

铁合金生产的 理论和工艺

М. И. 加西克 Н. П. 拉基舍夫 Б. И. 叶姆林 著

张 烽 于 忠 等译

冶金工业出版社

铁合金生产的理论 和 工 艺

М.И.加西克 Н.П.拉基舍夫
Б.И.叶姆林 著
张 烽 于 忠 等译

冶 金 工 业 出 版 社

(京) 新登字036号

内 容 简 介

本书阐述了电冶金过程制取铁合金的理论基础,合金元素及其化合物的性质,金属和氧化物系的相图,氧化物还原反应的热力学和动力学。此外,书中介绍了当代铁合金生产过程的分类和铁合金标准化的原则;叙述了硅、锰、铬、钨、钼、钒、铌和稀土金属基铁合金的生产;讨论了综合和合理利用资源问题;阐明了铁合金冶炼的工艺参数和电制度及其出铁和浇注特性。

全书共有插图292幅,表格206个。

本书可供铁合金专业科研、设计、生产人员阅读,也可作为高等院校有关专业教学参考书。

铁合金生产的理论和工艺

М.И.加西克 Н.П.拉基舍夫 Б.И.叶姆林 著

张 烽 于 忠 等译

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷38号)

新华书店总店科技发行所经销

河北省阜城县印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 22.625 字数 601千字

1994年8月第一版 1994年8月第一次印刷

印数 1—3000册

ISBN 7-5024-1203-4

TF·283 定价 25.00元

译 者 的 话

本书是前苏联冶金出版社1988年出版的《Теория и Технология Производства ферросплавов》一书的中译本。

钢,尤其是高质量的优质钢和铁基、非铁基合金的发展,对铁合金的质量和品种都提出了越来越高的要求,因而推动着铁合金的理论研究和设计的进一步深入和完善。

铁合金工业作为冶金工业的一个重要分支,对其提取理论,反应机理研究的发展,前苏联科学家作出了重要的贡献。

要发展和扩大铁合金原料来源和提高合金元素的利用率,不仅应将冶炼工艺(水法、火法冶金)的研究突出地摆到最重要的地位,而且在选矿以及用于钢脱氧、合金化等方面还有一个元素资源充分利用的问题,这就要求采矿、选矿、提取和利用等各个环节进一步合理化,提高利用效率。本书所涉及的基本理论为选择最佳工艺提供了理论依据。

铁合金的制取方法,无论是直接法还是间接法都是电热过程,因而以最少的电力,最低的消耗来制取铁合金一直是铁合金工作者的重要课题,这不仅包括提取、冶炼工艺的合理性而且还包括装备的高水平和三废利用。

本书涉及内容广泛,是目前铁合金专业较有参考价值的专著,可作为高等院校、科研、设计单位和冶金工厂工程师的重要参考书。

本书译者分工情况如下:目录、序言、前言由王清山译,第1、2、3、4章由王一仁译,第5、7章由张烽译,第6章由莫叔迟译,第8、9、10、11章由于忠译,第12、13、14、15、16章由李志祥译,第17、18章由张国铭译,第19章由孟祥真译,第20、21章由于广盛译,第22、23、24章由张明泉译,第25、26章由钱玉

麟译，第27、29章由毕传泰译，第28、30章由宋子恒译。全书由于忠、张烽审校。

本书在翻译过程中承蒙中国科学院学部委员、冶金专家邵象华先生鼓励，杨志忠、李玉隐、袁中告、李金星的支持协助，还得到李蒙姬、李荣训的帮助，在此一并表示感谢。

由于水平有限错误在所难免，敬请指正。

译者 1991年4月

企业和院校名称缩写

ДАЗ	第聂伯炼铝厂
НЛМК	新利佩茨克钢铁公司
АННК	安加爾石油化学公司
ЗСМК	西西伯利亚钢铁公司
КрКЗ	克里沃罗格焦化厂
ОЭМК	奥斯科尔电冶金公司
ПОЗАК	扎波罗热磨料公司生产总公司
НТМК	下塔吉尔钢铁公司
НовЭЗ	新西伯利亚电极厂
ДЗЗ	第聂伯电极厂
НЭЗ	新切尔卡塞电极厂
ДМК	第聂伯捷尔仁斯基钢铁公司
НПО«Тулачермет»	图拉黑色冶金科研生产总公司
ЧЭМК	车里雅宾斯克电冶金公司
ЗФЗ	扎波罗热铁合金厂
ЗЗФ	泽斯塔佛尼铁合金厂
АЗФ	阿克纠宾斯克铁合金厂
КузЗФ	库兹涅茨克铁合金厂
КЗФ	克留切夫斯克铁合金厂
СтахЗФ	斯达哈诺夫铁合金厂
НЗФ	尼科波尔铁合金厂
СЗФ	谢洛夫铁合金厂
ЕЗФ	耶尔玛克铁合金厂
ДМетИ	第聂伯罗彼得罗夫斯克冶金学院
ГрузПИ	格鲁吉亚工学院

ЦНИИЧМ 中央黑色冶金科学研究院
ХМИАН КазССР 哈萨克科学院化学工艺研究所
МИСиС 莫斯科钢与合金学院
ИМет АН СССР 前苏联科学院冶金研究所
УПИ 乌拉尔工学院
ИЭС АН УССР 乌克兰电焊研究所
ИМет УНЦ 乌拉尔科学中心冶金研究所
СМИ 西伯利亚冶金学院
НИИМ 冶金科学研究所
ЗМИ 扎波罗热机器制造研究所
ИМет АН ГрузССР 格鲁吉亚科学院冶金研究所

前 言

根据前苏共二十七大提出的《1986~1990年和截至2000年苏联经济和社会发展的基本方针》，为了进一步发展黑色和有色冶金，必须从根本上改善金属产品的质量和提高其高效品种的产量，并对这些重要的国民经济部门进行广泛的技术改造。为了有效地解决这些问题，必须在扩大矿物原料基地的基础上加速发展铁合金生产，建立高效的无废料或少废料的封闭工艺等等。国家的科技和经济水平在很大程度上取决于实际利用科研成果的水平和速度，因此，在完成上述任务中，高等院校占据重要的地位。

几年来，电炉熔炼铁合金过程的基础理论和试验研究获得了进一步发展；在生产上应用了崭新的制取和精炼铁合金工艺；建立、采用和有效投产了更先进的电炉和电热装置；施行了新的铁合金产品标准；解决了一系列综合利用资源和环境保护问题。这就促使有必要从根本上改变和完善教学计划和教学大纲。

本书主要阐述电炉铁合金的物理化学基础，包括还原过程热力学和动力学的基本规律，金属熔体结构的现代概念，氧化物和矿渣熔体的表面特性。在本书的撰写中，吸收了铁合金体系液态熔体结构衍射研究的结果，反应的热力学分析结果。用微区域电子显微结构分析方法研究了合金的结构等。用新的观点解释了以前物理化学数据中所没有的一系列试验结果。在本书撰写中也参考了近年出版的有关冶金过程理论的专著和电炉铁合金工艺（见参考文献），以及参考了第聂伯彼得洛夫斯克冶金学院、莫斯科钢与合金学院、格鲁吉亚工学院、中央黑色冶金科学研究所、冶金科学研究所等科研设计单位和铁合金工厂的最新研究成果。冶金院校完成的一些基础理论研究和实验工作建立了本书的科学基础。书中还概要阐述了国内铁合金厂的同行们通过大量劳动和多

年的生产经验而掌握的先进工艺技术。

本书引用的术语、概念以及所用的科技资料和教材，标准和技术文献的热力学数据的文字符号，都符合前苏联科学院科技术语委员会和高等教育部的有关规定。矿物及其结晶形态的术语按前苏联大百科全书（1975~1983年）和矿物百科全书（英译本《矿物》，1985，p. 512）的规定列述。

作者对科学技术博士、教授B.A.格里戈良和科学技术博士、教授И.П.卡兹奇科夫在对本书手稿的书评中提供的宝贵意见，以及对科学技术副博士O.И.波良科夫帮助办理手续和准备手稿付印表示感谢。

绪 言

在冶金和一系列其它技术部门，铁合金以及工业纯金属用于钢的脱氧和合金化，并用于制取合金铸铁和各种合金。铁与Д. И. 门捷列夫元素周期表中各种元素组成的合金称为铁合金。通过加入各种元素使之合金化，可使结构钢、耐蚀钢、热强钢、耐热钢、精密合金和电工钢、特种铸铁以及各种各样的合金改善质量并获得特殊性能。

在技术发展的各阶段，都渴望得到合金化的金属。对制造劳动工具使用了陨石金属和天然金属的时代，历史科学划出了冶金的独立时期。对原苏联自动空间站“月球—20”带回地面的古代残留铁进行的金属物理研究表明，在铁基颗粒中含有镍（12.4%）、钴（0.57%）、磷（2.3%）、硫（0.26%）和其它元素。根据P. И. 明茨（Минц）院士的结论，古代残留铁中， $Ni:Co=20:1$ ，这一比例具有陨石金属的特征。镍、钴和某些其它元素赋予陨石铁以特殊的抗腐蚀性能。采矿、还原、从金属（合金）中排除杂质以及各种元素的合金化，早在青铜时代就已开始。

随着丰厚而集中的各种能源的出现，所应用的由易还原（Cu、Ni等）到难还原（Al、Zr、Ti等）的金属数量增加了，后者对氧具有很高的化学亲和力。对世界钢和铁合金增长的分析表明，铁合金生产的发展速度超前。例如，与1950年相比，1985年的钢产量增长3.7倍，而同期的铁合金产量却增长8.6倍，这说明合金钢比增长了。

铁合金工业现可生产100种以上各种牌号的简单和复杂的铁合金，其中含有单一或以各种成分配比的元素约25种。属于这些元素的有大量轻金属（Al、Be、B、Ca、Mg、Sr、Ti），部分稀有和稀土金属（V、W、Ce、Y、Mo、Nb、Se、Ta），部分重金属

(Co、Mn、Ni、Cr)，以及非金属(Si、P)和氮。

铁合金生产的发展史可分成两个时期，在19世纪初叶，用矿石制取铁合金只在高炉中进行。19世纪90年代，由于力能学的发展，在电炉中生产铁合金得到推广。目前，主要的铁合金是在电弧炉中生产的，并以碳、硅和铝作为还原剂。

电弧现象是俄国学者З.В.彼得罗夫(Петров)教授于1802年揭示的。他第一次论证了使用电弧作为热源用于还原过程的可能性和有效性。1859年，Н.Н.别克托夫(Бекетов)院士从理论上和实验上说明了用铝热法制取金属和合金的可能性。

在俄国，电冶铁合金工业的诞生历史与1910年8月12日在乌拉尔的建设与投产的第一个电冶铁合金厂——波罗吉(Порог)分不开。

电炉供电是直接从发电机经母线和软电缆系统实现的。工作时电制度不变。采用截面为 $400 \times 400\text{mm}$ 的石墨化电极；而以后，工厂积累了使用自焙电极工作的经验。

自1910年开始，在电炉中熔炼了硅铁、高碳锰铁、高碳铬铁、碳化钙、碳化硅和其它铁合金。

尽管第一个，也是革命前俄国唯一的电冶铁合金厂波罗吉的生产规模无法保证工业对铁合金的需求，但它在为伟大的十月社会主义革命后建立起来的铁合金工厂培养干部方面起了巨大的作用。这个俄国的第一家电冶铁合金厂，目前作为沙特金冶金厂的电熔车间仍在运行，它生产电熔镁砂。在第一个五年计划期间，在车里雅宾斯克，扎波罗热和泽斯塔佛尼诸城市分别建起了铁合金厂。

在1932年召开的联共(布)中央委员会全会关于黑色冶金决议(前苏联共产党在中央委员会全会和代表大会上的会议公告和决议，莫斯科，政治出版社，1971年，第5卷，59页)中指出，车里雅宾斯克厂掌握了铁合金生产，而这些铁合金，以前是由外国提供给前苏联的。在以后的年代里，传统的生产规模迅速增长，并掌握了新的复合铁合金的生产。随着生产的迅速发展和热

强钢、耐蚀钢和其它特殊用途钢和合金需求量的增长，促进了铁合金生产的发展。被称为特殊钢五年计划的第三个五年计划中，电炉铁合金工业达到了一个新的阶段。在第一个五年计划期间，以下数据表明了电炉铁合金生产的高速度发展。1930年电炉生产840t铁合金，1931年为4614t；1932年为15299t，1935年为94162t和1937年为171475t。伟大的卫国战争开始前，前苏联不仅杜绝了进口铁合金，并且已变成世界上最大的铁合金出口国之一。1966年，前苏联铁合金生产和出口量已占世界第一位。1985年已生产数百万吨铁合金。

当前，前苏联铁合金工业拥有19家电炉铁合金工厂，其中的3个建于1931~1933年，它们是车里雅宾斯克电冶金公司，扎波罗热铁合金厂和泽斯塔佛尼铁合金厂。在伟大的卫国战争期间曾建成了阿克纠宾铁合金厂，库兹涅茨克铁合金厂和克留切夫铁合金厂。战后又投产了4家铁合金厂，即斯达哈诺夫铁合金厂（1962年）、谢洛夫铁合金厂（1958年）、尼科波尔铁合金厂（1966年）和耶尔玛克夫铁合金厂（1968年）。另外，在秋索夫冶金厂，新利佩茨克钢铁公司和其它企业中也还有电炉铁合金生产车间。电炉铁合金厂隶属于全苏生产联合会前苏联黑色冶金工业部铁合金协会。

前苏联电炉铁合金工业是最大的电力用户之一。电炉铁合金工业的耗电量约占黑色冶金工业中总耗电量的20%。

在建设和发展前苏联电炉铁合金工业的全过程中贯穿着高速增加铁合金产量，相当集中地在现有一些铁合金厂中进行生产，现有主要设备实现标准化，建设新的生产能力。随着产量和生产能力的增长，完善了铁合金熔炼的工艺和理论。

前苏联电热法奠基者М.С.马克西姆恩科（Максименко）教授（1872~1942年）指出，除电弧放电外，还必须考虑电阻始终与电弧相接。基于乌克兰电力学校С.И.捷利恩（Тельн）教授（1887~1962年）和他的学生С.И.希特里克（Хитрик）教授（1895~1980年）和И.Т.热尔杰夫（Жердев）教授（1903~

1982年)的工作,他们发展了进一步的理论分析和实验研究。在较短的期间内,为铁合金工厂培养了高水平的干部。前苏联科学院院士А.М.萨马林(Самарин)、前苏联科学院通讯院士В.П.依留金(Елютин)、Ф.П.叶德内拉(Еднерал)、В.А.博加留波夫(Боголюбов)、О.А.叶辛(Есин)、М.А.克克利泽(Кекелидзе)、А.Д.克拉马罗夫(Крамаров)、С.Т.罗斯托夫采夫(Ростовцев)和С.И.希特里克等人在铁合金的理论和实践方面作出了重大贡献。铁合金生产的发展历史也与В.П.纳哈宾(Нахабин)、В.Н.古萨罗夫(Гусаров)和Н.М.杰哈诺夫(Деханов)等人的名字联系在一起。

扩大矿物原料基地对铁合金工业具有极大的意义。战前已有成效地开采了尼科波尔和恰图拉锰矿,它是当前黑色冶金矿产的主要基地。而铬铁、钨铁和其它铁合金生产用原料是比较短缺的。

有组织地广泛勘探有用矿藏获得了有效结果。在哈萨克斯坦草原发现了乌尼卡林铬矿资源,其贮量占目前主要开采地贮量的95%。1938年在已勘探的堇青石产地开始了工业性开采铬矿($55\sim 62\% \text{Cr}_2\text{O}_3$),这具有特别重要的意义,因为在所冶炼的高合金钢和合金中,60~80%都含有铬,以作为主要的合金化元素。阿克纠宾铁合金厂于1943年在铬矿基地投产。

1934年在波利也尔波路斯(卡巴尔达—巴尔卡林)发现了钨钼矿产地。目前,海拔3000m以上的姆库兰斯基采矿场在露天开采宝贵的矿藏,用以生产钼精矿,冶炼钼铁。

在第十和第十一个五年计划期间,进行了补充地质普查工作,以探明铁合金工业所需要的新矿并扩建以前开采的矿山。当前主要任务之一是进一步巩固和扩大铁合金生产的矿物原料基地。

目前的任务是投产塔氟里捷选矿公司(扎波罗热地区),开采和富集锰矿,期望加速发展铝、钨、稀有金属等矿产基地。

扩大地质工作,在大陆、海洋的大陆架和海底寻找新的矿源

和能源，在那里发现有大量铁锰结核的沉积物，它还含有镍、钴、铜和其它元素以及硫化物的多金属矿。按当今的观点，地幔是矿物质进入地壳的主要源泉。因此，在地下3000~7000m深度以下寻找矿藏的任务是很现实的。

前苏联在1962年成立的关于“研究地下资源和超深钻探”问题的各部门联合组成的科学委员会的领导下，完成着研究地幔的规划。在1970~1986年间进行了钻探科利斯克（波罗的海沿岸）和萨阿特林（阿塞拜疆）的超深钻井。科利斯克超深钻井的计划深度是15000m，科利斯克钻井1985年达到了13000m的指标。在第十一个五年计划期间开始钻探了六个深井，其中三个石油区，三个矿区（穆伦塔乌，诺里利和克里沃罗什）。在科利斯克钻井4500~11000m深处的岩石碎屑中粘含有石英石、石灰石，以及铜、铁、铅、锌、镍和钴的硫化物。靠近陨石的硫的同位素成分证实了关于它们的地幔生成说。对科利斯克超深钻井的地质研究结果可以表明大陆深部有利于矿物沉积。

电炉铁合金生产是耗电大的工业部门之一，它的发展将与电力基地的发展密切相关。

前苏联拥有20多亿原生燃料动力资源，其中的大半用于生产电能。到2000年，用于发展电能的主要燃料动力资源有：核燃料、煤、伴生气、天然气和西伯利亚河流的水力资源。1990年，发电量将达到18400~18800亿kW·h，其中，核电站的发电量将为3900亿kW·h。前苏联建成了联合电网系统。

成功地发展铁合金的电热生产，除了进一步建立矿物原料和电能基地外，在许多方面还要取决于加速进行原矿和精矿加工工艺和理论的研究。首要任务是在原料准备和电热熔炼的各阶段，对碳热法、硅热法和铝热法制取铁合金工艺过程进行物化基础方面的研究，以及在黑色冶金和其它技术领域合理应用铁合金方面的研究工作。在深入理论研究的基础上，有必要选用更加合适的碳质还原剂，以及通过预先热加工处理，以确定更为有效的原料制备工序。

考虑到能采用先进的工艺和装备，建设完善的车间和工厂，在设计和建设新铁合金车间和工厂时，主要的技术决定由设计院（前苏联钢铁工厂设计院，格鲁吉亚冶金工厂设计院，西伯利亚冶金工厂设计院等）来保障实施。在设计新的大型矿热还原电炉方面的所有先进措施的制定和采用，都直接由前全苏电热装备设计科学研究所领导。

尤其要考虑的是，在综合利用矿物原料来制取铁合金的中间产品和最终产品时，制定、研究和采用封闭的工艺系统冶炼铁合金，以保证合理利用本国的丰富矿产资源和保护周围环境。

主要的发展方向应该是完善现有设备结构和建造新的超大型的铁合金电炉和装备；实现铁合金冶炼工艺过程的全部机械化和自动化；采用计算机技术，微处理机和控制电炉铁合金工艺过程的自动化系统；铁合金产品的鉴定和标准化。黑色冶金工业部的研究所，科学院和高等院校的研究室对前苏联铁合金生产技术和科研的进一步发展作出了非常重要的贡献。

按照《1986~1990年和截至2000年前苏联经济和社会发展的基本方针》，规划了对黑色冶金企业进行广泛的技术改造。指出，简单地使产量增加几倍，会比以提高金属质量来保证国家需求要昂贵得多，而首先应提高电炉、氧气转炉冶炼的合金钢比。在第十二个五年计划期间，电炉钢的生产有很大的增长，其主要原因是投产了一批新的电炉。与此同时，采用乌克兰科学院 E.O.巴顿电焊研究所电渣重熔的先进方法和其它特种电冶金方法提高了优质钢的产量。在发展黑色冶金工艺技术的全部基建投资中，相当大一部分是用于改善金属的质量和完善金属品种，以保证提高电冶铁合金的生产率。

目 录

企业和院校名称缩写	IX
前言	XI
绪言	XII
第1章 铁合金熔炼过程的分类	1
§1 铁合金的分类和用途	1
§2 对铁合金质量的一般要求	6
§3 铁合金生产工艺的分类	8
第2章 制取铁合金的理论基础	19
§1 元素对氧的化学亲和力	19
§2 制取铁合金时金属溶液的作用	23
§3 熔炼铁合金的炉渣	31
§4 矿物和炉渣的同质异相现象	40
第3章 电热法结晶硅和碳化硅	50
§1 硅、碳及其化合物的性质	50
§2 碳还原二氧化硅的理论基础	65
§3 对碳素还原剂质量的要求	73
§4 结晶硅工艺	80
§5 碳化硅工艺	85
第4章 电热法硅铁	88
§1 硅铁的品种和性能	88
§2 制取硅铁过程中碳还原二氧化硅的理论基础	99
§3 硅铁的工艺	103
第5章 碱土金属的硅质铁合金	121
§1 碳化钙	121
§2 硅钙	125

§ 3 硅钡	134
§ 4 硅锆	137
§ 5 硅镁	138
§ 6 铍铁	140
第 6 章 锰及其合金	145
§ 1 锰及其合金的应用范围	145
§ 2 锰及其化合物的性质	149
§ 3 氧化锰的热分解	165
§ 4 锰矿和锰精矿的特性	171
§ 5 锰精矿的脱磷	180
§ 6 锰精矿的造块工艺	189
§ 7 高碳锰铁工艺	206
§ 8 硅锰工艺	227
§ 9 复合锰合金工艺	236
§ 10 金属锰和中碳锰铁工艺	238
§ 11 氮化锰	253
第 7 章 铬及其合金	257
§ 1 铬及其合金的应用范围	257
§ 2 铬及其化合物的性质	260
§ 3 铬矿	272
§ 4 高碳铬铁工艺	278
§ 5 硅铬工艺	290
§ 6 低碳铬铁工艺	300
§ 7 真空法制取超低碳和低氮铬铁	309
§ 8 中碳铬铁工艺	315
§ 9 金属铬工艺	320
§ 10 铝热法铬铁工艺	328
§ 11 氮化铬铁工艺	331
§ 12 铬基中间合金工艺	333
第 8 章 钨铁	339