

# 稀土合金相图及相关关系的研究<sup>1)</sup>

郑建宣 庄应洪 陈荣贞 刘敬旗 李德萱

(广西大学物理系)

相图用于研究两种或两种以上元素的组合在什么样的成分、温度和压力下形成什么样的晶体结构,可能会有什么样的性能,以及这些因素之间可能产生的变化关系。相图所反映的是物质世界的最基础的规律。大多数新材料的发展是以相图工作作为先导的。

我国稀土资源十分丰富。稀土元素有许多特殊的性能。正如 Wallace 在他的著作《稀土金属化合物》中所说,稀土金属化合物有许多有意义的特性。稀土元素是化合物的形成者,几乎与周期表中每一族元素都发生化学组合。这些化合物在晶体结构和配比成分方面是形形色色的,多种多样的。稀土元素所组成的体系具有许多特殊性质。近 20 多年来,稀土化合物在新型磁性材料、贮氢材料、高温材料和超导材料等方面,已为科学技术的发展提供了许多特殊需要的新型材料。稀土合金相图的研究,对利用和开发我国丰富的稀土资源有着重要的意义。

合金相图的研究,是一项极其细致的、辛勤的工作。合金相图研究中要解决的几个主要问题是: 1. 合金试样的熔化。在合金熔化过程中,要保持配料成分不变化,要保证合金成分均匀。对于稀土合金试样的熔化,技术上要解决的问题很多。由于稀土元素化学性质非常活泼,相对其他金属元素来说,熔化时的蒸气压比较大,合金熔化过程中控制不好,容易引起氧化和挥发,使合金试样含过多的杂质或产生成分的偏离,导致合金相图的测定发生困难。不同的稀土合金体系要采取的技术措施是不同的。2. 合金的平衡处理。不同的合金体系在不同温度下达到平衡所需的时间是很不相同的。在平衡处

理过程中,需要进行反复检查。3. 合金相的辨认。相的辨认是相图测定的关键。稀土合金体系的相关系比较复杂。X 射线衍射分析鉴别合金相图中出现的相是最有效的,但是对鉴别一些体系的某些新相出现的灵敏度较低,还需要用其他技术如金相显微镜、电子显微镜、电子探针微区分析、穆斯堡尔谱等结合起来进行测试。

测定稀土合金相图的技术问题较多,也较复杂,因而国际上对稀土合金相图的研究,迟至六十年代以后才逐渐开展起来。前期的工作中,在准确性上也存在不少问题。我国对稀土材料开发的工作非常重视。1978 年国家科学技术委员会材料学科规划部门专门组织了我国“稀土相图规划协调组”,以促进我国稀土相图研究工作的开展。我们金属物理研究室从 1982 年接受中国科学院科学基金委员会的资助,开始了稀土合金相图的研究。从 1982 年至 1986 年,先后完成了稀土合金相图及相关关系研究论文 28 篇,分别发表在《物理学报》、《金属学报》、《中国稀土学报》和《广西大学学报自然科学版》等学术刊物上。论文摘要大部分先后被收编在美国《物理文摘》、《金属文摘》和《化学文摘》,相图收编在苏联出版的《金属系相图》各卷中。

我们的工作大致分如下几个方面:

1. 填补二元和三元稀土合金相图的空白和欠全面研究的相图。所研究的二元和三元稀土合金相图,绝大部分是国内国外尚未研究过的。例如, Gd-In, Gd-Cu, Gd-Sn, Dy-Cu, Dy-Sn 和 Nd-Cu 等和其他三元系相图是以前尚未被人研究过的, Er-Ge ( $\leq 50\text{at}\%$  Er) 系部分相图

1) 本文介绍的科研成果获国家自然科学基金成果四等奖。

是补充以前研究工作者尚未测定的部分。我们1983年在《物理学报》No. 11上发表的Nd-Cu系相图,与Ch. Laks等人1984年9月在J. Less-Common Met. No. 9上发表的结果基本一致。1982年在《物理学报》No. 6上发表的Dy-Cu二元系相图,与E. Franceschi 1982年在J. Less-Common Met. No. 10上发表的亦基本一致。这些情况说明我们的工作与国际上同类型研究工作水平相当。

2. 修正了一些有错误的相图。五十年代关于Fe-La二元系相图的研究是有争议的。我们的工作证实了Fe-La二元系相图和苏联学者研究的不同,是不存在中间相LaFe<sub>2</sub>和LaFe<sub>5</sub>的共晶型相图。

3. 研究了稀土-过渡族体系例如, Dy-Ni, Sm-Ni, Gd-Ni, Nd-Ni, Co-La-Ni, Co-Gd-Ni和Co-Cu-Gd等体系的相图,尤其较系统地研究了稀土-镍体系和稀土-钴-镍体系的相图。为开发磁性材料和贮氢材料等的研究和生产提供必需的数据。

4. 研究了稀土-铝,稀土-铜和稀土-铁体系的相图。对了解稀土在铝基合金、铜基合金和在钢铁中的作用,以及为稀土金属作为合金元素添加剂,改善和提高有色金属合金和高温合金的力学与抗腐蚀性能等,提供了有益的参数和理论依据。例如,La对Cu-Al-In富铜合金

相关系影响的研究表明,La在铝青铜晶粒细化、强度提高和抗腐蚀性能的改善等方面具有良好的作用。

5. 在稀土-金属体系相图研究中,除前人发现的许多稀土金属化合物外,还发现了Dy<sub>4</sub>Ni<sub>7</sub>, Dy<sub>4</sub>Sn<sub>7</sub>, Dy<sub>2</sub>Sn, Dy<sub>8</sub>Sn<sub>9</sub>, DySn<sub>4</sub>, DySn, Gd<sub>3</sub>Sn, Gd<sub>5</sub>Sn<sub>7</sub>, Gd<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>和LaAl<sub>1.43</sub>Cu<sub>1.43</sub>等十个新相;观察到GdCu<sub>6</sub>, Dy<sub>2</sub>Co<sub>17</sub>和LaAl<sub>2</sub>具有同素异构转变。稀土-镍二元系和稀土-钴-镍三元系合金相图的系统研究所提供的数据是很丰富的。例如,根据Dy-Co-Ni和Gd-Co-Ni两个三元系合金相图可知,对于Dy-Co-Ni体系, Dy<sub>2</sub>Co<sub>17</sub>与Dy<sub>2</sub>Ni<sub>17</sub>两个中间相不存在固溶区;而对于Gd-Co-Ni体系,在Gd<sub>2</sub>Ni<sub>17</sub>和Gd<sub>2</sub>Co<sub>17</sub>两个中间相,Co能替代Gd<sub>2</sub>Ni<sub>17</sub>中的Ni达95%,而Ni却不能替代Gd<sub>2</sub>Co<sub>17</sub>中的Co。上述这些新相的发现和两个三元系中2:17相出现的特有的现象,为探索相关的稀土合金形成规律提供了有价值的参考资料。

这些稀土合金相图的工作,为研究与发展稀土金属化合物提供了基本参数、成分范围、形成的反应类型以及相结构方面的信息,充实了合金相图的文献资料,丰富了晶体学、固体物理和物理化学等方面的数据。这些合金的组成相与成分、温度的变化关系,对开发和综合利用稀土资源具有参考价值。

(上接第485页)

一般的热处理强化,因而硬度低,寿命短。采用激光处理后,寿命提高了20倍,每年可节约成本600万元以上。

在激光熔凝处理方面,最近的研究发现,在合适的工艺参数下,可在钢表面获得硬度极高(可达HV1000—1300)、成分非常均匀的单相过饱和固溶体组织,而且具有很高的组织稳定性<sup>[13]</sup>。这种组织在耐磨抗蚀方面有着巨大的应用潜力。

- [1] George J. Rudzki, Surface Finishing Systems, Amer. Soc. Met., (1983).
- [2] E. Richard Booser, CRC Handbook of Lubrication, CRC Press, Vol. II, (1983), 623—643.
- [3] 刘家浚主编,材料耐磨抗蚀及其表面技术概论,机械工

业出版社,(1986)283,—370.

- [4] 松永正久主编,固体润滑手册,机械工业出版社,(1986).
- [5] 梁志杰、藏永华,刷镀技术实用指南,建筑工业出版社,(1988)
- [6] T. Takagi and T. Liu, ASLE Trans., 10(1967), 115.
- [7] N. J. Archer, Tribol. Int., 11(1978), 135.
- [8] H. O. Pierson and E. Randich Proc. 6th Int. Conf. Chemical Vapor Deposition, Electrochem. Soc. New York, (1977), 304—317.
- [9] W. E. Spear and P. G. Le Comber, Solid State Commun., 17(1975), 119.
- [10] H. E. Hintermann, Tribol. Int., 12(1980), 267.
- [11] 吴仲行,表面工程, No. 1(1988), 14.
- [12] 周昌焱, ibid, 20.
- [13] Zhu Jie, and Liu Jia-Jur, Proc. Surface Engineering International Conference, (1988), Japan Thermal Spraying Society, 457.