35								15700	17000	18000		0.9	2		
1D12	0.35								16500	17800	18600		0.8	1.8		
	0.1	1800	6200		9500	12200	13200		14200						5	9
	0.2	2000	6500		10000	12500	13500		14500						7	12
0D21	0.35	2000	6500		10100	12500	13800		14800						10.5	20
	0.5															

(二) 硅的作用

硅对合金的组织 and 性能有着决定性的影响。由于硅的加入使合金的结晶各向异性常数和磁致伸缩系数下降，并促使合金的晶粒长大从而使磁率升高，损耗降低，含硅量对损耗的影响示于图 1—3。

合金含硅量对晶粒大小的影响如表 1—4 所示。

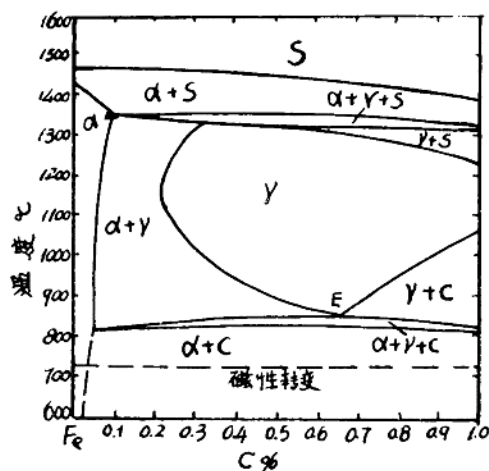


图 1—2 含碳量对 4 % Si 硅钢相图的影响

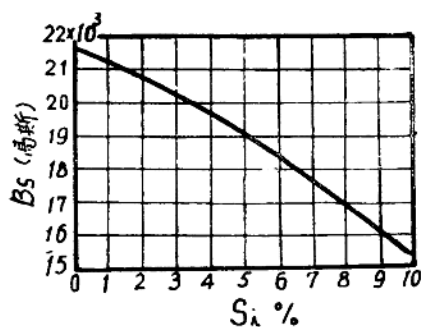
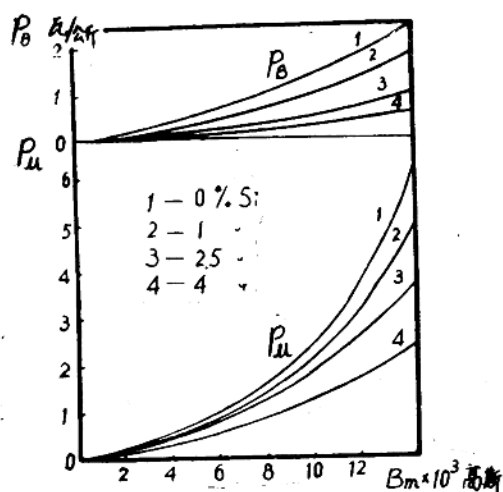


图 1—4 合金含硅量与饱和磁感应的关系

图 1—3 不同含硅量合金的 P—B 曲线。P_B—涡流损耗
P_μ—磁滞损耗

表 1—4

含 硅 量 %	晶粒大小 (个/毫米 ²)
3.8—4	16
4.2—4.5	8
4.6—5.0	4
5.1—5.3	2

硅在合金中是以置换原子的形式存在,随着硅含量的增加,合金电阻率升高,饱和磁感应强度下降(见图1—4、图1—5),居里温度下降。

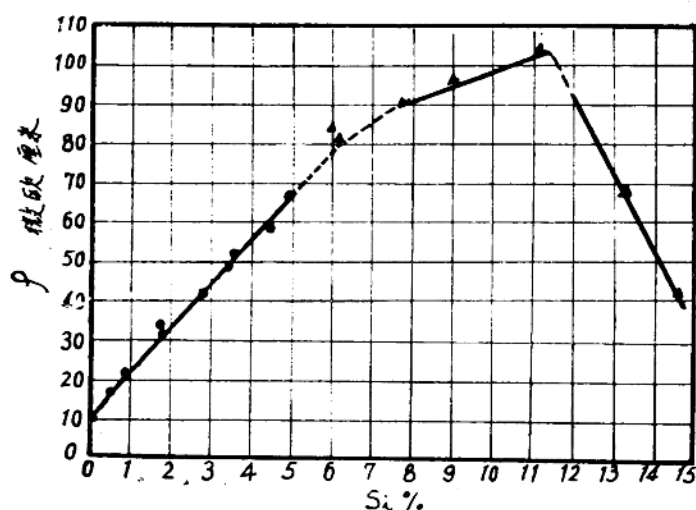


图1—5 合金含硅量与电阻率的关系

此外随着含硅量的增加,合金的脆性增加。当含硅量达到6.5%时,可获得最小的磁滞损耗,但该合金加工工艺非常困难。随着温轧技术的发展,我国已成功地获得了6.5%硅的薄钢带。

(三) 热处理

硅钢热处理的目的在于获得良好的磁性能。它分普通退火和高温退火两种。普通退火于750°~850°C的温度范围内在密封或在低真空条件下进行。主要目的是消除加工应力改善磁性能。高温退火温度为1050°~1200°C,必须在高真空或保护气氛下进行。主要目的使晶粒粗化,去除钢片中的有害杂质,同时使钢片中碳变成石墨状态(真空中)或使碳以较大块片状渗碳体存在于晶界或晶粒内部(氢气中)。因而提高了磁性能,同时也改善了可塑性。高温退火温度需避开900°~1050°C的范围,以免在硅钢内形成细长状和棱角状夹杂物,而导致磁性能的恶化,这从图1—6可以看出。

(四) 冷轧硅钢

冷轧硅钢分无取向和有取向两种。

无取向冷轧硅钢较热轧硅钢损耗小,表面平整,但轧制工艺较复杂,其方向性较热轧硅钢稍大。随着技术的发展,无取向冷轧硅钢将逐渐取代热轧硅钢。

硅钢经冷轧及磁场热处理后,可使合金内部形成结晶结构和磁性结构。冷轧取向硅钢沿轧制方向的磁性能高,损耗小,在此方向上使用时,可大大缩小铁芯的体积。由于

在垂直于轧制的方向上其磁性能较低，因而在使用时须注意其方向性。

另一种织构的硅钢片，称为立方织构，它在冷轧方向及垂直方向上均具有优良的磁性能及更小的损耗，但工艺困难，目前尚未大量提供使用。

硅钢的交直流磁特性曲线见附录二。

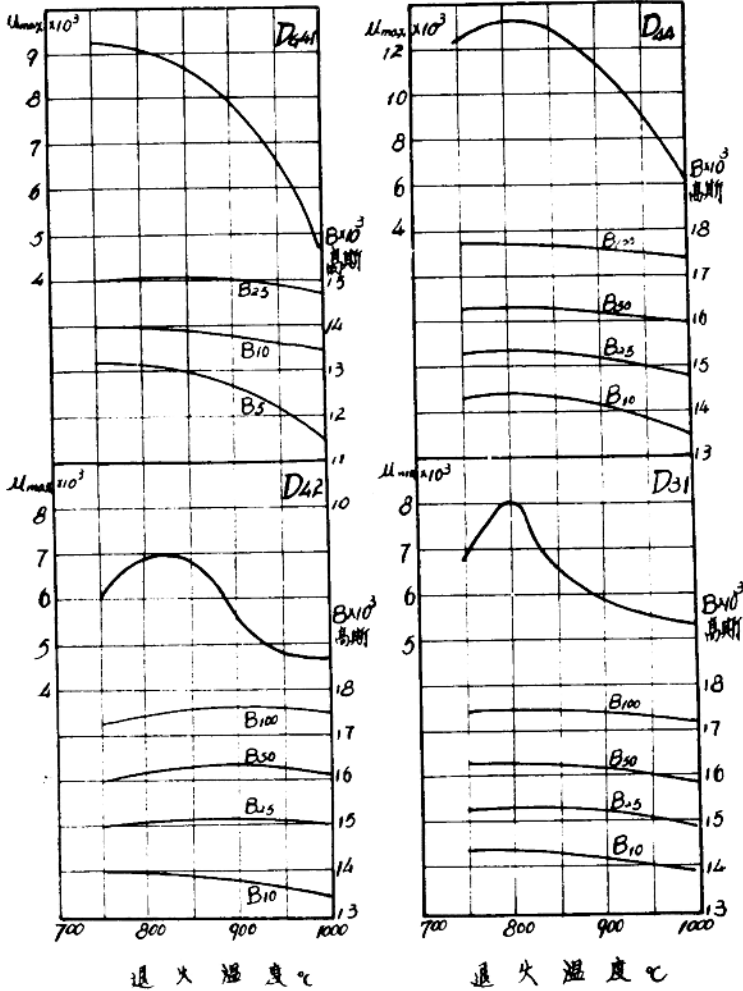


图 1—6 硅钢磁性能与退火温度的关系

(五) 热处理工艺

热处理工艺如表 1—5 所示。

表1-5

合 金 牌 号	退火温度 (°C)	保温时间 (小时)	冷 却 速 度 (°C/小时)	出炉温度 (°C)	保 护 气
D11、D12、D21、D22、D31、 D32、D41、D42、D43、D44	300~850	4	120	250	真空度 50μ
DG41	750~800	4	120	250	同上
0D11、0D12、0D13、0D21	780	3	60	250	同上
1D11、1D12、1D13、1D21、1D22	850	3~4	100	300	同上

§ 1-4 铁镍系合金

几种铁镍软磁合金的电磁性能

(摘自标准YB129-70)

表1-6

牌 号	形 状	厚度或 直 径 (毫米)	磁 性 能 $\geq$				电 阻 率 ρ (微欧·厘米)	居里点 θ (°C)
			μ_0	$\mu_{\max}$	Hc (奥斯特)	Bs (高斯)		
1J50	冷 轧 带	0.1	3200	32000	0.18	15000	45	500
		0.2	3600	40000	0.14	15000	45	500
		0.35	4500	50000	0.12	15000	45	500
	热轧棒	$\phi 8-100$	3500	25000	0.18	15000	45	500
1J79	冷 轧 带	0.1	20000	150000	0.025	7500	55	450
		0.2	22000	180000	0.02	7500	55	450
		0.35	24000	200000	0.015	7500	55	450
	热轧棒	$\phi 8-100$	20000	100000	0.03	7500	55	450
1J80	冷 轧 带	0.1	22000	120000	0.03	6500	62	330
		0.2	28000	140000	0.02	6500	62	330
		0.35	35000	160000	0.012	6500	62	330
	热轧棒	$\phi 8-100$	22000	80000	0.03	6500	62	330

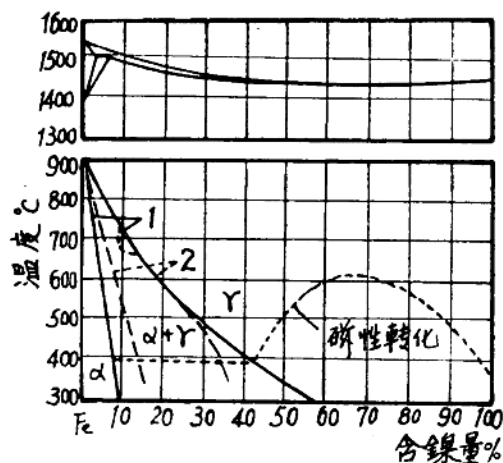


图 1—7 铁镍合金相图

铁镍系合金是以铁和镍或再添加钼、铬、硅、铜等元素组成的合金系列。它的主要特点是矫顽力小，在弱磁场中导磁率较高，并有良好的防锈性能和加工性能，因此被广泛地应用于仪表电讯工业。但该合金对应力的敏感性大，并含有大量贵重金属。

该系合金按磁性能可分成下面五类：

1. 1J50 类合金：此类合金有 1J46、1J50、1J54 等三个牌号。它们具有高的磁感应强度，但静态导磁率较低，矫顽力较大。
2. 1J51 类合金：此类合金有 1J34、1J51、1J52 等三个牌号。它们具有晶体择优取向或磁性织构，磁滞迴环呈矩形，具有较高的导磁率和饱和磁感应强度。

3. 1J65 类合金：此类合金有 1J65、1J67 等二个牌号。它们经热处理后可造成磁性织构，从而获得矩形磁滞迴环和较高的静态导磁率。

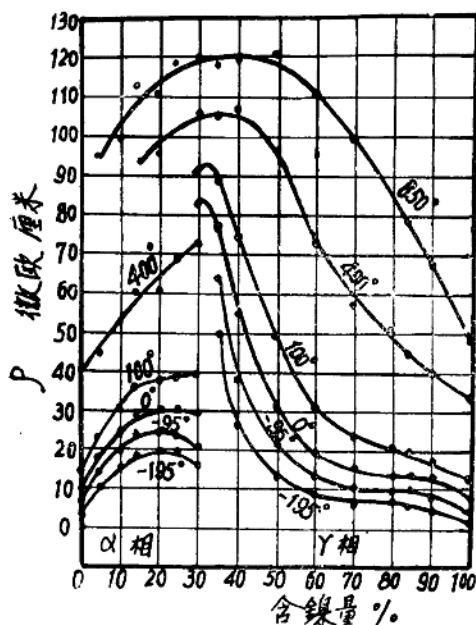


图 1—8 各种温度下铁镍合金的电阻率

4. 1J79 类合金：这类合金有 1J79、1J80、1J83、1J76 等四个牌号。合金在弱磁场下具有最高的最大导磁率。

5. 1J85 类合金：这类合金有 1J85、1J86、1J77 等三个牌号。合金具有最高的初始导磁率，最低的矫顽力和相当高的最大导磁率。

现将微特电机常用的 1J50、1J79、1J80 的电磁性能列于表 1—6。

合金的交直流磁特性曲线见附录二。

(一) 合金相图

铁镍二元合金的相图见图 1—7。由图可知，铁在 910°C

以上为面心立方结晶结构的 γ 相, 910°C 以下是体心立方结晶结构的 α 相。镍不论高温或低温均是面心立方结晶结构。

当含镍量在35%以下由于出现两相区域 ($\alpha + \gamma$) 和非磁性相结构 γ 相, 所以, 此时

不能制成高质量软磁材料。而含镍量在35%以上合金无论高温低温均为 γ 相组成, 可以制成高质量的软磁合金。

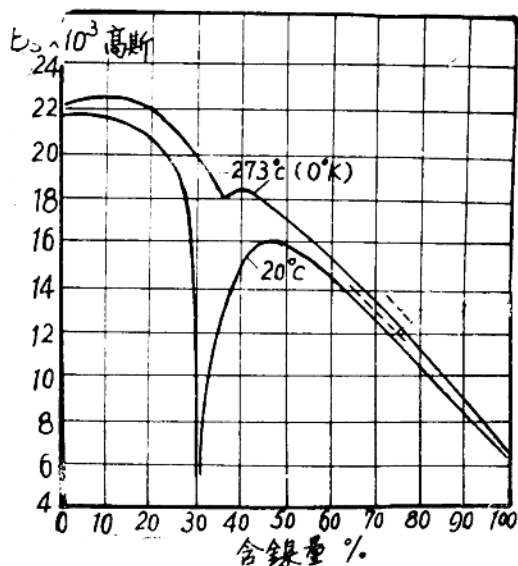


图 1—9 铁镍合金在 20°C 和 0°K 时饱和磁感应强度与成份的关系

1. 二元合金的电阻率

从含镍量与合金电阻率关系的研究中可以明显看出合金电阻率的跃变 (参看图 1—8)。这是因为铁镍二元合金在含镍量少于30%时, 合金结构是镍固溶于铁中的固溶体, 而当含镍量大于30%时则是铁固溶于镍中的固溶体。

2. 二元合金的饱和磁密

由于镍原子的波尔磁子数比铁小, 所以从 0—20% 镍之间, B_s 随含镍量的增加而逐渐下降。在20—35% 镍范围内, 由于出现了非磁性结构 (γ 相), 所以 B_s 随含镍量的增加而迅速下降。含镍

量大于30%以后, B_s 上升。当含镍量接近47%时又重新开始下降。(见图 1—9、1—10)

3. 二元合金的居里温度

铁镍二元合金的居里温度随含镍量的增加而上升, 到达某值后开始下降 (见图 1—7), 70% 镍合金的居里点为 615°C , 它与有序化程度无关。

(二) 1J50 合金

1J50 合金是铁固溶于镍基的单一 γ 相, 在 400°C 左右发生无序 $\rightleftharpoons$ 有序 (Ni_3Fe) 的转变, 合

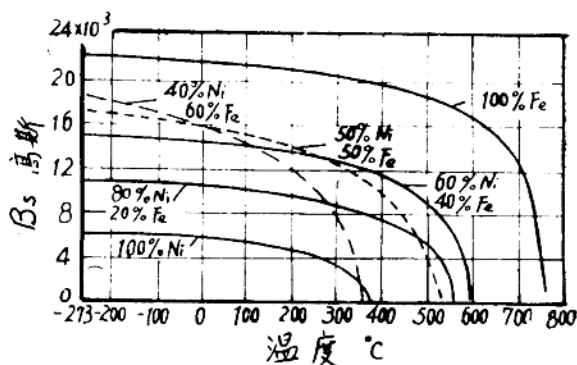


图 1—10 各种铁镍合金的饱和磁感应强度与温度的关系

金磁性能的好坏与有序相的数量有密切关系。含有适当程度的但数量不多的有序排列，可使合金获得较好的磁性能。 Ni_3Fe 的转变量可借助热处理时控制此区间内的冷却速度来实现。镍基合金相对铁硅和铁铝合金的再结晶温度要高，晶粒的生长速度要慢得多，因而铁镍合金的热处理特点是：退火温度高，一般在 $1050\sim 1200^\circ\text{C}$ 的温度范围内进行，保温时间较长，需在真空（ 10^{-3} 毫米汞高）或干氢（露点为 -56°C ）的保护下进行，降温至 600°C 左右必须适当快冷。

1 J50合金的磁性能与热处理工艺关系示于图1—11、12、13、14。

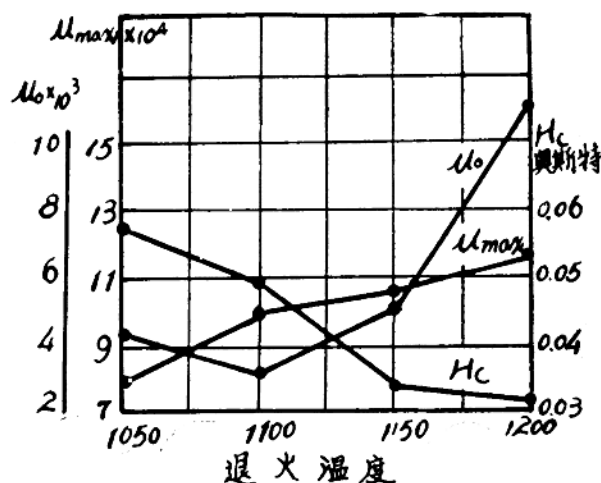


图1—11 1J50合金磁性能与退火温度的关系

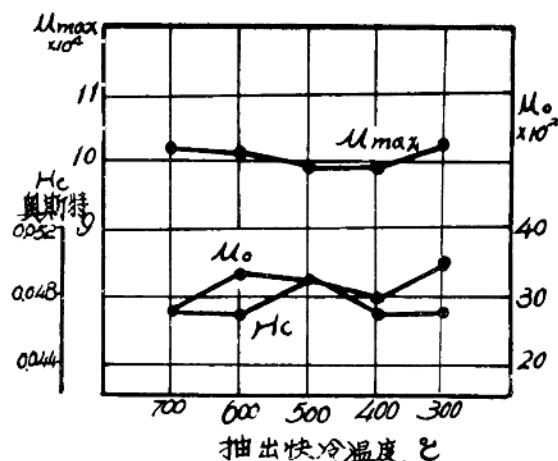


图1—12 1J50合金磁性能与抽出快冷温度的关系

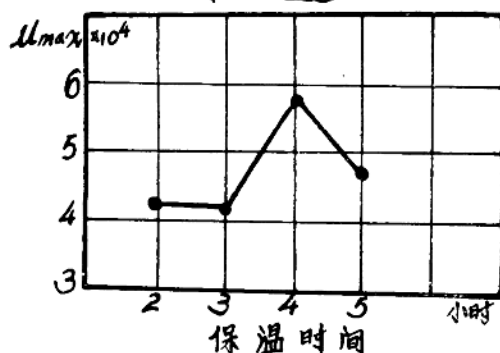
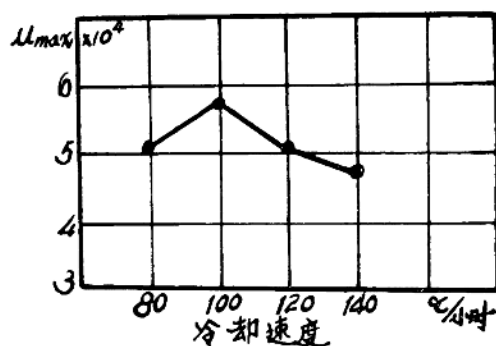


图 1—13 1J50合金的 μ_{max} 与保温时间、冷却速度的关系

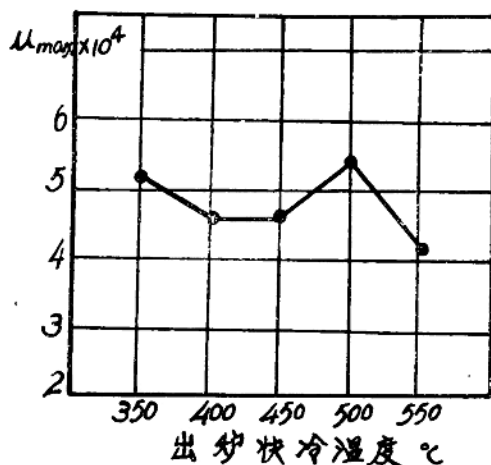
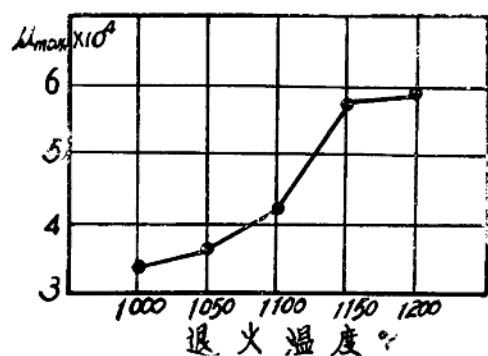


图 1—14 1J50合金的 μ_{max} 与退火温度、出炉快冷温度的关系 (氢气处理)

(三) 1J79合金

1J79合金系镍铁钼三元合金, 含钼量一般在4%左右。合金在常温时是一种具有磁性的面心立方 γ 相。

钼的加入, 可以提高合金的导磁率 μ_0 、 μ_{max} 和电阻率 ρ , 并降低其对应力的敏感性, 但使饱和磁感应强度 B_s 下降。

当合金含钼量一定时, 随着含镍量的增加, 最佳冷却速度增快, 当含镍量一定时, 随着含钼量的增加, 最佳冷却速度减慢。因此钼的加入, 可以大大改善热处理工艺。(参看图1—15)。