

向极限挑战的 金属材料——

开拓 21 世纪的技术

〔日〕田中良平 编著 陈彰勇 汪桢武 译



向极限挑战的 金属材料

——开拓21世纪的技术

〔日〕田中 良平 编著

陈彰勇 汪桢武 译

胡本芙 校

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书精选出二十七类冠有“超”字的和即使不带“超”字,也能与其匹敌的最新型结构材料与机能材料,由有关专家作出浅显易懂的阐述。主要内容包括总论、超高纯铁、超高强度钢、超高易切削钢、粉末高速工具钢、超硬合金、超塑性合金、超铁素体不锈钢、高温合金和难熔合金、超低温材料、高强度铝合金和高强度钛合金、纤维强化金属复合材料、耐磨材料、定向凝固共晶材料、超高导磁及超高永磁材料、超细粉末、半导体和超导材料、非晶态合金、记忆合金、扩音器用振动片合金、防振合金、贮氢用材料、人体用材料以及原子能反应堆用材料。

本书对从事材料科学研究、生产、教学的研究人员、技术人员、教师的知识更新会有帮助,也适合于非材料专业的学生和一般人员阅读,借以扩大他们的视野和知识范围。

向极限挑战的金属材料

——开拓21世纪的技术

〔日〕田中 良平 编著

陈彰勇 汪桢武 译

胡本美 校

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 9 1/4 字数 243千字

1986年4月第一版 1986年4月 第一次印刷

印数00,001~2,600册

统一书号: 15062·4232 定价2.30元

译 者 的 话

本书是根据日本工业调查会1979年6月出版的《极限に挑む金属材料》一书翻译而成的。全书共分三部分。第一部分总论，简要地回顾了金属材料发展的历史；第二部分结构材料，共15篇，介绍了在超高温、超高压、强腐蚀等环境下，力求达到极限机械性能的15种重要结构材料；第三部分功能材料，共11篇，叙述了尽量满足各种使用条件下，具有电学、磁学、光学、热学、声学以及医学等特性的11种机能材料，这些材料已成为当代金属材料的重要发展方向。

本书由日本东京工业大学工学部教授田中良平主编，各篇的执笔者均是从事该材料研制、生产的具有丰富经验的专家。全书采用比较通俗易懂的语言叙述了各种材料的发展概况、生产工艺、性能、实际应用和展望。另外，对文章中某些较难理解的专用术语在篇后有简明的解释。为方便读者查对，将每篇的参考文献附在篇后。

本书是一本适用面很广的专业技术普及读物，可供我国从事冶金、机械、电子、航空、航天、轻工、医学等各有关部门的工程技术和科研人员阅读，亦可供有关院校师生参考。

本书前言、1~4、8~10、21、25章由汪桢武译，其余18章由陈彰勇译，全书由胡本英校对。

译 者

一九八三年一月

前 言

能源，信息，材料，人们把这三者称为今日文明及我们现代社会生活的三根支柱已经很久了。

以电子计算机为首的信息仪器的进步是令人瞠目的。在能源问题上，有关石油枯竭危机的呼喊催促人们制定将原子能、太阳能、核聚变能等考虑在内的二十一世纪的长远对策。

面对信息仪器的辉煌进步以及能源问题的深刻性，材料问题被掩盖了，可以说除了专家以外，人们对于材料不像对前两者关心得那样强烈。但是，像名片大小的电子计算机是因为材料技术的进步才变为可能的；要开发新能源，与其相适应的材料发展是不可缺少的条件。

今天，材料的种类真是多种多样。其中，已在研制超硬硬质合金、超导合金、超硬铝合金、超高强度钢、超耐热合金等等冠以“超”字头的形形色色的金属材料。这些材料的进步使制造新型装置和具有更高性能的机器成为可能；而为了使这些机器更加进步，又进一步要求研制更优良的材料。这就使人们感到，材料与机器装置的进步是在你追我赶地进行着。

但是，材料的性能大概不是无止境的，恐怕是有限的。材料的研制与进步就是朝着材料性能的极限一步一步地接近。在最近大约四分之一世纪的时间里，金属材料的进步实在可以说是惊人的。

本书便是选出为数较多的带有“超”字的金属材料，或者虽然不带“超”字但却能与它们相匹敌的材料，请各方面的专家写成深入浅出的文章加以介绍。正如在目录中可以看到，选题分为结构材料和功能材料两类，共二十七个题目，由许多人分别执笔。因此，各个题目的内容、水平、详简程度不一定相同。但即使如此，相信本书不但对于材料专家，就是对于不是材料专家的

人，特别是在校学习的学生也会给予某种程度的满足。

仅向为本书出版而尽力的工业调查会出版部的内堀隆夫、辻精一两位先生以及《机械设计》编辑部的矢口正和先生致谢。

田中 良平

1979年4月

目 录

译者的话
前言

总 论

1. 总论 金属材料发展史 (1)

结 构 材 料

2. 超高纯铁 面貌改观的纯金属 (12)
3. 超高强度钢 开拓未来尖端技术所必需的材料 (20)
4. 超易切削钢和超高易切削钢 以更易切削钢为目标 (32)
5. 粉末高速工具钢 切削难切削材料的工具钢 (39)
6. 硬质合金 向强度极限挑战的工具材料 (47)
7. 超塑性合金 加工技术的重大变革 (55)
8. 超铁素体不锈钢 雪亮而且不生锈的钢 (65)
9. 高温合金 让大型喷气式飞机腾空飞翔 (75)
10. 难熔合金 可在超高温下使用的合金 (86)
11. 超低温材料 超低温下具有强韧性的材料 (101)
12. 高强度铝合金 飞向宇宙使用的比重小而强度高的材料 (110)
13. 高强度钛合金 具有高强度的轻质材料 (123)
14. 耐磨材料 耐高温耐磨损材料 (130)
15. 纤维增强金属复合材料 比强度极高的材料 (139)
16. 共晶合金定向凝固材料 在超高温下呈现更高强度的材料 (150)

功 能 材 料

17. 超高导磁率材料和超高永磁材料 录音机和录相机用的
磁性材料 (162)
18. 超细金属粉末 能存储和再生更多信息的材料 (189)
19. 超导材料 解决能源问题的关键材料 (195)
20. 半导体材料 半导体电路的超大规模集成化 (207)
21. 非晶态合金 无序结构的巨大魅力 (219)
22. 记忆合金(超弹性合金) 能记忆任意形状的材料 (231)
23. 扩音器振动片用合金 高速振动发出准确音响的
材料..... (241)
24. 防振合金 敲打也不出声音的金属 (250)
25. 贮氢用金属材料 未来的能源系统 (259)
26. 人体用金属材料 恢复身体机能的金属材料 (266)
27. 原子反应堆用金属材料 研制更安全的材料 (275)

总 论

1. 总 论

金属材料发展史

炼金术与材料研究

诸位读者对于“炼金术”、“炼金师”这种词有何感受？
骗术，骗子。

大概至少是多数人没有好印象。

但是，真是如此吗？

的确，在被称为炼金师的人们当中，可能会有迷信者或者企图一获千金的谋士。

把木炭点燃起来，将矿石投进去，马上便能从灰烬中得到金属块！

在古代人的心目中认为这是自然界的魔术，人人都对长生不老药梦寐以求。就象马可波罗的冒险和哥伦布为了得到东洋的黄金而进行的航海一样，为了从铅中提炼出黄金，即使是粉身碎骨倾家荡产也是不无道理的。

但是，在那样做法的炼金师当中的确也会有品格高尚的学者和技术专家。事实上，后世的科学与技术从炼金术获益非浅。而且今日的金属材料研究不是也可以将炼金术视为其源头吗？



炼金师为了证实他们自己的信念，对当时已知的所有物质进行了研究试验，而且在很大程度上弄清了有关各种化学药品和化合物的性质的基本知识。

科学方法的先驱、英国的培根就炼金术对科学的贡献在十六世纪做了如下的恰当归纳：

“如果打个比喻的话，炼金术就象对儿子们说在葡萄园的什么地方埋着金钱的人所起的作用那样，尽管挖掘后并没有找到钱，但因为挖松了葡萄树根部附近的土壤而使葡萄收获量增多。同样的道理，通过试图提炼出黄金的努力，导致许多有用的发明和实验。”

炼金师要把铅变成黄金是失败了。炼金术要将一种元素变为其它元素的这一奢望虽然未能实现，但是却发现了锑、砷、铋、磷、锌这五个元素，使蒸馏、结晶作用等基础的化学处理方法以及金属熔化、合金制造等技术取得了显著的进步。同时出现了将物质弄得七零八落，然后又能使其复原的实验方法与精巧的器具。

这样，可以说炼金术与近代化学一起奠定了金属学及金属工业的基础，发现和研制出了各种金属及合金，并将从事材料研究的经验方法传给了后人。

金属历史悠久

人类获得金属并开始使用的时期可以追溯到公元前三千年至四千年，不用说，当时仅仅是将在自然界发现的金、银、铜用石头等敲打，使其具有适当的形状和大小而加以利用。

但据说在中国周朝时代，即公元前三千年前后，便已经有了称为青铜六齐的标准，根据用途将青铜分为六类，分别规定各类的铜和锡含量。大概是相应于所需的性质而有计划地进行了分类，可以认为是进行某些材料研究的成果。

人们根据需要生产材料并加以利用，这与现代的材料研制是相一致的，虽然在技术水平上有很大差距。

但是，创立金属工艺学，近代有组织地、科学地从事材料研

究则是始于产业革命。

随着十八世纪机械文明时代的揭幕，对金属材料提出了以往无法比拟的巨大要求，使人们必须对金属材料的性质及制造方法进行深入的研究，材料研究开始摆脱炼金术的范畴而随着自然科学的发展稳步地前进。

本文的附表追溯了从古代开始的与金属材料研究有关的事件，表明了金属技术与自然科学发展的历程。随着时代的前进，材料技术当然也在加速地发展，特别是第二次世界大战以后的进步更是令人眼花缭乱。但是这个时间表是将各种材料和各种事件混在一起按年代顺序排列的，下面将集中研究一下两三种材料的发展过程。

磁性材料的发展

首先看一下做为功能材料代表的磁性材料的发展过程。

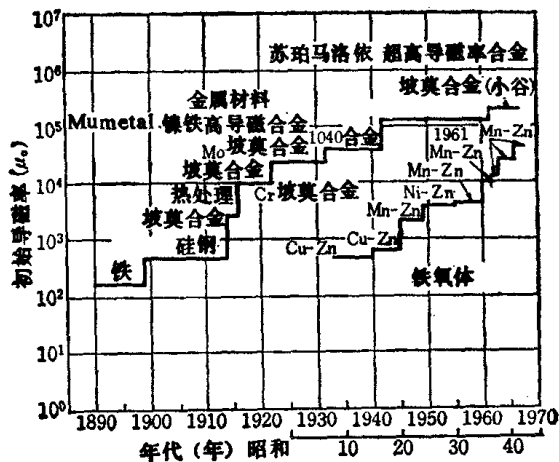


图 1 高导磁率材料初始导磁率随时间推移的变化情况

图 1 示出代表高导磁率材料性能的初始导磁率 μ 。从十九世纪末至今的演变情况。图 2 示出代表磁性材料性能的最大磁能积 $(BH)_{\text{最大}}$ 的变化情况。它们的详细发展过程将在第 17 章中加以说明，在此省略。但必需指出，这些性能在最近不到一百年间

有了惊人的提高。而且应当记住，它们的进步不仅仅是靠研制新合金成分而取得的，材料生产技术的发展也起了很大作用。

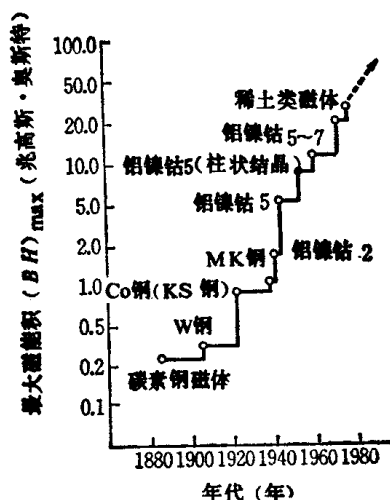
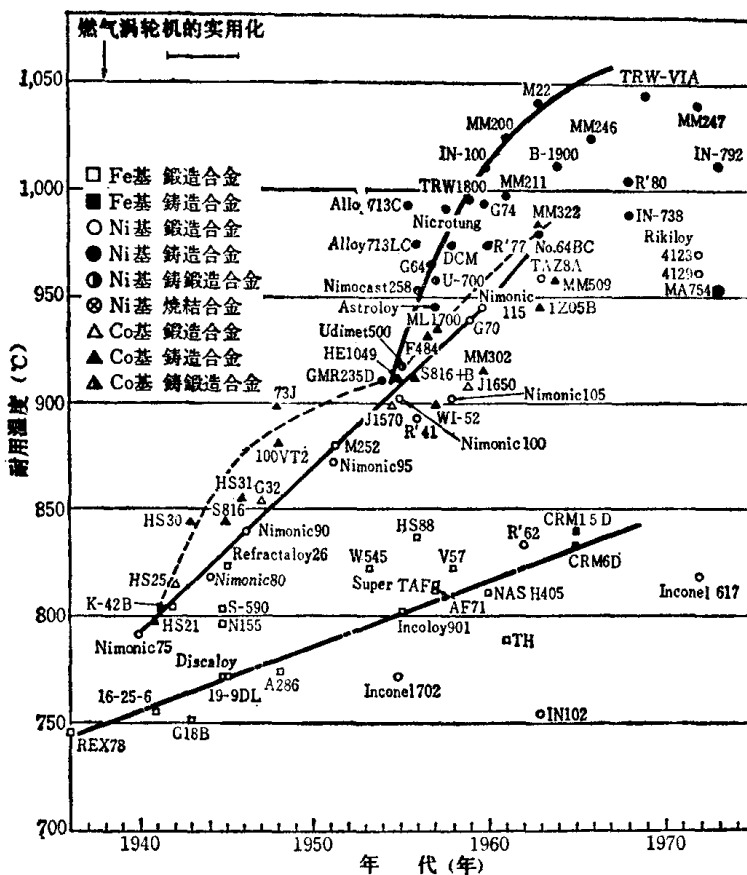


图2 永磁体特性随时间推移的发展情况

高温合金的进步使飞机进入喷气式时代

图3是从各种合金可以在多高的温度下使用即所谓使用温度来看高温合金的发展。高温合金的研制是从燃气轮机获得实际应用的1940年前后开始的，在至今仅约40年内，却取得了长足的进展，使用温度平均每年增高 10°C 。而在此期间，早期的铁基合金很快便被钴基铸造合金所取代，接着，镍基铸造合金从五十年代后半期开始占据了首位并延续至今天。其中，特别是，耐高温的高强度合金都是喷气发动机和燃气涡轮动叶片及静叶片不可缺少的材料。正如在第10章所叙述的那样，可以说正是由于这类所谓超级高温合金的发展，才进入了以大型喷气式飞机为象征的高速巨量运输时代。

图4按喷气涡轮发动机的动叶片材料、静叶片材料以及涡轮盘材料，分别示出了超级高温合金从过去至现在的变化情况，并预测了未来的发展。从这些例子也可以看出，新合金的研制及其性能的提高是如何与制造方法的进步密切相关的。



在以下各章中，分为结构材料和功能材料两类，并选出具有代表性的27种，请专家们就最近金属材料的惊人进步情况，做出尽可能通俗的解说。

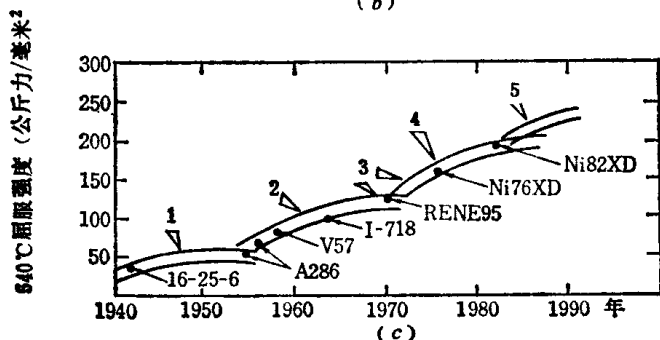
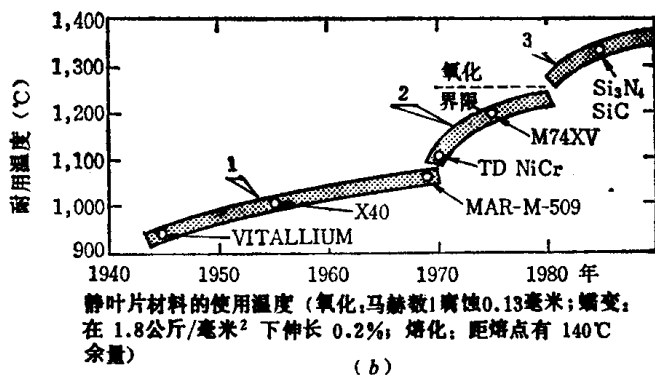
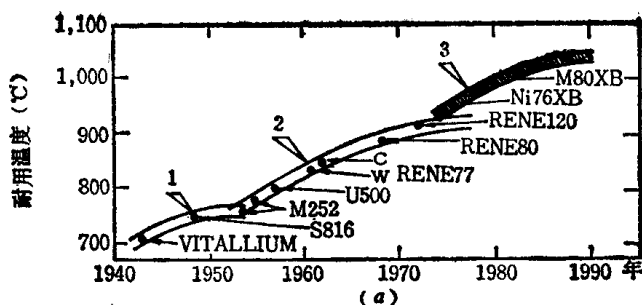


图4 喷气发动机用超高温合金的进步

(a)动叶片材料, 27公斤力/毫米²应力, 5000小时寿命, 1—空气熔炼; 2—真空熔炼; 3—定向凝固熔炼合金;

(b)静叶片材料, 1—精密铸造合金; 2—弥散强化合金; 3—陶瓷; 静叶片材料的使用温度(氧化: 马赫数1腐蚀0.13毫米; 蠕变: 在1.8公斤力/毫米²下伸长0.2%; 熔化: 距熔点有140℃余量);

(c)涡轮盘材料, 1—空气熔炼; 2—真空熔炼; 3—摩擦焊接; 4—粉末冶金; 5—纤维强化转动件

金属是怎样发展起来的？金属的发现、研制及研究史

公 历	事 件
公元前约3500年	开始使用铜
公元前约2500年	开始使用铁
公元前1500年至 1300年	铁器时代开始
约300年至400年	炼金术开始出现于古埃及，其后延续了大约1000年
约400年	伯利努斯制造金属钟用于寺院
698年	日本最早的青铜钟铸成，悬挂于京都妙心寺
752年	奈良大佛建成
800年至900年	确立日本刀的制造技术
1252年	镰仓大佛建成
约1300年	欧洲开始用高炉炼铁
1492年	哥伦布发现美洲大陆
1543年	漂泊到种子岛的葡萄牙人给日本带来火枪
1610年	发现足尾铜矿
1707年	达贝父子研究成功以焦炭为基础的高炉炼铁法
1735年	汉茨曼开始用坩埚炉炼钢
1791年	发现钛，因希腊神话故事中的巨人泰坦而在1794年 命名为钛
十九世纪二十年代	法拉第等开始研究合金钢
1825年	在丹麦实验室制铝获得成功
1833年	法拉第用电解熔融 $MgCl_2$ 的方法最早制得金属镁
1839年	巴比特研制出轴承合金（巴比合金）
1850年	日本最早的反射炉炼铁获得成功（长崎）
1856年	反射炉在水户藩试运转成功 多布列伊研制出铝青铜 贝斯麦发表在转炉中将生铁精炼成钢的方法
1858年	大岛高任在釜石近郊的大桥操作日本最早的洋式高 炉取得成功
1861年	马修特研制出切削用工具钢
1864年	马丁采用威廉斯蓄热方式用平炉炼钢成功 索耳比发表有关钢铁显微组织的论文

十九世纪七十年代	开始研究半导体
1876年	硒整流器问世
1879年	托马斯研究成功碱性转炉
1882年	在德国研究出电解光卤石炼镁的方法 英国哈德菲尔德研制出高锰钢
1886年	霍尔和埃尔用氧化铝熔融盐电解法生产铝获得成功
1888年	拜尔确立起氧化铝的工业生产方法
1896年	基洛姆发明因瓦合金
1900年	奥斯汀发表铁碳系状态图
1903年	威尔斯巴哈发现用锉刀锉稀土金属合金则出现火花，以后在1910年研制出多种火石合金
1905年	氧化亚铜整流器诞生
1906年	马修发明镍铬耐热合金； 泰勒和霍特研制出切削用高速工具钢； 威尔姆发现铝合金的时效硬化
1911年	在德国的杜伦开始进行时效硬化铝合金的工业生产，定名为杜拉铝； 奥奈斯发表水银超导现象
1912年	美国的海恩兹发明用做切削工具的钨铬钴硬质合金； 英国的布莱勒发明马氏体系不锈钢，德国的施特劳斯和马勒发明18-8不锈钢； 劳厄发现X射线衍射现象
1914年	埃尔曼发明导磁率比硅钢大得多的Fe—Ni合金，命名为坡莫合金
1916年	杜拉铝开始在飞机上使用
1917年	本多光太郎与高木弘发明KS磁钢
1923年	克虏伯公司发明钨钴硬质合金； 弗莱伊研究成功钢氮化表面硬化法
1929年	增量研制出超因瓦合金
1930年	加藤和武井用氧化物粉末制出OP磁体（即铁钴氧化物粉末磁铁），成为现在的铁氧体磁体的开端， 贝因和达文波特从事钢的等温转变研究，发表S曲线

	线，即发现了贝氏体组织
1931年	三岛德七发明MK磁钢，在此基础上发展为今日的阿尔尼科铝镍钴永磁合金
1932年	增本量与山本达治发明铁硅铝磁合金
1934年	泰勒提出位错假说； 高斯发表有关取向硅钢板生产方法的专利
1936年	德国的克劳尔研究出用镁还原四氯化钛制取钛的方法
1938年	日本开始出售含硫易削钢； 克诺尔和卢斯卡发明电子显微镜； 燃气轮机开始实际应用； 杜邦公司的卡洛扎斯发明尼龙，并制成世界最早的合成纤维正式出售
1940年	北原五郎和五十岚勇发明特超硬铝，并用于零式战斗机机翼桁架
1942年	利用钴基高温合金使飞机燃气涡轮发动机实用化
1945年	贝尔电话研究所发现晶须
1947年	克劳尔制钛法投入工业生产； 布斯比和包索尔斯研制出镍钼铁超导磁合金
1948年	肖克利、巴坦和布拉顿发明晶体管； 美国的米尔斯在铸铁水中加镁成功地制成球墨铸铁；在此前后，英国的莫洛用加铈的方法也制得相同的球墨铸铁
1950年	弗兰克和里德证实晶体中存在位错； 美国阿姆科公司PH型（沉淀硬化）不锈钢
1952年	杜拉确立纯氧顶吹转炉炼钢法，在奥地利的林茨和多纳维茨相继工业生产（LD法）； 世界最早的喷气式民航机慧星I型问世
1953年	波恩为提纯锗而研究出区域熔炼法
1954年	使用氨的微波激发器（脉塞）诞生
1954~1955年	为制取高纯硅而研究出悬浮区域熔炼提纯法
1956年	波尔曼和哈休用电子显微镜观察金属薄膜证实位错的存在