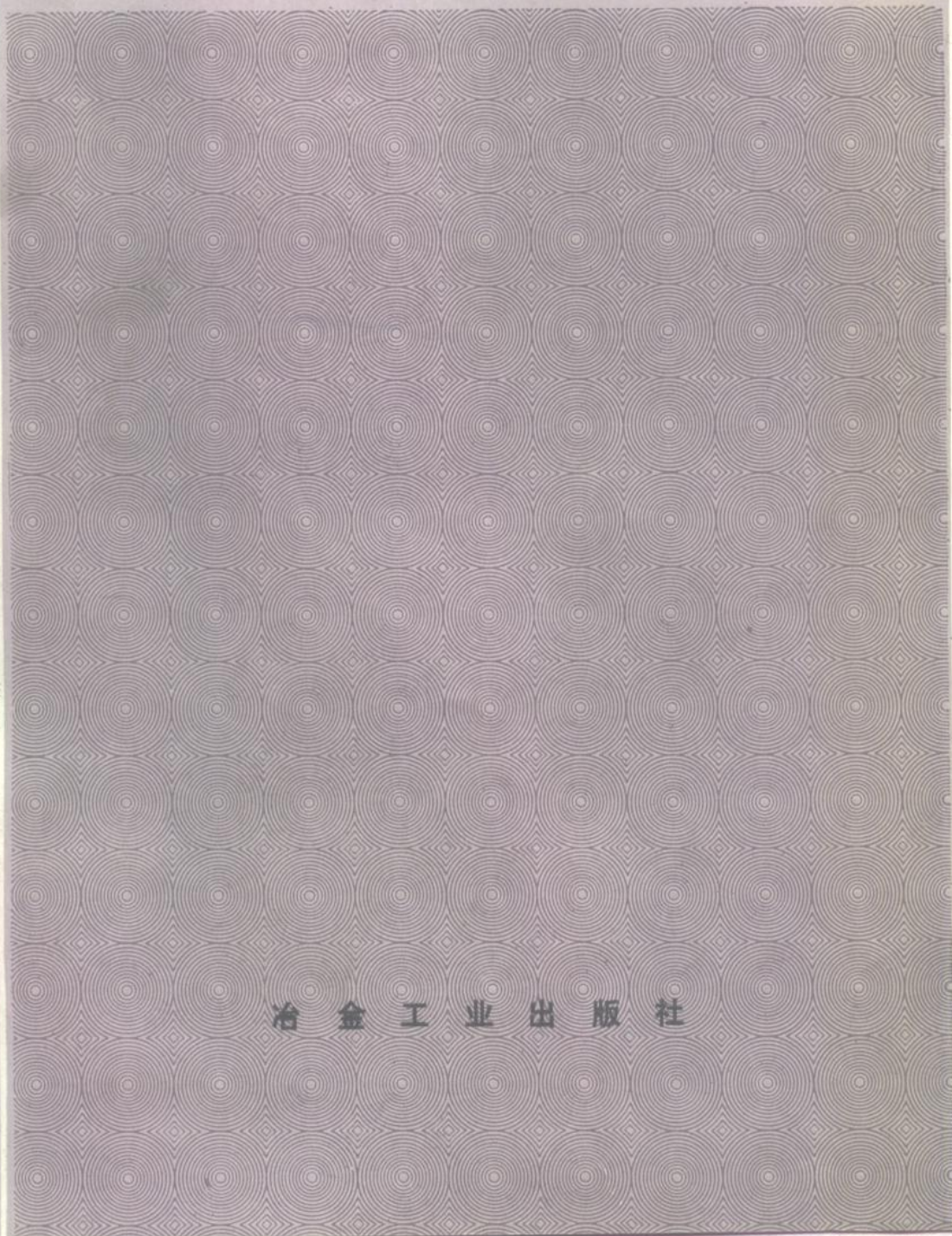


苏联钢铁科研论文集

苏联钢铁科研论文集



冶金工业出版社

冶

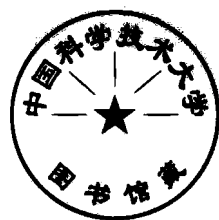
76.2
302

版
社

苏联钢铁科研论文集

[苏] Н.П. 利亚基舍夫 主编
叶锐曾 李裕芳 唐与谌 等译

31.452



冶金工业出版社

内 容 简 介

本文集系根据苏联中央黑色冶金科学研究所编、1982年苏联莫斯科冶金出版社出版的《МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ СПЛАВЫ ПРОЦЕССЫ》论文集译出。

书中反映了苏联钢铁冶金工业的发展现状和前景；阐述了强化冶金过程的基本方向、高级优质钢的生产以及新型复合材料、粉末材料和非晶态材料的创制；讨论了提高金属质量的效果、金属产品质量的检验与研究。特别提出创制具有较高使用性能的钢种和合金的途径，其中包括气油管、机械制造和建筑用较高强度和高强度、优异韧性和耐寒结构钢、耐蚀钢和各种精密合金。

部分论文介绍有关现代各种压力加工方法的应用以及高强度状态形成的原理，还反映有关钢中相变、金属与合金范性形变及断裂的现代认识。

苏联钢铁科研论文集

〔苏〕Н.П.利亚基舍夫 主编
叶锐曾 李裕芳 唐与谏 等译

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷33号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 18 字数 427 千字

1986年5月第一版 1986年5月第一次印刷

印数00,001~1,650册

统一书号：15062·4293 定价4.05元

目 录

黑色冶金部门的科研中心·····	1
黑色冶金工业的基本发展趋势和节能问题·····	6
高炉炼铁工艺发展新方向·····	10
用氧气转炉和钢包精炼法生产高级优质钢·····	15
金属化球团为炉料的电弧炉炼钢工艺·····	21
特殊钢和特殊合金的熔炼·····	28
利用等离子加热生产高级优质钢·····	33
连续铸钢方法的现状及发展远景·····	38
苏联铁粉和合金粉的生产工艺·····	44
提高宽带钢热连轧机生产板材的质量·····	48
优质钢冶金生产中现代化压力加工方法的应用·····	55
钢材形变热处理过程·····	63
钢及合金高强度状态形成的原理及其强化新方法·····	68
涂层薄板生产特点·····	80
新型双金属的研究与生产工艺的现状和前景·····	86
提高黑色金属质量的主要经济任务·····	95
钢的纯净度、鉴定方法及对机械性能的影响·····	103
含微量强碳氮化物形成元素的高强度耐冷结构钢·····	106
输送油气的热强化电焊管用钢·····	112
新耐蚀材料的研制·····	117
电工钢与合金的生产·····	122
精密合金的物理预测·····	131
弹性、热性和电性反常的精密合金·····	139
低温技术用精密合金·····	150
磁性精密合金——问题和前景·····	156
非晶态精密合金·····	167
具有特殊物理性能的复合材料·····	177
精密合金的特殊工艺·····	187
金属熔体的结晶特点·····	193
钢中的相变·····	203
金属及合金的范性形变及断裂问题·····	211
合金的晶体结构研究·····	222
金属学中物理研究的新方法·····	232
在原子技术成就的基础上所建立的控制系统·····	242
黑色冶金金属产品质量的检验与研究·····	248

金属产品统计检验法的研究与应用.....	254
黑色冶金材料化学成分测量的计量保证.....	259
冶金生产材料的物理-化学相分析及其发展前景	265
金属产品价格形成系统的完善.....	269
高精度带钢和钢板的生产工艺特点.....	279

黑色冶金部门的科研中心

И.П.卡扎涅茨

本文介绍世界最大的黑色冶金专业研究

机构—苏联中央黑色冶金科学研究院

在现代科学技术革命的条件下，科学已成为直接生产力，其新的作用在于；第一，应用研究与生产和新技术的运用越来越紧密地形成统一的有机整体，正变成科研生产系统的工业环节，而且影响着目前经济发展的进程和今后前景；第二，在研制新技术和新工艺以及创制新产品的各个阶段，科学直接参加生产过程。

黑色冶金部门的主导研究院——И.П.巴尔金中央黑色冶金科学研究院是世界最大的黑色冶金科学研究院。实际上该院所有冶金生产方面的科研成果往往反映苏联国内以及国外冶金工业的科学和技术水平。

在过去几年里所取得的科研成果中，应特别指出的有，采用氧气作为炼铁和炼钢生产的强化剂，特别是氧气转炉炼钢法的新的应用，钢的合成渣洗，连续铸钢，先进的特种冶金法的创制等等。

仅在第十个五年计划期间，作为研究院科研成果向国民经济转移的有200多个新钢种和新合金牌号以及150个新型钢材，所得经济效益约4亿卢布。

该院的科研成果已在苏联160个企业和15个外国企业中推广运用。

依靠全院职工积极的、创造性的劳动，广泛开展社会主义竞赛和组织各种新形式的竞赛，才有可能获得这些成果。

该集体工作中最突出的特点究竟是什么？是什么使他们在社会主义竞赛中不断获得良好的生产指标和成就（该院全体职工在本部门和莫斯科市巴乌曼斯克区的科学研究院所中多次名列第一）？

中央黑色冶金科学研究院的课题规划实际上包括了第十一个五年计划的基本文件“苏联1981~1985年和到1990年期间经济和社会发展主要方针”向冶金工作者所提出的全部任务。

该院研究课题的特点是方向明确，措施具体而现实。例如，国民经济对含钒钢的需求不断增长，钢中添加少量（0.03~0.1%）钒，可使构件重量比普通钢轻30%，价格便宜25%，因此急需尽快提高钒铁产量和改善其质量。

由于科学家、设计人员和生产人员通力协作，图拉黑色冶金科研生产联合体的钒渣处理新车间已投产。

该车间的设备和工艺特点在世界上均属独创。由于在焙烧阶段采用活性添加剂使钒转变成可溶状态，不仅没有有毒化合物污染空气和水源，而且在工艺流程的各个部分实现了一系列新的有效方案。依靠中央黑色冶金科学研究院全体职工与图拉黑色冶金科研生产联

合体的密切合作，才可能在短期内建成钒渣处理车间，运用推广新工艺和新设备。科学家和生产人员小组，其中包括研究院的两个协作单位，因此项成果被授予崇高的列宁奖金获得者称号。

中央黑色冶金研究院的科学家直接参加了荣获列宁勋章的新利佩茨克冶金工厂新氧气转炉车间的建设和试生产。该车间是苏联主要的炼钢车间之一，是世界上首次在工业范围内采用全连铸工艺的车间，在350吨转炉采用先进的炼钢方法和生产能力高的弧形连铸机连铸。

1978年，在该院综合工作队的积极参加下，亚速钢厂同类车间达到了设计能力。

在增加转炉炼钢生产的同时，解决了以现有平炉为基础建双床平炉强化平炉炼钢的问题。

由于工艺操作按炉料加热和吹氧划分，而在两个炉膛里同时进行加热和吹氧，这就可大大提高生产能力。双床平炉年产钢量可达120~160万吨，超过可比炉容平炉生产能力的2~4倍，接近现代氧气转炉的生产能力。目前苏联黑色冶金部所属各厂有13座双床平炉在生产，可炼近1500万吨钢。

中央黑色冶金科学研究院的科学家会同设计单位和企业的职工解决了一项最重要的课题——保证向国民经济供应优质电工钢。如，由于上伊谢斯特冶金工厂采用新工艺的冷轧变压器钢车间的投产、冷轧电机纯铁的试生产、切列波维茨冶金工厂合金电机钢工段的兴建，电工钢的品种和质量发生了明显变化。成卷供应的冷轧钢材，其中包括带绝缘涂层的冷轧钢材比例猛增。变压器钢的磁性显著改善，例如，钢带厚0.35毫米时 $P_{1.5/50}$ 的铁损不大于1.03瓦/公斤。由于可确保向国内变压器制造业充分供应优质钢，故从1980年起已停止进口变压器钢。使用取向纯铁卷就可研制出性能优良的电动机系列，生产同等容量的电动机就可节约12~20%的钢和6~8%的铜。由于金属质量的改善，近7~8年来，电机制造业的产量几乎增长了60%，而对电工钢的需求量只增加了15%，功率达100千瓦的电动机产量提高了50%以上，但金属需求量并未增长，完全靠所节约的金属解决的。

为制作铺设在西伯利亚和北方边远地区能承受7.5兆帕压力的输气干线，中央黑色冶金科学研究院会同各冶金工厂，研制和掌握了09Г2ΦБ钢，其质量符合世界各国标准的全部要求，屈服极限为440~520兆帕，极限强度560~630兆帕，伸长率22~28%，圆缺口试样在-60℃时的冲击韧性为0.7~1.2兆焦/米²，尖缺口试样在-15℃时的冲击韧性为0.9~1.3兆焦/米²，耐寒性良好。在-15℃温度下此种钢落锤撕裂试验（ДБТТ）全厚度试样的试验表明，韧性断裂在85%以上。根据韧性断裂比例和 T_{50} 试样断口测定出的冷脆性转变温度为-50℃。在钢管钢可焊性良好的条件下，屈服极限与耐寒性能同时达到这一高数值，在苏联尚属首次。已采用这种钢大量生产1420毫米大直径钢管。

中央黑色冶金科学研究院于1968年组建的黑色冶金经济研究所，对提高黑色冶金工业发展效益有重要贡献。经济研究所全体职工已完并得到广泛运用的项目中，应列为最重要的有：新技术的效益，提高金属质量，改进黑色冶金部门工作计划和经济刺激，固定资产和基建投资的使用效果，国民经济对钢铁的需求和价格论证，黑色冶金部门和各企业工作效果的分析。在论证五年计划和冶金部门远景发展，以及决定黑色冶金工业科技进步综合纲要时，均广泛运用了经济研究所的科研成果。

上述实例证实，中央黑色冶金科学研究院的工作不仅具体，而且采取综合方法来完成提

出的任务。由于研究院拥有一支专业门类广、技术水平高的科研干部队伍，可从本院几乎包括一切专业的众多专家中选派专人解决每个具体问题。

在这方面，专门成立创造发明机构和小组已证明对解决最复杂的问题是非常有效的。目前在最大的冶金新建项目——奥斯科尔斯克电冶公司各单位正效法上述作法。

研究院一直保持和加强与生产单位的这种联系，根据与冶金部门和国民经济金属使用部门132个企业的创造协作合同顺利进行工作。

即使在从事看来是纯理论的研究工作时，研究院的科学家也能成功地找到实际运用其成果的部门，例如，对金属物理基础理论问题之一——相转变理论的研究，使科学家得以创制出提高钢的结构强度的新方法，从而提高机器的可靠性、使用寿命、使用性能，减少制造机器所需的金属用量。

多次试验表明，采用所谓热机械处理改善钢的结构，可有效提高钢的结构强度。将塑性变形（轧制、锻造、挤压等）与热处理纳入统一的工艺过程，可在保持所要求的塑性和韧性的条件下，使强度提高50~100%。

通过对相变的深入研究，发现某些转变类型具有热弹性变形现象，根据这一现象创制了在温度周期变化的条件下，外形产生逆变化的合金——形状记忆合金。此种合金可用作热敏继电器的发送器，代替现在所用的热双金属，而且其灵敏度高4~7倍。

在研究辐射作用下钢中相变进行情况时，科学家发现了不同于一般条件下的另一种相变机理。由于钢中辐照缺陷和碳的相互作用及特殊的再分配，辐照会导致相变的可逆性，这为控制钢的性能开辟了新的可能性。

必须强调，中央黑色冶金科学研究院转让给工业部门的均是经过周密试验的科研成果。

之所以能做到这点是由于建立了强大的试验基地：试验室试验直接在试验室进行，大规模的试验在试验厂和赫拉普诺沃试验基地进行。最后，在中央黑色冶金科学研究院的密切合作下，由图拉黑色冶金科研生产联合体进行工业性试验。

除科研生产活动外，中央黑色冶金科学研究院作为苏联黑色冶金部的一个主导研究院，要解决本部门范围内的一系列组织性问题。

中央黑色冶金科学研究院是一复杂的科研机构，它不仅是中央工艺研究所，而且是一致公认的黑色冶金部门科学方法指导中心。

从1959年开始，中央黑色冶金科学研究院每年通过对工厂中心试验室进行抽样检查，就化学检验、物理化学试验的方法、金属学、金属产品机械性能试验等问题进行全面分析研究。其他各部所属工厂和研究院所、高等院校教研室是抽样检查工作的当然参加者。

为了进行抽样检查，以及为了协调各工厂中心试验室的工作，中央黑色冶金科学研究院建立了工厂中心试验室主任委员会，苏联黑色冶金部门主要院所的代表也积极参加委员会的工作。

在标准化、专利许可证工作、与经互会各国科技合作方面，中央黑色冶金科学研究院作为中央的研究院，在苏联黑色冶金部门，有时甚至在跨部门范围内起协调组织的作用。

苏共二十大确定，把提高科研工作效率作为加快科学技术进步的重要任务之一，研究院的全体科学家在贯彻此项决议中取得了相当良好的结果。

近3~4年来，每个科研人员和整个研究院的工作效率已大大提高，运用于生产中的科研项目增长了一倍，提出发明权申请的和获得发明证书及专利的数量增多。由于在工业中

运用推广科研成果，包括理论研究和经济研究等研究工作在内，每一卢布科研费用所得经济效益由1.9增至3.6卢布（此处所指系可用货币形式计算的效果）。

中央黑色冶金科学研究院可称之为苏联黑色冶金部门培养科学干部的熔炉。仅第十个五年计划期间，在研究院的评定委员会上就答辩了21篇博士论文和135篇副博士论文。

中央黑色冶金科学研究院研究班毕业生几乎遍布苏联黑色冶金部门所有企业和科研院所。

该院制定了科研长远规划和社会发展计划，这是一个考虑今后几年工作的综合纲要，内容包括提高研究人员研究水平，发展试验基地和实验室基地，改善劳动组织和劳动条件，从社会心理学方面使科学活动更趋完善等项工作。

在论及研究所成就的同时，不得不指出，研究所的工作还存在一些不足之处。许多任务尚待完成，整个一系列科技问题有待解决。

党和政府向工业部门提出了重要任务：在大量节约原料、燃料和动力资源的条件下大大提高劳动生产率，降低单位产品的原料、燃料和动力资源的消耗。

这也完全适用于黑色冶金工业。

中央黑色冶金科学研究院的科学家和专家面临的任务是，解决一系列对黑色冶金部门来说至关重要的问题：提高质量、节约原料和动力资源、扩大品种、提高生产效率。

在高炉生产中依靠改善现有工艺和采用新的炼铁方法节约焦炭的问题，应列为最重要问题之一。

由于苏联第一座无焦冶金工厂——奥斯科尔斯克电冶金公司的兴建和投产，冶金工作者面临艰巨而复杂的任务是：掌握铁矿原料金属化和使用直接还原铁炼钢的工艺，以及研制各种钢种，首先是滚珠轴承钢铸钢工艺。

提高能承受7.5~10.0兆帕压力的输气干线用钢，以及抗硫化氢脆性石油管用钢的产量是迫切要解决的问题之一。

用冷轧卷钢全部取代热轧钢，是电工钢生产方面的主要任务。为充分满足国内变压器制造业对优质钢的需求，必须安排带绝缘涂层的无取向钢的生产，铁损指标 $P_{1.5/50}=0.95\sim 1.0$ 瓦/公斤，今后将着手组织磁感应强度高和单位铁损值更低的无取向钢新钢种的工业生产。

“根本改善质量和增加高效金属产品产量应是黑色冶金工业今后主要发展方向”^①。

据此，研究院1981~1982年课题计划中60%以上的项目均为解决这些课题——提高产品质量和降低国民经济的金属消耗量。

苏联已确定大幅度提高最先进的经济产品——涂防蚀层钢板和薄板的生产。

因此，苏联黑色冶金部门，特别是研究此问题的主管单位——中央黑色冶金科学研究院面临的任务是：使新设备投产，使一系列冶金企业的镀铬板、电镀锡-铝板、镀锌-铝板 and 带（有机）聚合物涂层的钢板进入正常生产。

轧钢生产方面冶金工作者面临的主要任务是，扩大品种和提高产品质量，以便国民经济部门更有效地利用金属。

应通过有计划地提高下列经济钢材比例的办法改善钢材品种结构：低合金钢钢材、热

① 《苏共二十六大资料》，莫斯科，政治书籍出版社，1981年第151页，俄文版。

强化钢材、正火钢材、冷轧钢板和热轧薄钢板、冷弯型钢、高精度异形型钢、冷轧带钢。

科学家和专家应与生产人员一道对尽快发展粉末冶金，特别是高纯和合金粉末生产给予极大注意。

目前，无论在工艺特性，还是在金属成品质量方面仍有许多要求不能完全满足。因此，必须提高黑色冶金部门所属企业检测仪表和试验装置的装备水平，以及加快发展和运用推广金属质量分析检验法、金相分析法、机械试验和非破坏性检查法。

最后，我深信，中央黑色冶金科学研究院成立以来所积累的科学技术经验，研究院全体科学家、专家、全体工作人员富有成效的创造性劳动，一定有助于完成党和政府向黑色冶金工业提出的宏伟任务。

〔杜华云 译〕

黑色冶金工业的基本发展趋势和节能问题

Н.П.利亚基舍夫

本文从苏联燃料动力资源平衡的观点出发，分析研究了黑色冶金工业远景发展的基本趋势，拟定了靠技术进步确保最大限度降低黑色冶金工业能耗的措施。

节约能源和建立苏联最经济的燃料动力资源平衡的问题，具有特别重要的意义。

这对黑色冶金工业具有头等重要意义。在苏联国民经济中，黑色冶金工业对燃料动力资源的需求居第二位，仅次于苏联动力和电气化部的所属企业。苏联黑色冶金工业所需燃料约占燃料开采量的9%，所需电力占苏联发电量的10%。在研究黑色冶金工业今后的基本发展趋势时，自然应把节能问题作为最重要的问题予以考虑。

中央黑色冶金科学研究所对苏联黑色冶金工业的发展趋势所进行的分析证实，钢产量的增长速度存在下降的规律性，而从长远发展来看，存在停止增长的规律性。这一规律性取决于许多因素，其中苏联的金属拥有量占重要地位。

计算表明，最近十年内苏联的金属拥有量将超过美国。苏联对钢铁的需求居世界第一。近二十年来，苏联国民收入中的金属消耗量已超过大部分工业发达国家的同类指标。

除了国民经济的金属拥有量总的已达到饱和外，还因为通过提高质量和扩大金属产品品种，机器制造业和基本建设中生产准备的现代化，机器、设备、厂房和构筑物设计的改进，以及用其他结构材料取代部分钢铁来节约金属，造成钢产量增长速度减慢。

例如：用低合金钢钢材代替碳素钢钢材，可望降低金属用量0.2~0.25吨/吨，使用热强化钢材可降低约0.25吨/吨，使用冷弯型钢可降低0.25吨/吨，使用热强化钢轨可降低0.5吨/吨，使用宽翼缘梁可降低0.1吨/吨，使用高精度异形钢材可降低0.8吨/吨，使用镀层钢板可降低0.75吨/吨。用粉末冶金法制作的零件，每吨可节约1.5~2吨钢，并可大大减少其加工量。

整个工业产品，特别是机器制造和金属加工产品的增长速度比黑色冶金工业产品的增长速度要快得多，这一事实在一定程度上可证实苏联黑色金属的生产效率和利用率总的来说在不断提高。与此同时，机器制造厂许多工序的金属利用率仍很低。例如，在锻造车间加工的钢材和钢锭的利用率仅0.37~0.51，而采用现代工艺可达0.6。采用冲压和焊接制品代替铸造制品也可保证大量节约金属，同时计划缩小机器制造业中某些零件的尺寸，提高设备的单机能力。

基本建设和国民经济其他部门节约钢材的潜力还很大，节约金属是提高社会生产效益的重要来源。

从长远来看，通过提高质量和扩大钢材品种所节约的金属定能达到相当大的数量。顺利完成这一重要的综合性任务，不仅要靠冶金工作部门，而且有赖于国民经济其他部门，首先是机器制造部门。

黑色冶金工业中的金属料资源可望有很大变化。最近二十年内废钢资源的急剧增加主要依靠折旧废钢和其他废钢资源的增长，这些废钢的质量较低，而且夹有有害杂质，许多

工厂废钢中的铬含量达0.25%，镍0.27%，铜0.20%。这就要求对废钢进行仔细分类，入炉前采用化学冶金方法进行预处理，以及采用提高一次原料比例的办法改变金属成分。

考虑到未来的废钢资源，以及金属化球团生产规模，最近几年内就有可能出现生铁产量增长率降到最低限度的情况。根据这种趋势可以推测，氧气转炉钢在钢总产量中的比例未来将超过平炉钢，而电炉钢比例将大幅度增长。为达到这一炼钢生产结构，必须优先增长电炉钢，减少平炉钢产量，提高转炉钢产量。

目前整个炼钢生产（按从采矿到炼钢工艺环节，将部门内的比例和其他有关部门的全部总和考虑）的吨钢综合能耗为0.752吨标准燃料393度电，总能耗为0.858吨/吨。

各种炼钢方法的能耗指标如下：

	平炉	转炉	电炉
燃料，标准燃料重量，吨/吨	0.739	0.843	0.204
电力，10 ⁹ 焦耳/吨	1.1	1.3	4.40
其中外购电力	0.248	0.293	1.000
能耗，吨/吨	0.821	0.943	0.544

由此可见，电炉钢耗能最少，比平炉钢少30%，比转炉钢少40%以上，这是因为电炉炉料中生铁比例小（小于8%）的缘故。

从能源的观点来看，电炉钢生产比例多大为宜，取决于废钢资源，处理废钢所需能耗比炼铁所需能耗低0.95~0.96。转炉钢的能耗之所以比平炉钢高，是因为炼转炉钢所用炼钢生铁（约0.9吨/吨）数量比炼平炉钢（0.6吨/吨）要大。生铁用量为0.77吨/吨时的转炉钢能耗与生铁用量为0.65吨/吨时的平炉钢的能耗相等。因此，根据相等的耗能量来考虑，若取代平炉钢，则转炉钢的生铁用量比炼平炉钢的生铁用量不得超过120公斤。全部多余的废钢最好送电炉重熔。

采用KY-BOП法炼出的转炉钢能耗比顶吹氧气转炉高4.5~5%，这是因为KY-BOП法的废钢用量较少（约5%），而生铁用量较大。双床平炉虽然熔炼过程本身的燃料单耗可降低0.8以上，但炼钢能耗比普通平炉钢高。这是因为双床平炉的生铁用量比普通平炉多150~180公斤，这样总的计算起来就多增加了能耗。

从综合能耗观点来看，必须根据已拟定的金属料资源，即废钢比例将增高，在逐步取消平炉时保证转炉钢和电炉钢产量的增长，同时应略为优先发展电炉钢生产。这应成为苏联黑色冶金部门发展的总方针。

计划在第十一个五年计划期间大幅度提高连铸钢产量，这对节能也有相当重要意义。目前一吨连铸坯的综合能耗为0.95吨标准燃料。而初轧坯的综合能耗为1.12吨。

这是因为，与连铸坯相比，初轧坯的用钢量多15~19%，而直接热耗量要高1倍。

炼钢能耗对黑色冶金工业能耗的降低有一定影响。如果根据生铁综合能耗来计算最终产品的能耗，尽管废钢资源增多，但炼钢能耗非但不会降低，甚至还会增高。为了降低能耗，主要是炼铁焦比，中央黑色冶金科学研究所制定的工艺方案规定：

1. 降低生产过程热需要量（原材料预处理，减小铸造生铁和高炉铁合金生产的比例）；高炉炉料中不加生熔剂；
2. 改善载热体的利用（提高炉顶压力，采用高炉热工自动控制系统和自动化配料系统）；

3. 用其他燃料和还原气取代部分焦炭（提高风温，采用天然气+富氧，采用高温还原气等）。

根据中央黑色冶金科学研究所的计算，可确定第十一个五年计划期间，通过上述措施的实施，燃料的节约幅度如下：

高炉炉料中含铁品位提高1%，可保证节约焦炭1.5%，到1985年炼铁焦比应能降低4公斤/吨。

与生产炼钢生铁相比，铸造生铁的焦比高10~30%，而高炉炼铁合金的焦比要高2~3倍。今后将停止生产铸造生铁，因为已确定普遍使用合成生铁，合成生铁将在感应炉中用废钢铁和炼钢生铁炼制。高炉已停止生产硅铁，1985~1990年应停炼高炉锰铁，用电炉锰铁代替。因此，到1985年焦比将比1980年降低3.8公斤/吨。

1980年往高炉里添加的石灰石为49公斤/吨铁，第十一个五年计划期间此数可望减少7公斤，从而可使焦比降低0.8公斤/吨。

在改善载能体的利用方面，提高炉顶压力占重要地位。根据中央黑色冶金科学研究所的数据，炉顶煤气剩余压力每提高0.01兆帕，焦比可降低0.3%。苏联现有高炉中有84%已采用高压炉顶操作，所产生铁占生铁总产量的96%。同时，剩余压力有可能从1980年的0.138兆帕提高到1985年的0.15兆帕。把这些数据计算在内，1985年的焦比将比1980年降低1.9公斤/吨。

近十年来炼铁生产的技术进步为大幅度提高风温创造了条件。1980年高炉平均风温为1071℃，在此温度水平上，风温每提高10℃，应使焦比平均降低0.2%。因此，拟定对高炉热风炉进行改造，以使某些高炉的风温达到1200~1400℃。计划在第十一个五年计划期间将高炉风温提高到1100℃，这样焦比可降低3.0公斤/吨。

1980年天然气的用量为96.5米³/吨铁，第十一个五年计划期间计划达到110米³/吨铁。在天然气用量每增加10米³/吨铁，并加适量富氧的条件下，焦比可降低1.6%。拟定在略为提高燃料消耗（最后多消耗4公斤标准燃料/吨）的情况下，使焦比降低12.7公斤/吨铁。

无论实现上述措施，还是一系列其他措施，总的来说1985年高炉生产焦比应为505公斤，锅炉房炉用燃耗应为692公斤标准燃料/吨铁。

提高高炉炉料中的球团矿比例以代替烧结矿可大大节约燃料。生产球团矿所需综合燃耗比生产烧结矿的综合燃耗少16公斤标准燃料/吨，球团矿的综合能耗也低（几乎少6公斤标准燃料/吨）。

目前许多国家正致力于在黑色冶金工业中运用推广直接还原铁。苏联奥斯科尔斯克电冶金公司即将投产，它将是世界最大的生产金属球团的企业。因此，确定直接还原铁——电炉炼钢工艺过程的产品能耗与高炉——氧气转炉炼钢的产品能耗的对比关系具有重要意义。根据中央黑色冶金科学研究所进行的计算确定，若不使用废钢，按第一种工艺过程生产，则综合能耗要比按第二种工艺过程生产所需综合能耗大约高10%。但是，若电炉炉料中废钢比为70%，则按第一种工艺过程炼出的电炉钢综合能耗，要比按第二种工艺过程生产的氧气转炉钢的综合能耗至少低20%。按第一方案生产，1吨钢可节约434公斤焦炭，不过同时将多消耗天然气（400米³以上）和电能（540兆焦/吨钢以上）。

最近十年内，由于技术进步的作用，在黑色冶金工业燃料动力平衡中焦炭及焦炭产品的比例会大幅度下降，天然气比例将上升，而动力煤和重油之类一次燃料的比例也将下

降。

因此，业已制定的黑色冶金工业发展方针对苏联钢铁工业的燃料动力平衡极为有利。运用推广主要节能措施，在第十一个五年计划期间仅靠改进工艺方案一项措施可望节约300万吨标准燃料。

〔杜华云 译〕

高炉炼铁工艺发展新方向

В. Г. 沃斯科博伊尼科夫 等

保证进一步提高高炉操作效率的工艺措施有：改进冶炼前原料准备、提高风口喷吹焦炭代用品的利用率、提高炉内风温与煤气压力、采用电子计算机监控高炉操作过程。利用热还原气体和工艺氧气代替大气鼓风是一项有发展前途的大幅度降低焦比的工艺。利用洗净二氧化碳的炉顶煤气作为还原气体还可以减少高炉炼铁的天然气的用量。文中分析了中央黑色冶金科学研究所的有关研究结果。

近十年高炉生产发展的特点是：高炉大型化、利用系数提高、焦比下降。这就使得高炉冶炼的技术经济指标主要是通过降低焦比以及采用不很稀缺的天然气或重油代替焦炭而有了进一步改善。

今后提高高炉操作效率的工艺措施仍将是：改进冶炼前原料准备方法、提高经风口喷入炉缸的各种焦炭代用品的利用率、提高炉内鼓风温度与煤气压力，采用包括电子计算机在内的现代化监测与控制装置、采用冶炼产品的合理加工清理方法。

利用现有的大量专门研究成果与经过统计处理的生产数据，在今天可以相当确切地评价改变各个工艺参数对高炉冶炼的主要指标——利用系数与焦比的影响程度^[1, 2]。

根据这类数据，曾提出一种确定已知冶炼条件下的焦比的计算方法^[2, 3]。将这一方法经过进一步完善（即考虑以下各项因素：重油用量、焦炭质量指数、炉料内金属添加剂用量等），便导出了计算整个冶金部门平均炼铁焦比的如下公式：

$$K_{\text{计}} = K_{\text{实}} + 0.01 K_{\text{实}} \{ -1.5 \Delta \text{Fe}_r - 0.2 \Delta (A + 0) - 0.06 \Delta M_g \\ + 20.0 \Delta S_{\text{焦}} + 1.2 \Delta A_{\text{焦}} - 1.0 \Delta M_{25} + 1.5 \Delta M_{10} - 0.1 \Delta P_{\text{钟}} - 0.022 \Delta t_{\text{风}} \\ + 12 \Delta [\text{Si}] + 3.5 \Delta [\text{Mn}] + 15 \Delta [\text{P}] - 200 \Delta [\text{S}] + 0.3 \Delta H - 0.8 \Delta \Pi - 1.2 \Delta M \},$$

式中 $K_{\text{计}}$ ——计算焦比，公斤/吨； $K_{\text{实}}$ ——实际焦比，公斤/吨； Fe_r ——入炉铁矿石含铁量，%； $A + 0$ ——烧结矿与球团入炉比，%； M_g ——金属添加剂用量，公斤/吨； $S_{\text{焦}}$ ——焦炭含硫量，%； $A_{\text{焦}}$ ——焦炭灰分，%； M_{25} ——焦炭质量指数 M_{25} （或 M_{40} ），%； M_{10} ——焦炭质量指数 M_{10} ，%； $P_{\text{钟}}$ ——料钟下部炉内煤气压力，兆帕； $t_{\text{风}}$ ——鼓风温度，℃； $[\text{Si}]$ 、 $[\text{Mn}]$ 、 $[\text{S}]$ 、 $[\text{P}]$ ——生铁中各元素含量，%； H ——生石灰入炉量，公斤/吨； Π ——粗天然气用量，米³/吨； M ——重油用量，公斤/吨。

1971至1976年期间苏联黑色冶金工业部各企业炼铁焦比（任意选定1975年指标为基准值）经过验算得出：计算误差（即 $K_{\text{计}}$ 与 $K_{\text{实}}$ 之差）未超过0.82%，平均误差为0.21%。

1971至1976年期间焦比下降 21 公斤/吨。同时，各项因素的分析表明：通过加大天然气与重油用量，焦比分别下降 8 和 7.2 公斤/吨；通过将风温提高 42℃，焦比下降 4.8 公斤/吨；通过减少焦炭含硫量和生铁含磷量，焦比又有某些降低。可是，由于降低生铁含硫量和增加生石灰入炉量，焦比稍有升高。

显然，高炉生产今后发展的道路将是：逐步实施降低焦比从而提高利用系数的各项措

施。中央黑色冶金科学研究院根据对原料资源状况的长期预测，考虑炼铁工艺技术状况及其可能发生的变化，进行了高炉生产规模及设备改造的计算，确定降低焦比的各项最主要措施的应用范围及其效果〔4〕。这些计算还表明：无论采取改善冶炼前原料准备的办法，还是采取扩大氧气以及各种补加燃料的使用范围并提高其利用率的办法，焦比均可达到相同程度的下降。在这种情况下，第一种办法虽然是最主要的，也是最有效的，但是所需投资要大得多。

目前，苏联采用综合鼓风，每年可节省焦炭 700 多万吨。进一步发展喷吹天然气的高炉冶炼工艺不仅需要新建制氧车间，还需要有天然气资源。而现在国民经济各个部门中天然气用户的数目实际上都在增加。在这种情况下，无论是在拥有天然气贮备的地方，还是在天然气稀缺的地方，最大效率地利用现有制氧设备能力都是一项特别具有现实意义的课题。前一种情况，要以鼓风中补加的氧气量与天然气量之比来决定。长时间来，这一比值取为 0.6 被认为是最佳值。而在后一种情况下，则应将这一比值增大到 0.7~0.8〔5〕。

中央黑色冶金科学研究院与列宁格勒工学院所做的计算以及切列波维茨冶金工厂的高炉冶炼实践证明：在鼓风含氧量为 34.6% 和天然气用量为 170 米³/吨生铁的条件下，高炉操作稳定，焦比为 379 公斤/吨铁水，利用系数为 0.362。补加的天然气量与氧气量二者之比为 1.16 米³/米³，这使理论燃烧温度由 2030℃ 降到 1950℃〔6〕。

很显然，将这些研究经验利用到其它冶金工厂的具体条件之下，便可以通过提高天然气与氧气的利用率来挖掘进一步节焦的潜力。

对于那些没有天然气或者秋冬季节供气不足的冶金工厂来说，提高喷入炉缸的重油的利用率，是很重要的。

对苏联国内外高炉冶炼喷吹重油的操作经验的分析研究以及中央黑色冶金科学研究院和卡拉干达冶金公司的理论与试验工作〔7〕表明：达到最大喷油量的条件主要地是重油燃烧的工艺技术水平，以保证重油气化为 CO 和 H₂ 的所需完全度。根据这一条件，为了寻求达到理论最大喷油量的最有效途径，做了以下几方面的工作：

研究燃烧前重油准备的有效可靠的方法（加水、乳化）及其工业性试验；

研究保证重油在高炉风口区燃烧时热分解过程进展最小的合理喷嘴结构及其试验台上试验与工业性试验；

研究客观评价高炉内重油燃烧完全度的方法。

设一滴重油含有均匀分布的 2~3 微米大小的细水珠，当这滴油落入温度达 1000~2500℃ 的风口区时，开始一段时间内仍保持液态（重油沸点比水高 1~2 倍），而后，油滴内水分转化为蒸汽，将油滴爆炸成细雾。这种现象叫做“微爆炸”，是早在 1956 年由苏联研究人员最先发现的〔8〕。但是，在 1969~1971 年期间才由西德奥古斯特·蒂森冶金公司开始将这一现象用于强化高炉内重油燃烧过程。

高炉生产的特点对重油乳化液制备机械提出了下列特殊要求：处理能力大、长时间连续运转可靠、检查维修工作量最小、油压与油温高、乳化液分散性与均质性好。制备水油乳化液及其它乳化液可以采用各种不同工作原理的均化器（分散器）：胶体磨、气穴发生器、声笛装置、超声波均化器等。

在苏联成批生产的乳状物均化用的 K5—ОГА—10 型均化器的基础上，研制出了第一台工业性试验用重油乳化器（苏联机械制造业不生产专供高炉冶炼用的乳化器）。这台试

验型乳化器经卡拉干达冶金公司试用效果良好〔9〕。

卡拉干达冶金公司从1972年起在全部高炉上普遍采用了喷吹重油工艺。西西伯利亚冶金工厂各高炉从1974年起也采用了这项工艺。卡拉干达公司有一座高炉首先在苏联高炉操作实践中达到了喷油量100公斤/吨生铁。该公司在苏联还首先实现了高炉喷吹水油乳化液持续冶炼操作。上述试验型乳化器的使用效果以及高炉冶炼操作指标证明：就工艺技术方面来看，提高液体燃料喷吹量的问题已基本解决。

中央黑色冶金科学研究所同卡拉干达冶金公司以及有关设计单位合作进一步研制出了定型的重油喷吹装置，还包括乳化液制备车间，采用50吨/小时重油的大型活塞泵。目前，该公司正在建造苏联第一套完全符合现代要求的这种重油乳化液喷吹装置。

中央黑色冶金科学研究所做的计算以及卡拉干达冶金公司和西西伯利亚冶金工厂的高炉冶炼结果表明：喷吹煤粉效果很好。试验期间各高炉共喷入煤粉13.54万吨，利用这些煤粉炼出生铁414.0万吨，喷煤量为40~100公斤/吨生铁。

由于采用天然气而使高炉喷吹煤粉冶炼工艺的推广毫无理由地停顿下来。但是，理论计算、技术经济分析以及生产经验都证明：煤粉、包括同天然气或重油共喷的煤粉，是效果良好而且有发展前途的焦炭代用品。

冷天然气或重油的使用受到限制的原因是：在往炉缸喷吹这种燃料时，产生碳氢化物的分解，其燃烧放出的热量不足以将分解产物加热到风口煤气的温度水平，因而风口区温度下降。为了避免这种现象，需要补充消耗热量或者采取其它措施来提高炉缸温度。可以达到这一目的的措施有：降低鼓风湿度、提高鼓风温度或富氧鼓风。

降低鼓风湿度可以通过减少水蒸汽分解的热耗来弥补由于喷吹天然气而消耗的热量。但是，鼓风湿度的降低受到大气湿度的限制，而且降低鼓风湿度的各种可能性目前几乎已经完全利用了。

将鼓风温度提高到1300~1400℃以上也是有困难的，因为这要加大热风炉的热容量，提高鼓风管道的强度，同时，耐火材料的强度也带来一些限制。

将天然气在喷入炉缸之前预热到500~600℃，可以部分地弥补由于喷吹这种燃料而消耗的热量。但是，这种方法仅仅补偿60~85千焦耳，这相当于将风温升高25~40℃的热量。

补偿效果最好的是提高鼓风含氧量。现在许多高炉的鼓风含氧量为25~27%，某些高炉达到33~35%。但是，在鼓风温度不变时，富氧鼓风会由于鼓风含氮带入的热量减少而降低风口处每燃烧1公斤碳的放热量，所以再继续增大碳氢化物用量效果也是不大的。此外，含氧量超过35~40%时，鼓风流的加热与输送在技术上还有一些重要的难题。

高炉喷吹还原气体可以进一步大幅度降低焦比和提高利用系数。这一方法的实质是：往炉内喷吹热还原气体和氧气代替大气鼓风，在这同时，高炉煤气含氮量显著减少。

在五十年代末，苏联研究人员在世界上最先进行了高炉采用喷吹热还原气体和氧气工艺的研究和计算。新图拉冶金工厂和亚速钢厂建造了用天然气裂化法制取热还原气体的工业性试验装置。

1964至1969年期间这两个厂进行了工业性试验，在世界高炉冶炼实践中最先证实了关于高炉完全改用喷吹热还原气体和氧气的可能性和良好效果的理论分析。就其意义来看，这项工艺是高炉炼铁过程发展的一个新的、更高的阶段。