

炭石墨制品及其应用

TANSHIMO ZHIPIN JIQI YINGYONG

主 编 蒋文忠

副主编 宫 振 赵敬利

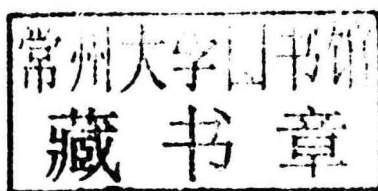


冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

炭石墨制品及其应用

主 编 蒋文忠

副主编 宫 振 赵敬利



北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2017

内 容 提 要

由于炭石墨制品具有很多优良的性能,在工业和民用领域都得到了广泛的应用。本书是在参考了大量国内外文献并总结了作者 40 多年教学、科研及生产经验的基础上写成的。本书系统地介绍了炭石墨制品在半导体、核反应堆、军工、冶炼、机械工业等领域的应用,力求理论与生产实践相结合,以适应不同知识和技术水平的读者需要。

本书可供生产和使用炭石墨制品的企业技术人员、科研人员参考,也可作为高校冶金、机械、电机、化工、建筑等专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

炭石墨制品及其应用/蒋文忠主编. —北京:冶金工业出版社, 2017. 3

ISBN 978-7-5024-7258-0

I. ①炭… II. ①蒋… III. ①石墨—人工合成 IV. ①TQ165

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017) 第 029439 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjchs@cnmp.com.cn

责任编辑 于昕蕾 夏小雪 美术编辑 彭子赫 版式设计 彭子赫

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7258-0

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2017 年 3 月第 1 版, 2017 年 3 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 45 印张; 1092 千字; 707 页

208.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

编辑委员会

主 编 蒋文忠

副主编 宫 振 赵敬利

编写人员 (排名不分先后)

陆洪森 李长安 谭芝运 于益如 吴玉蓉

许龙山 陈石林 何月德 陈 惠 杨 丽

蒋 颖 唐 军

前 言

炭素工艺曾被称为“黑色工业”，原因一是其生产工艺极其保密，二是炭素产品是黑色的，三是生产环境黑脏。而以前的炭素产品仅用于工业，所以非行业内的人多数不知，故需要专业人士大力推广。现在已有许多民用炭素产品，炭素产品揭去了曾经神秘的面纱，逐步为人们所认识，像碳纤维羽毛球拍、网球拍、钓鱼杆、活性炭冰箱除臭剂等，已走进平常人家。但是，有关炭素的著作相对较少，本书是专门讲述各种炭石墨制品及其应用的著作。

由于炭石墨制品具有许多优良的性能，在工业及民用都已得到日益广泛的应用，而且同种制品可能在几个不同行业都用到，因而在本书中讲述炭素产品应用的地方均有讲述，如碳纤维复合材料制品，不但在宇航、军工工业有应用，而且在电子、机械、冶金工业都有应用，甚至在体育器材、日常生活用品都有应用；又如石墨密封环、石墨轴承，在军工、机械、化工等多个行业中都有应用。这就必然会造成内容的重叠现象，当然，在讲述时，侧重点或角度有所不同。为了在应用炭素产品时，能充分发挥制品的特性，以及使用者能较好地选择炭石墨制品的材质和制品的种类，因而本书对制品的生产工艺、材料的结构与性能做了较详细的讲述。

炭石墨制品的种类繁多、用途广泛，因此，对制品的分类要做到严密性、准确性相当困难。此外，限于书的篇幅，难以全部述及。

本书主要给生产和使用炭石墨制品的有关人员阅读，希望能为开发炭石墨新产品、新用途者提供研究思路与启发，同时也可作为大专院校有关专业的教材或供师生参考。

本书由湖南大学炭素教室教师及炭素厂技术人员共同撰写，其中各章编写人员为：吴玉蓉（第2章、第15章），许龙山（第4章、第14章），陈石林（第5章），赵敬利与陆洪森（合编第6章），宫振（第7章），李长安、谭芝运、于益如（合编第8章），何月德（第9章），杨丽（第11章），陈惠（第16章），蒋颖（第18章、第20章及全书文献翻译和绘图），唐军（第19章），

蒋文忠（其余各章及全书统筹）。

本书编著过程中得到山东济宁晨阳碳素集团有限公司、济南澳海炭素有限公司和湖南大学材料学院刘洪波教授的大力支持，在此诚表衷心的感谢！

本书参编者较多，各人写作风格存在差异，统编者尽量使之能在思路与风格上较为一致与流畅。况且，本书内容涉及面广，涉及众多学科，因此，要求编著者知识面要广，掌握资料要多，这也是对编著者的考验。由于水平有限，书中难免存在欠妥、欠准确之处，诚望读者批评指正。

作 者
2016 年 4 月

目 录

绪论	1
1 炭石墨制品机械加工基础	4
1.1 炭石墨制品机械加工概述	4
1.2 车床及其应用	7
1.3 铣床及其应用	10
1.4 其他机床简介	15
1.5 炭石墨制品的切削原理	19
1.6 加工用量和切削机床的选择	22
1.7 切削刀具	28
1.8 刀具结构与几何参数	35
1.9 炭石墨制品加工的量具及测量	38
1.10 炭石墨制品机械加工通风设备的操作与维护	40
2 半导体、电子器件及电信工程用炭石墨制品	44
2.1 半导体工业用炭石墨制品的使用与选择	44
2.2 单晶硅与多晶硅生成用炭石墨制品	49
2.3 水银整流器和大型电子管用炭石墨制品	53
2.4 电子管石墨阳极	56
2.5 电子器件用石墨制品	58
2.6 电子仪器方面应用的炭石墨制品	61
2.7 电子器件制造装置用石墨制品	65
2.8 炭石墨电阻器	69
2.9 电信工程用炭石墨制品	73
2.10 其他用途炭石墨制品	80
3 核反应堆用石墨制品	82
3.1 概述	82
3.2 原子能反应堆及其应用材料的类型	85
3.3 核反应堆用石墨的制造	89
3.4 核石墨的理化与力学性能	97
3.5 核石墨的辐照损伤与退火	107

3.6	原子反应堆用石墨制品的应用机理	118
3.7	热核反应炉用石墨制品	128
3.8	高温气冷堆用石墨制品的特性	130
3.9	核燃料用炭和石墨制品	136
3.10	特殊炭材料与制品	143
4	宇航与军工用炭石墨制品	148
4.1	宇航用 C/C 复合材料	148
4.2	耐氧化 C/C 材料的制法及特性	151
4.3	火箭用石墨制品的性能	157
4.4	火箭发动机用炭石墨制品	160
4.5	其他航天航空用炭石墨制品	163
5	炼钢炉与其他冶炼炉用炭石墨电极	166
5.1	电炉电极的分类与工作原理	166
5.2	石墨化电极在炼钢中的应用	173
5.3	炼钢炉与其他矿热炉用炭石墨制品的分类与使用	178
5.4	人造石墨化电极生产工艺	183
5.5	炭石墨电极的性能	191
5.6	非炼钢矿热炉用炭电极	197
5.7	连续铸造及加压铸造用石墨制品	200
5.8	炼钢增碳剂及其他炭石墨制品	204
6	炼铁及其他冶炼炉用炭石墨制品	207
6.1	炼铁用焦炭	207
6.2	炭素耐火材料的生产方法	211
6.3	炭素耐火材料的一般特性	216
6.4	高炉炭块	222
6.5	其他冶炼炉用炭块	233
6.6	铝、镁炭砖与碳化硅砖	238
6.7	炭糊及其他用途炭石墨制品	241
7	铝冶炼用炭石墨制品	246
7.1	概述	246
7.2	电解铝用炭阳极（预焙阳极）	249
7.3	炭阳极的规格及性能	258
7.4	电解铝用炭石墨阴极炭块	262
7.5	铝电解槽用炭块	269
7.6	其他炼铝用炭石墨制品	273

8 炭石墨坩埚及稀土金属冶炼用炭石墨制品	275
8.1 有色金属铸造用人造石墨模具	275
8.2 人造石墨坩埚和石墨舟	279
8.3 黏土石墨坩埚	282
8.4 黏土石墨坩埚的生产工艺	288
8.5 特殊石墨坩埚与皿舟	295
8.6 镁、钠、锡、铅等金属冶炼用炭石墨制品	297
8.7 稀土金属冶炼用炭石墨制品	300
9 硬质合金等冶炼炉用炭石墨制品	308
9.1 炭石墨发热体	308
9.2 硬质合金等冶炼炉炭石墨结构件与舟皿	312
9.3 炭石墨隔热材料与制品	315
9.4 石墨模具	319
9.5 工业炉用其他炭石墨制品	321
9.6 玻璃工业用炭石墨制品	325
10 机械工业用炭石墨制品	331
10.1 机械用炭的种类与特性	331
10.2 机械工业用炭石墨制品的性能	336
10.3 机械用炭石墨制品的设计及应用	347
10.4 炭石墨轴承	351
10.5 炭石墨活塞环的工作机理	359
10.6 炭石墨活塞环的使用性能	361
10.7 炭石墨密封环的类型与结构	366
10.8 密封环使用的实例	379
10.9 汽车、船舶、车辆、空压机等机器用炭石墨制品	384
11 电加工及其他炭石墨制品	393
11.1 电火花加工用石墨电极	393
11.2 电火花加工用石墨电极的性能	400
11.3 电解及其他加工用石墨电极	408
11.4 石墨防爆板与摩擦片及石墨润滑剂	414
11.5 焊接与气刨用炭棒及其他机械炭石墨制品	419
12 电气工程用炭石墨制品	424
12.1 炭电阻器的种类和特征	424
12.2 电阻体的制造方法和电特性	431

12.3	炭石墨电阻材料	445
12.4	调节器用炭柱	453
12.5	电机车用炭石墨滑板	454
12.6	炭滑块和滑轮	461
12.7	电真空仪器用石墨阳极和栅极	466
12.8	电接触点用炭石墨制品	468
12.9	其他电气用炭石墨制品	473
13	电刷及其他电工用炭石墨制品	475
13.1	电刷的种类与标准	475
13.2	电刷的结构	478
13.3	电刷的特性与制法	484
13.4	电机用电刷的选择	490
13.5	小型电机用炭电刷	498
13.6	电刷的使用性能	506
13.7	直流电机的换向	517
13.8	其他电工用炭素制品	521
14	弧光照明与 LED 等用炭石墨制品	525
14.1	弧光照明炭棒概述	525
14.2	弧光照明炭棒	525
14.3	弧光照明炭棒工作原理与应用	529
14.4	炭弧气刨用炭棒	534
14.5	分光分析用炭棒与原子吸收分析用石墨管	539
14.6	其他用途炭棒	541
14.7	光伏与 LED 用炭石墨制品	545
15	测量和计量用炭石墨制品	553
15.1	碳原子用作测量和计量	553
15.2	炭温度计与微电极	553
15.3	光谱分析用炭素电极	555
15.4	气相色谱、液相色谱用吸附柱的填充剂	558
15.5	辐射用炭石墨制品	561
15.6	大型仪器中的炭石墨附件	564
15.7	金刚石在仪器中的应用	565
15.8	分析用坩埚及其他	566
16	电化学用炭石墨制品	569
16.1	一次电池用炭石墨制品	569

16.2	二次电池(可充电电池)用炭石墨制品	576
16.3	燃料电池石墨双极板	585
16.4	双电层电容器炭石墨电极	588
16.5	水溶液电解用炭石墨电极	591
16.6	石墨化阳极	593
17	化工用石墨制品	600
17.1	化工用炭和石墨制品的种类和制法	600
17.2	不透性石墨材料与制品	604
17.3	石墨胶合剂	614
17.4	浮头列管式不透性石墨热交换器	618
17.5	块孔式不透性石墨热交换器	624
17.6	板室式不透性石墨热交换器	630
17.7	其他换热器	632
17.8	不透性石墨合成炉	633
17.9	不透性石墨降膜式吸收器	635
17.10	“三合一”石墨合成炉	636
17.11	列管式石墨硫酸稀释器及控制反应设备	638
17.12	流体输送系统中的不透性石墨制品	639
17.13	氯碱工业用石墨阳极	646
17.14	电渗析用石墨电极	650
17.15	其他化工用炭石墨制品	654
18	医疗、文化、生活与体育方面的炭石墨制品	656
18.1	医疗用炭石墨制品	656
18.2	人体器官用炭石墨制品	659
18.3	体育器材用炭石墨制品	664
18.4	日常生活中的炭素制品	666
18.5	文化用品用炭石墨制品	669
19	建筑工程用炭素制品	673
19.1	CFRC 幕墙	673
19.2	电波吸收炭石墨制品	679
19.3	结构件增强用炭素材料	683
19.4	修补文化遗产用碳纤维	687
20	环境保护用炭石墨制品	689
20.1	大气环境保护用炭石墨制品	689
20.2	垃圾焚烧炉用活性炭与炭砖	693

20.3 水质环境用炭石墨制品	695
20.4 炭对细菌的作用	696
20.5 电防腐炭石墨制品	698
20.6 活性炭对土壤的改良	701
参考文献	704

绪 论

一、炭素的发展概况

人类对炭的利用是与人类的进化发展同步的,远古时代人类发现和利用火就开始使用炭(木炭)了。在我国,《前汉地理志》就有记载“豫章郡出石可燃为薪”,称为石炭(即煤);史记《四九嫔太后传》中有记述挖煤,说明当时就已利用煤作为燃料了,木炭与煤在陶器、铜器时代就已广泛应用了。作为炭素制品,明代宋应星著的《天工开物》(1637年)已记载用炭(石墨)与黏土制作坩埚,这就是初级炭素制品。

有资料将炭的应用划分为如下几个阶段:木炭时代(~1712年)、煤炭时代(1713~1866年)、炭素制品的摇篮时代(1867~1895年)、炭素制品的工业化时代(1896~1945年)、炭素制品的发展时代(1946~1985年)、新型炭时代(1986~)。这种划分基本上概括了炭素的发展进程,但在时间上不一定确切,如煤的应用,我国在1713年之前很久就应用了,并已制作出炭(石墨)黏土坩埚。

公元1713年,A. Derby发明了用煤生产焦炭,开始利用冶金焦炼铁,炭作为工业化生产与应用才真正开始。

1800年,英国科学家戴维(H. Davy)用木炭片作为弧光电极,接着将木炭压碎与煤焦油混合、成型、再经焙烧而成为最初的炭电极。

1842年,R. Bunsen采用木炭与甗炭经煅烧后粉碎、筛分、按比例将炭骨料粉末与黏结剂混合,再利用模具压制成型,然后将压制坯用焦粉覆盖好隔绝空气,缓慢加热焙烧,焙烧后通过机械加工而制成炭电极,这就是现代炭素制品的雏形。现在的常规炭素制品的生产工艺中基本上保留了这种生产方法。此后,致密的电极、炼铁高炉用天然石墨内衬炭板等相继开发出来。1867年,W. Siemens发明了电动机,标志着电气时代的到来,也使炭素制品被广泛开发,如弧光炭电极、炼钢电极、电解食盐炭阳极、电机用电刷等初级炭素制品。

1886年,P. Heroult和C. Hall发明了电解铝,生产中使用了阳极糊和炭阳极,此后,在黄磷、硅铁、碳化钙(电石)生产中都使用了炭阳极。

1896年,艾其逊(E. G. Acheson)研制出人造石墨电极,使炭素制品从炭质转变为石墨质,炭素制品进入工业化时代。此后,受电弓炭滑板、电解用石墨板、石墨电刷、不透性石墨相继制成。特别是1942年费米(E. Fermi)制成了原子能反应堆用的高纯核石墨。

20世纪40年代以后,随着工业的大发展,新技术、新工艺的不断涌现,使炭素制品的生产规模不断扩大,新用途不断出现,因而促使开发出许多炭素新材料、新产品。新炭材料如碳纤维及其复合材料,核石墨、热解石墨、玻璃炭、不透性石墨、多孔炭等。新产品如冶金机械用石墨模具、炼铁、高炉及其他冶炼炉用炭砖、石墨热交换器、石墨轴承与密封环、高温炉发热体与舟皿、VHP电极、燃料电池双极板、电火花加工电极、火箭石墨鼻锥与喉衬等。特别是Mesophase Carbon小球体、富勒烯(Fullerren) C_{60} (1985年)及碳纳米管(1991年)、石墨烯(2004年)等的发现,使炭素材料进入新型炭时代。

我国的炭素工业起步较晚,自20世纪50年代中期才逐步形成炭素工业,但是自20世纪80年代以来,炭素工业发展迅速。现在我国炭素材料与制品的总产量已是世界第一位,成为世界上的炭素大国,但是在高档材料与产品上距离炭素先进国家还有一定的距离,特别是碳纤维及其复合材料在品种上、性能上及价格(偏高)上,使应用受到制约,希望能尽快成为世界炭素强国。

二、炭素材料与炭素制品的异同

炭素产品是炭质和石墨质产品的总称,对于炭素产品而言,何谓炭素“材料”或炭素“制品”,目前没有严格的定义。笼统地说,并没有什么大的区别,如预焙阳极,可以称之为阳极材料,也可称之为阳极制品。但是,细究起来,还是有不同之处的。称炭素“材料”,主要是讲产品的材质与组织结构的种类。一般是指生产出来的毛坯炭素产品,还不能直接应用,还需要机械加工的炭素产品。称炭素“制品”,一般是针对毛坯经过机械加工以后,能直接使用的具有准确尺寸、光洁度、公差的炭素终端产品。如等静压生产的毛坯产品,可称为等静压材料;如用它来加工成单晶硅炉的发热器、保温筒、石墨电极、石墨托等时,就称为炭素(或石墨)“制品”,也可称为石墨件。此发热器等就只能称为“制品”,而不能称为“材料”,或者说该发热器是采用等静压石墨材料制作的。

三、炭素制品的分类

炭素(石墨)制品的分类,目前还没有统一的标准和严格的划分原则。一般来说,可如下分类:

(1) 按材质或组织结构可分为:1) 炭制品,制品的材质为无定形炭,即炭质;2) 石墨制品,制品的材质为石墨,即石墨质;3) 金刚石制品,制品的材质为金刚石。金刚石类制品本书不讲述,本书只讲述前两类常规炭素制品。

(2) 按骨料的粒度可分为:1) 粗颗粒炭素制品,骨料最大粒度在1mm(16目)以上者;2) 细颗粒炭素制品,骨料最大粒度在1~0.25mm(16~60目);3) 细结构炭素制品,骨料最大粒度在0.25~0.038mm(60~400目);4) 超细粉结构炭素制品,粉末粒度在38 μ m以下;5) 纳米炭素制品,粉末粒度在几十纳米及以下。

(3) 按纯度可分为:1) 多灰制品,一般灰分在1%以上;2) 少灰制品,一般灰分在1%~0.1%;3) 低纯制品,一般灰分在0.1%~0.01%;4) 高纯制品,灰分0.01%以下;5) 超高纯制品,灰分含量在50mg/L以下。

(4) 按生产工艺的不同可分为:1) 常规制品;2) 富勒烯、碳纳米管、石墨烯类制品;3) 碳纤维及复合材料类制品;4) 人造金刚石及超硬材料制品;5) 热解炭(石墨)制品;6) 玻璃炭制品;7) 活性炭类制品;8) 炭黑类制品。此外还有多孔炭、沥青中间相炭微球、表面涂层、柔性石墨、胶体石墨等。

(5) 按功能与用途可分为:1) 宇航、军工用炭素制品;2) 核石墨制品;3) 电子、电工、通讯类炭素制品;4) 机械用炭素制品;5) 电化学类炭素制品;6) 化工用不透性炭石墨制品;7) 电热化学、冶金用炭素制品;8) 工业炉用炭石墨制品;9) 计量和测量用炭素制品;10) 环保、体育及生活用炭素制品。上述分类还可分为若干小类。此外,还有其他的分类方法,余者不一一介绍。

四、炭素工业及其产品在国民经济发展中的地位与作用

炭素工业与机械、汽车、电子电气、矿山冶金、铁路、交通等大型行业相比,是个小行业,但是在国民经济发展中占有重要的地位,起着重要的作用。如我国第一个五年计划,新建 156 个大型项目,其中炭素就占了两个项目。又如:钢铁工业的发展,离不开炭素材料与制品,特别是冶炼合金钢的电炉,必须要有石墨化电极。电解铝生产,每生产 1t 铝就需要消耗 400 ~ 450kg 的炭阳极。除普通民用工业外,在航空、航天、核能、军事等领域,也有广泛的用途,如碳纤维复合材料的比强度高、质量轻,可作为飞机、航天器、飞船等壳体和结构材料,如各向同性石墨材料作为导弹鼻锥与喉衬,核反应堆的中子减速剂、反射层、保护层等。在日常生活中,也已广泛使用炭素材料,如心脏瓣膜等生理用炭、网球与羽毛球拍等体育用品。现在,日本、韩国等发达国家的高级宾馆的餐具也采用炭石墨材料制作——称为绿色餐具。可以说炭素产品已进入到工业、国防、军事及日常生活的各个方面。

随着工业化的发展、环境保护为各国所重视,提出低碳经济,仅此就可见碳在经济中的重要性。

五、炭素工业发展的前沿

新型炭材料具有密度高、强度高、耐高温、耐烧蚀、抗辐射、电阻低、导热性好、热膨胀率低、生理相容性好等一系列优异的特性,是军民两用的新材料,且发展迅猛。除上面提到的产品外,还有炭(石墨)及其复合材料、炭分子筛、炭微球、高比强高比模量炭(石墨)结构材料和功能材料,并成功地应用于宇航、航空、潜艇、原子能及其他工业。特别是 C_{60} 系列碳,碳纳米管与石墨烯被发现,这是碳科学的巨大发展,为碳化学、炭素材料的发展、研究和应用展现了广阔的前景。如高比强高比模量结构材料、超导与电极材料、电子材料与电子器件、纳米材料、储氢储气材料、催化剂材料、碳纳米管、石墨烯材料等。新发展起来的纳米技术与碳纳米材料,将促使炭材料工业乃至整个工业领域产生技术革命。

卡宾炭(carbin 或称为炔炭)早已被发现,这种线型炭有待能开发为工业应用材料。

在 C_{60} 的结构启发下,足球硼现已被研制成功,可以预料在不久的将来,足球硅、足球磷也被研制出来,使球形结构的物质形成一个大家族,它们必将具有许多奇异特性,其应用前景将不可限量。

人类的发展,已逐步将地球陆地上的资源消耗殆尽,为了持续发展,各国都在向海洋进军,向海洋发展,提出“蓝碳计划”。所谓“蓝碳”,就是由海洋生物固定下来,并能长期保存的碳,被称为“蓝碳”。

海洋中容纳的碳的库存数量非常大,是大气中碳的库存量的 50 倍,是陆地的碳的库存量的 20 倍,而且其中一部分惰性有机碳能在水中长期保存、可达几千年上万年甚至更久,所以发展“蓝碳计划”意义重大。一是海洋储碳量大,二是保存周期很长,其研究和开发的前景非常大。海洋的碳资源丰富,为炭素工业的持续发展提供了原料的保障。

1 炭石墨制品机械加工基础

1.1 炭石墨制品机械加工概述

1.1.1 机械加工的目的

炭素、电炭制品在成型、焙烧和石墨化处理过程中，从生坯到石墨化毛坯的尺寸是变化的，而引起尺寸变化的因素较多，一般用工艺的方法很难保证得到成品规定的尺寸和光洁度，同时，生产中毛坯表面还会黏附一些填充料或保温料而使表面粗糙，甚至有时还有碰损或掉角，因此，一般炭素、电炭制品在生产中需要经过机械加工，其目的是使产品达到合乎规定的尺寸、形状和表面粗糙度。

另外，有些产品结构和形态复杂，不能用成型的方法直接生产出来，也需要用机械加工的方法加工出来，还有些产品使用时的连接装置，如冶金炼钢电极的螺纹、电刷的刷辫装置、炭块的燕尾槽等，都需要进行机械加工才能生产出来。

1.1.2 机械加工的重要性

机械加工的重要性如下：

(1) 从生产成本来看重要性。炭素、电炭制品生产周期较长，从原料进厂到产品出厂一般需要3个月至半年。且从原料到生产出加工前的毛坯需要投入大量的人力、物力和能源。对于石墨化电极，石墨化后的毛坯的生产成本约为石墨化电极生产总成本的95%以上，而机械加工消耗的人力、物力和能源及时间与石墨化毛坯生产相比却是极少的。若产品因机械加工的原因而使产品报废或降低等级，都是很不合算的，同时也是人力、物力和能源及时间的浪费。

(2) 从商品价格来看重要性。毛坯的生产只是生产出材料，要变成成品就要进行机械加工。炭素电炭厂生产的产品最终是作为商品来与社会进行交换的。材料的价值一般较低，只有把材料变成最终产品才会具有较高的商品价值。而对于商品，不但材料要好，加工质量乃至包装质量都是影响商品质量和价格的重要因素，重视机械加工质量是提高企业经济效益的办法之一。

(3) 从使用来看重要性。另外，从使用的角度出发，加工精度和光洁度不高的产品对使用也是不利的，例如，电极在电弧炉中经常发生螺纹连接处断裂或掉扣事故，有时往往不是由于电极的材质不良，而是由于加工质量低劣。因此要提高产品质量，除提高材质本身质量外，还应提高机械加工质量。

(4) 从加工精度来看重要性。目前有些企业对机构加工的重视是不够的，认为炭素制品机械加工与金属加工相比只是粗加工，加工的精度和光洁度反正要求不高。其实不然，对电炭制品的机械用炭石墨轴承、密封环等的加工精度和光洁度要求较高且不说，就是对石墨化电极，机械加工精度的要求也已超过一般的金属加工精度的要求了（见表1-1和表1-2）。

从表1-1可以看出，石墨化电极连接螺纹的外径、中径和内径的加工允许误差，比一

般金属螺纹的加工允许误差值小,加工精度要求也比金属螺纹高。

从表 1-2 可知,石墨电极和接头的锥形锥度的加工精度要求要比一般管螺纹和钻机管螺纹的锥度加工精度要求高得多。

表 1-1 金属螺纹和石墨电极螺纹的允许误差对比 (mm)

螺纹种类	螺纹直径	螺距	外螺纹外径		外、内螺纹中径			内螺纹 内径	备 注
			12 级	3 级	1 级	2 级	3 级		
金属普通螺纹	185 ~ 260	6	-0.6	-0.8	-0.3	-0.37	-0.49	+0.7	
	265 ~ 300	6	-0.6	-0.8	-0.315	-0.39	-0.52	+0.7	GB 197—63
石墨	中国	155.58 ~ 298.45	8.47	-0.5				+0.5	YB 818—79
电极	日本	155.58 ~ 298.45	8.47		+0.45 +0.05 (内螺纹)				TISR 7201—79
螺纹	原苏联	155.58 ~ 298.45	8.47	-0.3				+0.3	POCT 4426—71

表 1-2 圆锥螺纹的螺距和锥度的允许误差对比 (mm)

螺纹种类		锥度允许误差/(°)	螺距要求		备 注
			每英寸	50mm 范围	
金属	普通管接头	±16 (中级)			
	圆锥螺纹	±12 (高级)			
	钻探机管接头	±16	+0.075		
	圆锥螺纹	-5			
石墨电极	锥形接头孔	-7 ~ +3		±0.02	机床达到的要求; 日本标准
	锥形接头	-3 ~ +7		±0.02	

依上所述,炭、石墨制品的生产中,机械加工不但是不可缺少的主要的一环,而且是具有较大难度的工作。国外对机械加工十分重视,对机械加工做了很多的研究,其机械加工技术和设备及工具也在不断地改进和提高。

1.1.3 机械加工的方法及分类

炭石墨制品的机械加工方法和加工机床与金属切削加工相似,炭石墨制品的机械加工方法有:车、钻、刨、磨、铣、切割及其他。

(1) 车。主要是加工圆形表面,如车内外圆,另外是车螺纹,还可平端面和镗孔及切断。常用的机床是车床,加工的产品有电极、机械用炭石墨轴承和密封环、电影和电池及电弧用等各种小炭棒和石墨坩埚及石墨管等。

(2) 刨和铣。主要是加工平面,常用机床有刨床和铣床,主要用来加工石墨化阳极、化学阳极板和各种炭块。

(3) 钻和镗。主要是加工孔,采用钻床和镗床,主要是加工电炭制品及机械、化工用炭石墨制品。如电刷的刷辫孔和热交换器的孔。

(4) 磨。主要是加工外圆,采用磨床、加工电影和电池用等各种小炭棒。

(5) 锯。主要是用于切断,设备有锯床。锯床有带锯、条锯和圆盘锯。

1.1.4 机床的类型和特性代号

1.1.4.1 机床的类型

目前,金属切削机床的品种非常多,但最基本的机床有车床、钻床、铣床、刨床和磨