

软磁合金研究论文选集

何开元 编著

东北大学出版社

软磁合金研究论文选集

何开元 编著



东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 何开元 2012

图书在版编目 (CIP) 数据

软磁合金研究论文选集 / 何开元编著. —沈阳: 东北大学出版社, 2012. 7

ISBN 978-7-5517-0182-2

I. ①软… II. ①何… III. ①软磁合金—文集 IV. ①TG132.2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 157875 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024-83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024-83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

http: //www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市第二市政建设工程公司印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 43.5

字 数: 1024 千字

出版时间: 2012 年 12 月第 1 版

印刷时间: 2012 年 12 月第 1 次印刷

责任编辑: 孙 锋 潘佳宁 石玉玲

封面设计: 刘江旻

责任校对: 叶 子

责任出版: 唐敏智

ISBN 978-7-5517-0182-2

定 价: 135.00 元

“985 工程”

现代冶金与材料过程工程科技创新平台资助

内容简介

本书是一本关于金属软磁材料研究的论文选集，取材于何开元及其合作者在该领域数十年所进行的科研工作。内容包括晶态软磁合金，非晶态软磁合金及纳米晶软磁合金三个部分。在每一部分前均写了说明并选其中部分论文加以诠释。在这些论文中，涉及的科学问题有：原子有序，晶体织构；非晶态合金中的感生磁各向异性的形成及再取向，磁场退火效应，磁性稳定性；纳米晶合金中的有效磁各向异性的测定，磁导率随温度的变化，双相软磁材料的磁性优化条件，非铁基纳米晶合金的形成等。

本书可供高等院校，企业和科研单位中从事磁性材料研究、生产及应用的人员阅读和参考。

序 言

我从事软磁材料工作数十年，打算将涉及的有关物理问题写成一本书，其中拟主要采用我自己的工作，但这需要较多时日。由于我年事已高，怕不能完成书稿，于是决定先编一本论文集。我在软磁合金的科学研究工作中所得出的研究成果，分散在多种刊物中，将它们归拢成一个文集，方便查阅，对于同行读者来说，它实质是一本《软磁合金研究论文选集》，是一本有用的参考文献集；希望它能对相关学科及材料的发展起到积极的作用。另一方面，由于每一篇论文都是经过我和合作者们多番考虑及多次实验的，并且大多数论文都曾在某时某地的学术会议上作过报告，留给我的印象很深，每当再阅读它们时，都使我回到了当时关注的科学内容空间，并能使我回忆起在当时、当地开会或旅行时的情景，这无疑是一篇篇最好的存在于文章内外的生动的回忆录，因此，这对我来说也是很重要的。

收集了一下，有我名字的论文共有 160 余篇，太多了，文集的篇幅太大。因此决定编个论文选集，选了 117 篇，其余的不收入选集，但仍保留其目录，名为“未收入选集的论文目录”，附在选集后。在选定的 117 篇论文中，又选了 48 篇，加以解释和说明，称之为“论文诠释”，强调了这些文章的特色或创新之处以及与该文有关的背景等，这样，更有利于对这些文章的理解。

所选的 117 篇论文内容都是关于软磁合金的研究，并且，按研究工作时间顺序将论文集分为 3 章。第 1 章为晶态软磁合金，第 2 章为非晶态软磁合金，第 3 章为纳米晶软磁合金（但其中 94CW 是研究非晶合金的论文）。在每章的第 1 节对该章的主题先作一简单介绍，称为“导引”，便于非同行读者阅读论文。由于非晶态及纳米晶软磁材料比晶态软磁材料新，因此，对它们的“导引”写得较多。此选集在编排上有其特点，增加了导引和论文诠释，它有一些像“书”的功能。

本选集是在电子版文集的基础上编写的。在电子版选集中的各篇文章都是已发表的，绝大多数都可以从互联网上查到，用 PDF 格式下载；有少数在网上未查到的论文，用扫描的方法做成 PDF 电子文件。对于所有各篇论文，保留它们在原刊物上的内容、形式和原页码，不加修改。为了改进书本形式选集的印刷质量，东北大学出版社又将文章中的所有正文文字及部分不清楚的图字进行手工打印，完全保留原文的内容，基本保持原刊的格式，并加以多次校对，确保无误。选集中文章的排序，是用它发表的年份、第一作者姓名以及在该年发表的第几篇论文序号表示的。比如何（H）开（K）元（Y）在 1994 年发表的第三篇论文，便标作“94HK3”，称它为“论文标号”；这样的标号，有利于查找，并便于增减文章。在论文目录中都冠有这种标号，读者可以依据论文目录很方便地查到对应的论文。

本选集在收集论文及编校过程中得到了陆兴、程力智、熊湘沅、支起铮、张雅静教授及王建荣博士的帮助，特此致谢。

何开元

2010 年 7 月

于东北大学

总 目 录

第 1 章 晶态软磁合金	1
1.1 晶态软磁合金导引	1
1.2 本章论文诠释	1
1.3 本章论文目录	4
1.4 本章论文原文	5
63HK 晶粒取向镍-铁合金各向异性的磁转矩法研究	5
64HK1 磁路和电路的异同	15
64HK2 镍铁合金中八面体蚀坑	21
64HK3 50% 镍-铁晶粒取向导磁合金的研究	26
65DG 用中子衍射方法研究钒对 50% 铁-钴合金长程有序的影响	36
77HK 磁场热处理对软磁合金性能影响的某些研究	40
80HK1 软磁合金中某些基本问题的讨论	56
80HK2 面心立方金属结晶取向转变的新模型	78
第 2 章 非晶态软磁合金	85
2.1 非晶态软磁合金导引	85
2.2 本章论文诠释	87
2.3 本章论文目录	92
2.4 本章论文原文	96
82HK1 Kinetics of formation of induced magnetic anisotropy in a zero-magnetostriction amorphous alloy	96
82HK2 Isotropic behavior of the kinetics of reorientation of induced anisotropy in an amorphous alloy	101
82HK3 Kinetics of reorientation of induced anisotropy in amorphous and crystalline alloys	106
83HK 非晶合金磁场热处理感生磁各向异性再取向的 动力学	111
84HK 非晶态合金的磁性	115
85HK Effect of rotating magnetic field annealing on	

	induced anisotropy in amorphous alloys	127
86HK1	非晶态合金在仪器仪表及电子工业中的应用	131
86HK2	旋转磁场退火对非晶态合金中感生磁各向异性的 影响	137
87HK1	非晶态合金的磁性稳定性	143
87HK2	Effect of cold rolling on the magnetic properties of amorphous alloy ($\text{Fe}_{0.25}\text{Ni}_{0.75}$) $_{77}\text{Si}_{13}\text{B}_{10}$	149
87WQ1	在钴基非晶合金中用过渡元素取代硼对感生磁各 向异性的影响	153
87WQ2	Influence of substitution of transition elemnts for boron on the induced magnetic anisotropy in cobalt base amorphous alloys	159
88HK3	Investigation of the magnetic stability of cobalt-based as-quenched amorphous alloys	162
88WQ	A new method for measuring magnetic after-effect	165
88ZY1	立方取向 50% Ni-Fe 合金的二次再结晶织构的测定	169
89BQ1	时效对钴基非晶合金磁性的影响	173
89HK2	非晶合金双绕复合环样的磁性研究	179
90HK1	Magnetic properties of composite double-layer tape wound core of amorphous alloys	182
90HK2	Influence of hydrogen on magnetic properties of soft magnetic amorphous alloys	187
90HK3	钴基金属玻璃感生磁各向异性弛豫时间分布参数 的温度依赖关系	193
90LN	$\text{Fe}_{71.5}\text{Cr}_{1.5}\text{V}_2\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ 非晶金属丝的制备	197
90XX	Influence of metalloid elements on the magnetic properties and anisotropy of FeNi-based amorphous alloys	202
91HK1	氢对几种非晶态合金磁性的影响	206
91HK2	非晶合金带制备态平面磁各向异性与技术磁性的 关系	213
91SD	$\text{Co}_{65}\text{Al}_{35}$ 金属粉机械合金化致非晶研究	217
91XX1	快淬非晶合金制备态磁各向异性研究	220
91XX3	Magnetic anisotropy of amorphous alloy ribbons in as-quenched state	225
92HK1	On the relation between in-plane anisotropy and	

	technical magnetic properties of as-quenched amorphous alloy ribbons	231
92HK2	Study and discussion on nanocrystalline soft magnetic materials	235
92SD2	Extreme glass forming range for amorphization by mechanical alloying	241
92WZ	Fe-Ni-Si-B 非晶合金磁导率的等温时效	248
93HK1	Effects of magnetic and stress annealing on the change in magnetostriction for magnetically soft amorphous alloys	254
第 3 章 纳米晶软磁合金		258
3.1	纳米晶软磁合金导引	258
3.2	本章论文诠释	261
3.3	本章论文目录	267
3.4	本章论文原文	273
93HK2	非晶态合金的晶化与纳米晶软磁材料	273
93HK3	Fe-Cu-Nb-Si-B 纳米晶体软磁材料中有效磁各向异性的测定	280
93HK4	Measurement of effective magnetic anisotropy of nanocrystalline Fe-Cu-Nb-Si-B soft magnetic alloys	285
94BK	Fe-Cu-Nb-Si-B 纳米晶合金结构的 Mössbauer 谱研究	290
94CW	Influence of hydrogen on the hyperfine field of amorphous $\text{Fe}_{83.3}\text{Si}_{3.5}\text{B}_{11.2}\text{C}_2$ alloy	296
94FW	机械合金化过程中 $\text{Fe}_{70}\text{B}_{30}$ 粉末晶粒尺寸和微观应变的研究	301
94HK1	A structural investigation of a $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ nanocrystalline soft magnetic material	304
94HK2	Origin of high permeability of nanocrystalline Fe-Cu-Nb-Si-B soft magnetic alloys	309
94HK3	Determination of chemical composition of grain boundary phase in Fe-Cu-Nb-Si-B nanocrystalline soft magnetic alloys	314
94ML1	An investigation on the residual amorphous phase in a nanocrystalline $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ soft magnetic alloy	

.....	317
94ML2 Structural characteristics of a nanocrystalline Fe-Cu-Nb-Si-B soft magnetic alloy	325
94ZF1 Nucleation and growth characteristics of amorphous Fe-Si-B-(Cu)-(Nb) alloys during isothermal crystallization process	332
94ZF2 Cu 和 Nb 对非晶态 Fe-Si-B 合金等温晶化过程的影响	338
94ZF3 Structure and magnetic properties of $\text{Fe}_{76.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Cu}_1$ alloy with nanoscale grain size	342
94ZF4 Grain growth processes in a nanocrystalline $\text{Fe}_{74.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3$ alloy	348
94ZJ (Fe,Cu,Nb) $_{77.5}\text{Si}_x\text{B}_{22.5-x}$ 纳米晶合金的结构和磁性研究	354
95HK1 铁基纳米晶合金中的超顺磁性和超铁磁性	359
95HK2 FeCuMSiB 纳米晶软磁合金基础研究的新进展	362
95HK3 Magnetic analysis of nanocrystallizing soft magnetic alloys $\text{Fe}_{75.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_{1.2}\text{Si}_x\text{B}_{22.3-x}$ AND $\text{Fe}_{89}\text{Zr}_7\text{B}_4$	371
95XX1 Annealing temperature dependence of effective magnetic anisotropy of Fe-Cu-Nb-Si-B nanocrystalline alloys	375
95XX2 Fe-Cu-Nb-Si-B 纳米晶合金的有效磁各向异性随退火温度的变化	380
96BK 机械合金化 Fe-B 合金的 Mössbauer 谱研究	385
96FW 机械合金化对 $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ 纳米晶合金结构的影响	390
96LN 微量碳对淬态 Fe-Si-B 非晶丝表面层结构及脆性的影响	393
96XX Effects of si content on effective magnetic anisotropy in $\text{Fe}_{87-x}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_x\text{B}_9$ nanocrystalline alloys	398
96ZF1 An experimental investigation on the effective magnetic anisotropy of nanocrystalline $\text{Fe}_{89}\text{Zr}_7\text{B}_4$ soft magnetic alloys	402
96ZF2 Microstructural and magnetic characteristics of nanocrystalline $\text{Fe}_{89}\text{Zr}_7\text{B}_4$ soft magnetic alloys	407
96ZJ Influence of the elements Si/B on the structure and magnetic properties of nanocrystalline (Fe,Cu,Nb) $_{77.5}\text{Si}_x\text{B}_{22.5-x}$	

	alloys	414
97FW1	Change of the structure of the $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ alloy by mechanical alloying	420
97HK	Effect of isochronal annealing on magnetostriction of several soft magnetic amorphous alloys	425
97HS1	Influence of crystallization on magnetic properties in $\text{Co}_{66}\text{Fe}_4\text{Mo}_2\text{Si}_{16}\text{B}_{12}$ amorphous alloy	429
97HS3	Studies on crystallization and magnetic properties of $\text{Co}_{66}\text{Fe}_4\text{Mo}_2\text{Si}_{16}\text{B}_{12}$ amorphous alloy	433
97WZ1	Fe-Cu-Nb-Si-B 合金磁导率与温度关系	437
97WZ2	$\text{Fe}_{72.7}\text{Cu}_1\text{Nb}_2\text{V}_{1.8}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ 合金的热磁分析	442
97WZ3	Heating rate dependence of magnetic properties for Fe-based nanocrystalline alloys	448
97WZ4	Influence of annealing conditions on magnetic properties for $\text{Fe}_{72.7}\text{Cu}_1\text{Nb}_2\text{V}_{1.8}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ alloy	453
97XH	Changes of structure and magnetic properties for a mixture of $\alpha\text{-Fe}$ and Fe_3N powders during mechanical alloying process	457
97ZF1	Kinetics of the primary nanocrystallization in an amorphous Fe-Cu-Si-B alloy	462
97ZF2	Magnetic characteristics of the two phases in nanocrystalline $\text{Fe}_{89}\text{Zr}_7\text{B}_4$ soft magnetic alloys	466
98HK1	纳米晶软磁合金研究的进展	470
98WZ2	Fe-Cu-Nb-V-Si-B 纳米晶合金磁导率与温度的关系	480
98XH1	机械合金化过程中 $\alpha\text{-Fe}$ 与 Fe_3N 混合粉末的结构和磁性	485
98XH2	机械合金化 FeZrB 粉末的结构和磁性	489
98XH3	纳米晶 $\text{Fe}_{89}\text{Zr}_7\text{B}_4$ 合金晶间相的居里温度	492
98XH4	纳米晶 FeCuNbSiB 合金中晶间非晶相的居里温度研究	496
98XH5	$\text{Fe}_{73.5}\text{Ag}_{1.0}\text{Nb}_{3.0}\text{Si}_{13.5}\text{B}_{9.0}$ 软磁合金的结构和磁性	499
99HJ2	The influence of Co substitution on the magnetic properties and the giant magneto-impedance effect of $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{84}\text{Zr}_{3.5}\text{Nb}_{3.5}\text{B}_8\text{Cu}_1$	503
99HJ3	Magnetic properties and giant magnetoimpedance of	

	nanocrystalline $\text{Fe}_{92-x}\text{Zr}_7\text{B}_x\text{Cu}_1$ ribbons	510
99HJ4	Soft magnetic properties and giant magneto-impedance effect of Fe-Zr-Nb-B-Cu ribbons	517
99HK	纳米晶软磁合金的磁各向异性研究	526
99HS	Effects of Co addition on magnetic properties and nanocrystallization in amorphous $\text{Fe}_{84}\text{Zr}_{3.5}\text{Nb}_{3.5}\text{B}_8\text{Cu}_1$ alloy	529
99XH	Curie temperature of the intergranular amorphous phase in nanocrystalline $\text{Fe}_{89}\text{Zr}_7\text{B}_4$ alloy	535
2000HJ	The influence of preannealing treatment on the exothermic behavior and magnetic properties of $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ alloy	539
2000HK	Hopkinson effect in soft magnetic materials	545
2000ML	Nanocrystallization of Ni-Fe-Nb-Si-B amorphous alloys	549
2000XH1	纳米晶 $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ 磁粉芯的磁性能研究	554
2000XH2	Intense milling nanocrystalline $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$: a soft magnetic material in powdered form	559
2000YH	Fe-Ni-Mo-(Si)-B 非晶的晶化及纳米晶合金磁性 的研究	564
2001CL	FeCuNbSiB 非晶合金丝加热过程的晶化及其磁阻 抗效应的变化	569
2001HJ	Influence of annealing on the magnetic properties and magneto-impedance response in $\text{Fe}_{84}\text{Zr}_7\text{B}_8\text{Cu}_1$ ribbons	573
2001HK1	Co 基纳米晶软磁合金研究进展	578
2001HK2	NiFe 基及 Co 基纳米晶软磁合金研究进展	585
2001WZ	Temperature dependence of permeability for Fe-Cu-M-Si-B alloys	592
2001XM	具有宽过冷液相区的多元 Fe 基非晶合金的热 稳定性和磁性	597
2001RC	具有宽过冷液相区的 $\text{Fe}_{62}\text{Co}_{8-x}(\text{Cr}, \text{Mo})_x\text{Nb}_4\text{Zr}_6\text{B}_{20}$ 非晶态合金的热稳定性与磁性	604
2001YH	非晶合金 CoFeNbSiB 的纳米晶化及磁性	611

2001YJ0	磁场强度对 FeCuNbSiB 合金 μ - T 曲线的影响	616
2002XM1	Thermal stability and magnetic properties of amorphous Fe-based alloys with significant supercooled liquid region	620
2002XM2	Formation of amorphous Fe ₆₂ Co ₆ Zr ₆ Nb ₄ Cr ₂ B ₂₀ alloy with a remarkable supercooled liquid region before crystallization	626
2002YH	FeCuNbCrSiB 非晶合金的晶化及磁导率与温度的 关系	631
2002YJ	Influence of magnetic field intensity on the shape of the μ - T curves for Fe _{73.5} Cu ₁ Nb ₃ Si _{13.5} B ₉ alloy	635
2005ZQ2	Fe ₇₈ Si ₉ B ₁₃ 非晶合金的恒导磁性能	639
2006ZQ	应力退火对 Fe _{73.5} Cu ₁ Nb ₃ Si _{13.5} B ₉ 纳米晶合金磁性能 的影响	644
2007HK	Studies of crystallization and soft magnetic properties of FeNiMoB(Si) alloys	649
2007ZQ	Elevated temperature initial permeability study of Fe _{73.5} Cu ₁ Nb ₃ Si _{13.5} B ₉ alloy	659
2011HK	Optimum condition for magnetic properties of two-phase soft magnetic alloys	666
附录 1	未收入选集的论文目录	674
附录 2	作者简介	677

第1章 晶态软磁合金

1.1 晶态软磁合金导引

在自然界存在的所有金属或金属矿几乎都是呈结晶状态的，人们用传统的工艺将它们制成的金属或合金成品也都是晶态的。因此在历史上开始发展的金属材料都是晶态的，通常都称之为金属材料而不必冠以“晶态”二字。直到1980年以后，非晶态软磁合金作为商品开始生产，人们才将原先的软磁合金称为晶态软磁合金，以示区别。这些晶态软磁合金主要有：①电工纯铁；②Fe-Si合金，包括各种硅钢片；③Fe-Ni合金，包括各种坡莫合金；④Fe-Co合金；⑤Fe-Al合金等。由于晶态软磁合金已发展多年，众所周知，这里不再多加说明。

1.2 本章论文诠释

本章中收录的论文，从1963—1980年，共8篇，属于晶态软磁合金，是作者在1980年以前所进行的科研工作。对此类合金的科学研究所涉及的问题主要有：原子有序，结晶取向，磁晶各向异性，感生磁各向异性及测试方法等。其中涉及的合金材料有Fe-Ni合金，Fe-Co合金及Fe-Al合金。在这些论文中选了几篇加以诠释，以便读者能对论文的背景及内容有更好的理解。这些论文的编号是：63HK，64HK2，65DG，77HK，80HK1及80HK2共6篇，分述如下。

63HK 何开元，吴宝琴，物理学报，1963，19（11）：718—725.

晶粒取向镍-铁合金各向异性的磁转矩法研究

本文用磁转矩方法测定了冷轧及不同温度退火后50% Ni-Fe合金的磁转矩曲线，由此分析出在退火过程中试样中晶体结构的变化。在硅钢及纯Fe研究中，常用磁转矩方法测定结构；但在Fe-Ni软磁合金中，则很少采用此方法，因为各向异性常数小，有较大难度。本文是一个成功的尝试。

从冷轧试样的磁转矩曲线分析，可以肯定在高压下率冷轧后，该合金的冷轧结构为 $\{110\}\langle 112\rangle + \{112\}\langle 111\rangle$ ，而不可能主要是 $\{123\}\langle 412\rangle$ 。但是用当时的X射线极图定结构的方法则不能区分上述两类结构，而这个问题是很关键的。在再结晶结构理论中，存在两个学派，他们对面心立方金属（以及Ni-Fe合金）的冷轧结构的同一X射线极图有两种解释：一派认为是 $\{110\}\langle 112\rangle + \{112\}\langle 111\rangle$ ；另一派认为是 $\{123\}$

〈412〉。再结晶“定向生长”理论的代表人物如 P. A. Beck、胡郁及 Smallman 等人认为，面心立方的 Cu 及 Fe-Ni 合金的冷轧织构主要为 $\{123\}\langle 412\rangle$ ，在此基础上绕 $\langle 111\rangle$ 轴旋转 $30^\circ - 50^\circ$ 便可形成立方织构。如果将此织构标定成 $\{110\}\langle 112\rangle + \{112\}\langle 111\rangle$ ，则和他们的理论不符。

下面我们说明，为什么在此条件下，磁转矩方法可得出肯定结论的原因。按照本文推导出的上述三种理想取向的磁转矩公式（简化）如下：

$$L_{|110|\langle 112\rangle} = \frac{K_1}{24} [-2\sin 2\varphi + 7\sin 4\varphi]$$

$$L_{|112|\langle 111\rangle} = \frac{K_1}{24} [2\sin 2\varphi + 7\sin 4\varphi]$$

$$L_{|123|\langle 412\rangle} = \frac{K_1}{24} [-(10/7)\sin 2\varphi + (1/7)\sin 4\varphi]$$

可以看出， $\{110\}\langle 112\rangle + \{112\}\langle 111\rangle$ 理想织构的磁转矩曲线的 $\sin 4\varphi$ 的幅值是 $\{123\}\langle 412\rangle$ 织构的对应振幅的 49 倍。这样大的差异，定能从磁转矩曲线中分析出来。

因此，本工作的意义除了如本文“总结”中所述以外，它还一方面可帮助建立正确的再结晶理论，另一方面也说明，在特定条件下，用当时的 X 射线极图方法定织构是存在不足之处的。

64HK2 何开元，桂蓉丽，金属学报，1964，7（1）：104-108.

镍铁合金中八面体蚀坑

这篇文章的“铁镍合金”，实际上都是一些实用的软磁合金，因此本文为从事这方面工作的人们提供一个简单而直观的测定晶粒取向方法。

65DG 杜光庭，何开元，陈煜廉，物理学报，1965，21，（6）：1304-1307.

用中子衍射方法研究钒对 50% 铁钴合金长程有序的影响

这是一篇首先用中子衍射定量测定 FeCo-V 合金有序度的工作。首次定量证实在该合金中加入 V 可以明显降低其长程有序度。这篇论文的内容是我们关于“FeCo-V 合金脆性研究”专题的一部分。关于脆性和有序度关系的研究工作未能发表（由于笔者工作调动，资料散失），深感遗憾。当时美籍华人陈志文在一篇论文（J. Appl. Phys, 1961）中提出，在 Fe-Co 合金中加入 2% V 可以改善其在水中淬火后脆性的原因是由于形成了马氏体；而我们的工作说明，即使在含 1% V 急速冷却的合金中，未出现马氏体，也能有一定的延性足以冷轧，而此时它有较低的有序度。因此我们的结论是：使

得 50% Fe-Co 合金十分脆的原因很多,但主要是杂质含量及有序程度。对纯净合金而言,有序度是最主要的。近年来发展的 2% V-FeCo 合金,在其中又加入少量 Cr 可以进一步改善其冷轧质量,可推断为是由于 Cr 使其中有序度进一步下降所致。

77HK 何开元,孙斌,张桂芬,东北工学院学报,1977,(1):19-34.

横向磁场热处理对 Ni-Fe 合金损耗的影响

该文对实际合金中的损耗的计算和分离以及相关的讨论可供同行参考。文中从损耗分离得出的“反常磁滞损耗”很可能是由于磁畴织构随频率改变引起的,值得进一步研究。

80HK1 何开元,精密合金文集,上海科学技术文献出版社,1980,7:1-33.

软磁合金中某些基本问题的讨论

这篇文章的稿子主要是在“文化大革命”期间写的,当时没有进行科学实验研究的气氛和条件。故在业余时间针对一些软磁问题进行讨论,的确也花费了不少时间,所讨论的问题都是很重要的,多有创见。文中内容包括:①高导磁合金的最佳成分;②有序程度的控制和 k 状态的织构;③磁场热处理的效果;④再结晶取向转变机制;⑤初始磁导率的计算。共 5 个问题。这些都是软磁合金的核心物理问题,对每个问题都提出了创新见解,读者不妨审阅原文。在这里要强调说明的是第 5 个问题,在其中得出能实用的新结果、新概念:计算出多种软磁合金的磁导率上限,与实验相符;导出了同时计及参杂和应力的磁导率公式;得出了可计算各种软磁材料的初始磁导率 μ_0 (用 μ_i 表示较好,但此处按照原文表示)的经验公式,即 $\mu_0 = I_s^2 / (\alpha K + \beta \lambda_s \sigma)$,此式能和很多实验数据符合。应当认为,它不仅是一个经验公式,也是一个理论上合理的公式。这是因为,将初始磁导率表示为 $\mu_0 = I_s^2 / K_{\text{eff}}$ 是合理的,而 $K_{\text{eff}} = \alpha K + \beta \lambda_s \sigma$ 也是合理的;因此,笔者认为这个式子是可普遍应用的。而按参杂及应力理论组合成的式子为 $\mu_0 = I_s^2 / (\alpha \sqrt{K} + \beta \lambda_s \sigma)$,与实验不符合,不宜采用。

80HK2 何开元,桂蓉丽,东北工学院学报,1980,1(1):46-52.

面心立方金属结晶取向的新模型

此文的主要内容已包含在前文(80HK1)中,但此处数学计算上作了补充。