

**中国金属学会
第五次全国会员代表大会
学术报告文集**

一九九一年十一月

编者按

为了进一步贯彻“科学技术是第一生产力”的指导方针和更好地完成冶金部戚元靖部长在今年冶金工作会议上提出的“以质量、品种、效益为中心，推进钢铁工业持续、稳定、协调发展”的战略任务，中国金属学会组织了有关领导和专家紧密结合我国钢铁工业的实际，对我国的冶金矿山、钢铁品种、质量、能源和用电子技术改造传统工业等领域科学技术的现状、发展趋势和存在问题进行了比较全面深入的论述，对今后工作也提出了相应的建议。所撰文章在中国金属学会第五次全国会员代表大会上作了专门报告并进行了讨论。现特装订成集，供有关领导、有关部门和有关科技工作者参考。

1991年11月

中国金属学会
第五次全国会员代表大会
学术报告

一九九一年十一月

积极采用高新技术加速 发展我国钢铁工业

陆 达

一、世界钢铁生产技术的现状和发展趋势

第二次世界大战结束以来，世界钢铁工业发生了巨大变化。在此以前的很长时间，从矿石到钢材的生产，是通过许多分隔的设备组合起来实现的（图1，上）。从50年代起，氧气炼钢、连续铸钢、连轧和二次冶金技术相继出现。60年代后，这些技术的发展和运用，不仅使钢铁产量猛增（从1951年的1.9亿吨，增加到1988年的7.83亿吨），而且产品质量提高，品种增多，成本和能耗下降。日本由于抓紧时机，重视和采用这些技术，在较短时期内，使其钢铁生产技术水平跃居世界前茅，最近15—20年，钢铁生产技术又得到大的改进和完善，特别是计算机控制技术的引用，使钢铁工业实现了现代化，其特点是高效化、连续化和自动化。有人认为现代钢铁工业正向着高技术产业的方向发展，并将其列为高技术的一分支。现代的钢铁生产流程（图1，中）比过去有所缩短，但基本上没有大的变化，炼铁仍由高炉冶炼，而且还有发展和提高，连铸坯仍需经过热轧和冷轧才能成产品。依然存在流程长、投资大、环境污染较严重等缺点，以及大型化带来的适应性差，不易满足使用部门品种多样化的要求。为此，从80年代起，国际钢铁界在继续进行现行工艺的完善和改进的同时，积极探索流程短、投资少、效率高、适应性强和环境污染小的新技术、新工艺。熔融还原和近形连铸就是当前钢铁工业前沿的带有革命性的两大新技术。这两大新技术中间加上二次冶金被认为

是下一世纪钢铁生产的新流程（见图1，下）。这一新流程的特点和优点，还可从图2和图3表示出来。图2是原来的生产流程，从矿石到产品要经过几个分隔的工序，几次加热和冷却。图3所示的新流程，一次加热就完成了全过程。

此外，从70年代起，一些发达国家为适应产业结构调整和发展高技术的需要，钢铁工业逐步转向为技术密集型产业服务，因而又十分重视新型冶金材料的研究和开发。钢铁生产新流程和新型冶金材料的发展都离不开自动化和信息技术（电子技术）为代表的高技术。因此，归结起来，国际上钢铁工业的发展趋势是：

1、在继续完善和改进现行工艺的同时，积极开发新的短流程生产工艺，使钢铁工业不断向高新技术产业方向发展；

2、在促使钢铁材料向性能高级化、质量稳定化、产品多样化和价格合理化方向发展的同时，积极开发新型冶金材料，使钢铁工业逐步转向为高新技术产业服务；

3、更紧密地依靠和采用以自动化和信息技术为代表的高技术，来改造现有企业和发展钢铁生产新流程。

近几年来，发达国家都投入大量资金和人力，致力于新生产流程、新型冶金材料和相应的电子技术的研究和开发，而且多由国家出面组织，大部分由政府部门投资，并展开了激烈的竞争。可以说，谁在这些方面领先或突破，谁就将在下个世纪主导钢铁舞台。美国正在花大力，想以此为突破口，试图重振钢铁雄风，以改变其落后于日本和西欧的局面。下面就几项主要的前沿技术扼要作一些介绍。

二、钢铁工业的几项前沿高新技术

（一）熔融还原

1、背景和发展过程

现行的高炉——转炉生产流程，在技术上已相当成熟，但流程长、投资大，特别是高炉炼铁需用焦炭，而世界上炼焦煤只占煤炭总储量的10%左右，炼焦又带来严重污染，加上一些国家的焦炉已到退役期。因此，很多国家在研究高炉少用焦炭的同时，开发流程短、投资小的“无焦冶金”——熔融还原法。日本称之为矿石直接熔化法（DIOS）。美国正在研究将其和炼钢相结合，称作直接炼钢。

60年代至今，熔融还原试验经历了三个发展阶段：60年代开始的第一代熔融还原试验，主要是把铁矿和煤加到回转窑或转炉中冶炼，但由于二次燃烧时产生大量 FeO ，使耐火材料受到严重浸蚀而告失败。70年代开始的第二代熔融还原试验以电供热，但又因为经济性和某些技术方面的问题而被迫停止。目前正在开发研究第三代熔融还原，其中包括奥钢联的COREX法，日本川崎的XR法，澳大利亚CR-A的HIsmeIt法，苏联的铁浴法以及美国的AISI直接炼钢法等。其中COREX工艺投入了工业生产。以下重点介绍COREX工艺。

2、COREX工艺

COREX工艺的设想是在70年代末期形成的。1981—1982年奥钢联的科夫公司在德国的Kehl进行了试验，之后建成了年产6万吨铁水的半工业试验装置（即KR法）。利用该装置进行了10次共计6000小时的半工业试验，到1983年，共试验了来自世界各地的18种煤和14种矿石、球团和烧结矿。开发费用达1.5亿马克。证明这种工艺可用到实际生产中去。1984年底，南非钢铁公司（ISCOR）引用了这项技术，于1987年9月在Pretoria废弃的高炉基础上建起了世界上第一座年产30万吨铁水COREX工艺装置。经试生产并解决了气化炉烧漏和还原气管道堵塞等故障后，在1989年底正式投产。经过近一年的运行，到1990年10月达到的各项指标见表1—3。

表 1 COREX设备的参数和生产数据

标称能力:	30万吨/年	
标称生产率:	40吨/小时	
	块矿	球团
还原生产率 (t铁/h)	45	53
单位熔化能力 (t铁/m ³ d)	3.0	3.4
耗煤量 (kg/t铁)	1020	950
固定碳耗量 (kg/t铁)	570	530
耗O ₂ 量 (铁Nm ³ /t铁)	540	500
渣量 (Kg/t铁)	450	300
输出煤气量 (Nm ³ /t铁)	1650	1550
煤气热值 (KJ/Nm)	7000	7000

表 2 已达到和可达到的铁水成分

铁水成分	已达到 (%)	可达到 (%)
C	4.3	4.3
Si	0.3	0.2
P	0.09	0.03
S	0.04	0.03
N ²	0.003	0.002
铁水温度 (°C)	1470	1470

表 3 输出煤气的成分和物性

CO	35~40 %
H ₂	15~20 %

CO_2	35%
CH_4	1%
$\text{N}_2, \text{H}_2\text{O}$	痕量
H_2S	10~70 ppm
热值	7000 KJ/Nm ³
粉尘	5mg/Nm ³

COREX法除投资少、污染小、适应性强等优点外，生产费用比焦炉——高炉法低30%，设备的操作和维修人员仅为焦炉——高炉的1/3，单位容积的产量比高炉高50%。

COREX法的工艺流程见图4。主要由气体预还原竖炉和熔融气化炉组成。上部还原达90%金属化率的预还原铁矿以及煤块和熔剂由螺旋给料器加入到熔融气化炉中，同时向气化炉中吹氧使预还原矿进一步熔化还原。产生的优质还原气，经降温除尘后，一部分作竖炉还原气（约850℃），另一部分作输出煤气。输出的煤气量约为1600 Nm³/thm，热值约为7000 KJ/Nm³，可用于发电等用途。

国际钢铁界认为南非COREX法的试生产成功是熔融还原技术的一次突破性进步。目前需要进一步解决熔池产生的大量优质煤气的利用问题，特别是用高挥发份煤生成的煤气量更大。美国正试图通过控制泡沫渣的方法来解决将二次燃烧的热量传输到熔池而又避免熔池再氧化的问题。如果这一问题能顺利解决，将会使熔融还原技术更为完善。

除南非外，目前世界上很多国家都根据本国的条件，投入大量人力、财力开发各具特点的熔融还原技术。美国投资3000万美元，制定了三年开发计划，拟建一试验厂生产半钢。日本由通产省组织八大钢铁公司共投资200亿日元（约1.35亿美元）计划到1994年完成500吨铁

／日规模的工业试验；澳大利亚CRA公司和美国Midrex公司合作，计划投资1.2亿美元建设日产500吨铁的工业试验厂。预计从90年代末期到下世纪初，熔融还原流程将陆续实现工业化。近年来，高炉在少用焦炭方面的技术也不断取得进步，在相当长时期，炼铁仍以高炉为主的同时，熔融还原在下一个世纪将成为重要的炼铁工艺。

熔融还原技术，从某些条件来说，更适合我国国情。在国内60年代就进行了一些探索试验。最近10年，有十多个单位进行了几种方案的小型试验，了解了几个流程的关键所在，同时培养锻炼了人才，跟踪了国际新工艺。然而由于资金不足，力量分散，缺少统一规划等因素，尚未进入相当规模的半工业试验。

（二）近形连铸

连铸技术的开发和应用是钢铁工业生产技术的一次重大进步，给企业带来显著的经济效益。1990年全世界的连铸比平均已达75%，日本已达94.8%（其中普通钢达98.1%）。目前各国在继续改进连铸技术的同时，正积极开发更先进的接近终产品形状的连铸技术（简称近形连铸）。它不仅省去了开坯工序，还省去了热轧的粗轧机组，甚至完全免除整个热轧工序，使设备投资和能源消耗大大下降，还因凝固速度加快，改善了组织，提高了产品质量。这项高新技术的试验成功和实际应用，将会对整个钢铁工业的发展带来深刻的革命性影响。

近形连铸始于80年代。它包括：薄板坯连铸（厚度约40—100mm）、带钢坯连铸（厚度约15—20mm）、薄带钢连铸（厚度约1—3mm）以及一些特殊的近形连铸方法，如喷射沉积连铸。其中有的研究工作已迈出试验室，跨入中试阶段，有的已开始走向工业性生产。

1. 薄板坯连铸

根据铸机结晶器类型不同,目前薄板坯连铸有固定式振动结晶器和移动式结晶器两种。固定式振动结晶器型连铸机是由常规连铸机演变而来,只是对结晶器、浸入式水口、二冷区及拉坯系统作了改进,以适应浇铸较薄铸坯的需要。在结晶器中凝固成的坯料(厚40—80 mm)拉出结晶器后如经进一步压轧变形,厚度可减至15 mm。这类铸机的典型代表有德国施罗曼、西马克公司(SMS)开发的紧凑式带钢生产技术(CSP)如图5所示,特点是采用漏斗型结晶器,配有一座均热炉和4机架或5机架精轧机组。美国纽克(Nucor)钢铁公司是世界上采用CSP技术并实现薄板坯连铸工业应用的第一个厂家。1989年6月投产,年产量为80万吨。它的投产(图6),引起世界钢铁界的关注,共耗资2.65亿美元。该公司准备建设第二台年产100万吨的铸机。台湾怡隆集团和美国纽克公司合作,也采用CSP装备,设计能力为年产热轧带钢150—200万吨,计划在1993年投产。

从这类铸机中试和工业试验后进行的经济分析和冶金技术评估来看,薄板坯连铸机同连轧机组组合,具有显著的优越性,可以大大简化生产工序(图7)。如以年产80万吨的薄板坯连铸厂与生产6.3 mm厚热轧薄板的年产200万吨厚板坯连铸厂相比,吨钢投资费用低19—34%,吨钢生产成本降低80—100美元,钢收得率从93%提高到96% 电耗从110KWh/t下降到40KWh/t,燃料消耗从1.1MMBtu/t降到0.1MMBtu/t。目前还存在表面质量等问题,有待继续改进。它的完全成功看来为期不远。

试验移动式结晶器连铸机的目的是希望增加拉坯速度,提高铸机产量,与通常的振动结晶器相比,拉坯速度可提高2倍或3倍,甚至更高。克虏伯工业技术公司试验的哈兹莱特铸机和英钢联试验的水平连铸机属于这一类型。

2. 带钢和薄带钢连铸

带钢和薄带钢连铸是近形连铸技术中很具竞争力的一项技术，因为它能从钢水直接以高的速度铸出冷轧用带坯，而且要求内部及表面具有热轧带材同样的质量。因此，这项技术难度更大。欧、美及日本投入了大量财力和人力进行这方面的研究工作。

带钢近形连铸主要有双辊法、单辊法及辊——带法，其中以双辊法和单辊法研究得较多。图8示出由蒂森钢公司开发的近形连铸技术。法国钢铁研究院从1986年开始试验双辊连铸技术，据报道已经成功，计划扩大试验规模，拟在法国的于吉纳厂建一座能连铸各类钢种，厚度为1—6mm的示范工厂。图9是克虏伯钢公司用双辊铸机浇铸不锈钢带示范工厂设备布置图。图10、11是双辊组装及浇铸原理图。双辊连铸机的技术参数：浇铸辊直径950mm、600mm、灌铸速度5—60m/min带厚4.5—1.5mm、带宽700—1050mm、卷重最大4.5t，卷内径610mm，卷外径最大1250mm，钢包容量10t。

3. 喷射沉积

喷射沉积是一个预成型过程，能生产多种几何尺寸接近成品形状的产品，例如扁材、小型材、圆盘、管子和复合材料。它主要用来生产特殊形状和性能的、供高新技术工业用的新型冶金材料。这一技术的工艺特点是精炼的钢液经雾化，形成金属小液滴，在母板或基材上快速凝固成型。这项技术从开发直到应用，主要是在英国奥斯普雷金属有限公司进行的。图12是喷射沉积铸造不同产品的示意图。目前英、德、瑞典和日本等国都拥有实验或中试设备。日本住友重工现已出售用喷射沉积法生产的轧辊，瑞典桑德维克公司试用实验设备生产不锈钢管。

发展连铸技术是我国钢铁工业的一项重要技术政策。近年来连铸比增长较快，到1990年已达22.6%，但和先进国家相比差距还很大。

在相当时间内发展连铸仍是我国钢铁工业技术改造的重要内容。与此同时，我国也开发了近形连铸的研究和开发工作。钢铁研究总院、兰州钢厂、自动化研究院等承担的国家攻关项目，建在兰钢的我国第一台薄板坯连铸试验机组已试验成功，整炉浇铸出70mm厚、900mm宽、长21m的20 MnSi钢。已连续浇铸12炉钢水，拉坯成功率达100%。近期将浇铸50mm厚的薄板坯。上海钢研所和东北工学院研制成功了双辊式薄带坯连铸机拉出了合格的不锈钢带和高速钢带。焊丝水平连铸也已通过鉴定，有关研究工作仍在继续进行。这些成功，说明我国的冶金科技工作者能够依靠自己的力量来发展高新技术。

（三）新材料

新材料既是高技术的组成部分，又是支撑其它高技术的物质基础。为适应产业结构的调整和高技术的迅速发展，各国都以巨额投资发展新材料。冶金材料尽管受到高分子材料、陶瓷材料等的挑战，但由于其强度高、韧性好、成本低等优点，其他材料还不可能完全替代它，就是与它竞争的材料，也还要依赖于冶金材料性能的提高和新品种的开发。因此在相当长的时期内，在新材料中冶金材料仍将占主导地位。据最近法国经济预测和情报局对新材料的估测，新材料市场中新钢材仍占约40%。

随着我国产业结构的变化和产品的升级换代，要求提供性能高级、质量稳定、产品多样和高附加价值的新钢材。这类材料一般具有高纯度、高均匀性、高精度、超细晶粒和高强韧的特点。例如，汽车工业要求开发无间隙元素、超低碳（0.002—0.003%C）钢，即IF钢；彩电用的阴罩材料要求在0.10—0.15mm的超薄钢带上冲压后蚀刻300000个微孔。它们必须通过二次冶金技术（图13）才能生产出来。

高新技术产业的发展，还要求提供各种新型的冶金结构材料和功能材料。这些材料非传统的工艺所能生产。必须采用现代粉末冶金、

表面改性、快速凝固、喷注成形等高、新技术才能生产出来。

面临这种形势，一些国家的钢铁企业已将注意力和兴趣转向新型冶金结构材料和功能材料，逐渐打破生产单一钢铁结构材料的格局，以适应电子、宇航、生物医学等高科技产业的发展。因此，从表面看，发达国家的钢产量近年并未增长，实际上生产的产品更高级和多样化了。据1985年的调查，日本新日铁的研究和开发经费为190亿日元，其中1/3用于新材料，面目前大约已占一半。当前国际上重点开发的有应用前景的新型冶金材料有：非晶材料，永磁材料，金属间化合物，贮氢材料，形状记忆合金，倾斜功能材料，金属基复合材料，碳纤维及其复合材料，生物医学材料，阻尼材料，隐身材料等。

我国从60年代以来为国民经济和国防军工研究提供了大量冶金新材料，特别是国防尖端技术用冶金材料完全立足于国内，成绩卓著。冶金部今后如何发展新材料，这是个涉及很广的大课题。1986年我国已制定了包括新材料在内的高科技发展规划（即863计划）。对此不拟展开论述，仅说明发展冶金新材料的重要性，并强调必须依靠和采用高新技术来发展冶金新材料，而冶金新材料又主要为发展高新技术服务。

（四）自动化和信息技术

多种高新技术的结合和渗透，是当代高新技术发展的重要趋势。以电子学为基础的自动化和信息技术与钢铁工业新工艺技术相结合是改造和发展钢铁工业的强大动力和重要途径。现代钢铁工业的特点是高效化、连续化和自动化。必须配备过程计算机自动控制系统，才能使近代炼钢工艺和相应的二次冶金技术做到物料控制和成分微调；连铸机才能保证板坯的质量；轧钢工序才能实现高精度轧制。近来还借助计算机技术进行设备设计，孔型辅助设计，新材料成分设计，以及模拟仿真技术，以探索 and 解决生产过程中出现的各种复杂问题。

正在研究和开发的短流程工艺，如薄板坯或薄带坯连铸——直接轧制等新技术，更必须采用在线检测、过程控制和在线生产计算机管理系统，以实现生产全过程进行实时（real time）调节和控制。例如，美国纽克公司的薄板坯连铸、连轧工艺就采用了SCADA（supervision（或schedule）control and data acquisition）控制系统，其中板形控制技术，特别是轧辊连续凸度控制（CVC）技术（图14）是高技术轧制（high-tech rolling）的核心（图15）。它是应用工作辊横移，调节工作辊凸度，以补偿和减少工作辊的磨损，达到主冷、热带钢连轧机上有效地控制带钢的板型和尺寸精度。

我国钢铁工业在自动化与信息技术的应用方面，与工业发达国家的差距很大。仅以计算机集成控制与管理系统（CIMS）为例，日本各大钢厂从70年代初开发，到70年代末都已形成，成为世界市场竞争的重要手段。我国目前只有宝钢才有条件进行开发CIMS系统。如马上开展这项工作，也得到几年之后才能形成。可以说，在各项差距中，这一领域的差距更大。它很大程度上制约着钢铁工业新工艺和新技术的开发与应用，影响到钢铁工业的改造和发展。

三、把握时机，研究和开发高新技术，加快发展我国钢铁工业

我国原来的基础十分薄弱，新中国成立前的50年间，累计只生产了769万吨钢（还包括日本占领时的产量），比美国1898年一年的产量（907万吨）还少147万吨。经过40年的努力，到1989年我国钢产量已突破6000万吨，跃居世界第4位；已有了一批现代化的装备和工厂；定型的武器装备和国防尖端技术用的冶金材料做到立足于国内。然而，从总体上讲，我国钢铁工业的装备和工艺技术与发达国家相比还有相当大的差距；钢铁工业的现代化任务还很艰巨。这就决定了当前

我国钢铁工业发展的重点，仍然是采用国外成熟的先进技术对企业进行技术改造，尽快实现现代化，主要为经济建设的主战场服务。还应当着眼于更长远的目标，要考虑到下一个世纪钢铁工业的发展，不能等待现在的钢铁工业实现现代化后，再来开发更新的生产技术；对一些前沿技术也不能等人家研究成熟了，再去引进。这样，我们将永远落后，差距会越拉越大。像中国这样一个大国，必须坚持自力更生，依靠科学技术进步。从国外引进技术是提高工业技术水平的一条重要途径，但是其根本目的是增强自力更生的能力。必须重视对引进技术的消化、吸收和创新。更要重视自己对高新技术的研究和开发。因此，无论现在和长远，都必须依靠科学技术进步自力更生地发展我国的钢铁工业。

国际上80年代兴起的熔融还原和近形连铸，这一下个世纪的钢铁生产新流程，尽管在一定时期内还不能取代现行的高炉——氧气炼钢——连铸流程，但国际钢铁界有人认为，这两项新技术对钢铁工业的变革和影响将不亚于50—60年代出现的氧气炼钢和连铸技术。这对我们即是新的挑战，又是机遇。把握时机，从现在起就重视这些新技术的研究和开发，这将是加快发展我国钢铁工业，缩小和国外差距的一条重要途径。根据我国钢铁工业发展的现状以及资金严重短缺的情况，更要善于利用后发优势，力求超越某些可以超越的阶段，用最小的代价去取得最大的成果。

我国非炼焦煤丰富，气煤多，分布广。电力紧张，石油资源不很充裕，铁矿品位低，矿种复杂，分布分散；中、小钢铁厂多，工艺装备陈旧，急等改造。这些更适宜于开发和采用新流程。此外，冶金部在60年代很困难的条件下，完全依靠自己的力量解决了“两弹一机”用的尖端材料，现在的条件好多了，已有实力强的科研机构和素质较高的科技队伍，完全有能力在自力更生的基础上发展这些新技术、新

流程。

根据以上情况，提出如下建议：

1、把采用高新技术作为发展我国钢铁工业的一项重要技术政策，将开发熔融还原和近形连铸工艺列为战略性课题；

2、组织专家进行调研、论证，结合我国实际，制定出切实可行的近期计划和中长期发展规划；

3、争取国家拨专款，压缩外延性的投资项目，集中和落实必要的资金；

4、冶金部组成专门领导机构，组织有关单位，大力协同，联合攻关。克服目前这种在资金很少的情况下，财力、人力分散的局面。

当前我国正处在社会主义建设非常关键的时期，国际上高新技术发展的浪潮以锐不可当的趋势冲击着当今社会的各个方面，对所有的国家都是一场严峻的挑战。科学技术是生产力，而且是第一生产力，中央把采用高新技术来改造传统工业作为发展国民经济的一项基本政策。我国钢铁工业必须适应这个形势和要求，积极采用和研究开发高新技术，抓住机遇，迎头赶上。

中国金属学会，在座的许多冶金专家，曾经为发展我国的钢铁工业作出了重要的贡献。面对新的形势，我们应当具有高度的历史责任感和时代的紧迫感，为继续发展我国的钢铁工业出谋划策，贡献力量。

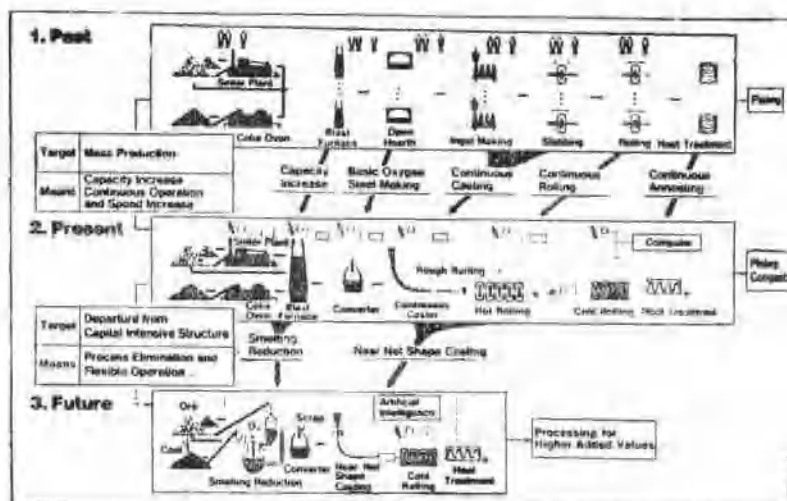


图1 钢铁生产技术的进步

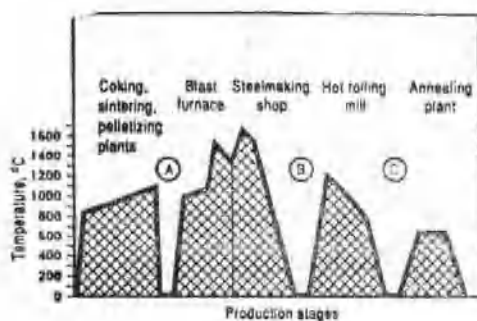


图2 旧生产流程工序和温度的变化

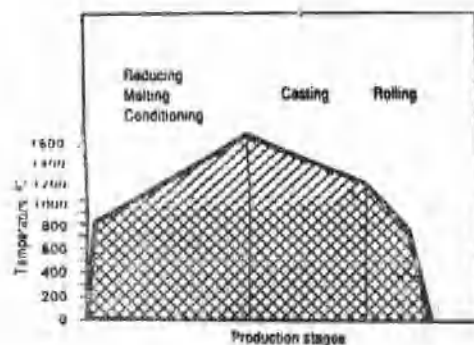


图3 新生产流程工序和温度的变化

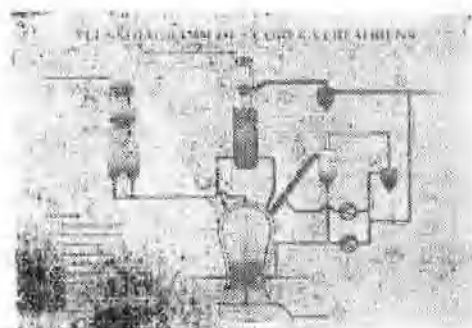


图4 COREX工艺

- 1—熔融气化炉 2—予还原竖炉
- 3—加煤料斗 4—热除尘器
- 5—气体冷却装置 6—炉顶煤气冷却装置

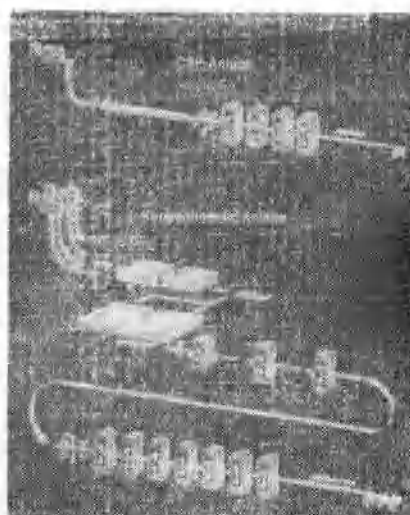


图5 紧凑薄带生产机组和常规机组对比