

NAIHUO ZHIPIN MUOJU SHEJI YU ZHIZUO

本书编写组 编著

耐火

耐火制品模具设计与制作

地震出版社

耐火制品模具设计与制作

本书编写组 编著

地震出版社

1996

902008

内 容 提 要

本书系统介绍各类耐火制品模具,包括白口铸铁模具,高铬铸铁模具、GT35 钢结硬质合金模具,Gr12MoV 钢模具以及木模。石膏模、橡胶模等的特征、受力状况,设计程序以及模具材料的选择、模具制造工艺及提高模具使用寿命的途径等,并介绍了二十多种典型模具设计实例。本书可供模具设计、制造研究人员参考使用。

耐火制品模具设计与制作

本书编写组 编著

责任编辑:蒋乃芳

责任校对:庞娅萍

*

地质出版社出版

北京民族学院南路 9 号 邮编:100081

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 16.25 印张 420 千字

1996 年 11 月第一版 1996 年 11 月第一次印刷

印数 0001-3000

ISBN 7-5028-1291-1/TU·115

(1736) 定价:35.00 元

编委会及编写人员名单

主 编：俞文粹

副 主 编：欧阳琪 吕肇祯 张久起

编 委：朱学智 朱法均 陈新国 刘宝平
高瑞文 何平生 李 虹

编写人员：吴运广 周景顺 周阳玉 于光宦
张宴凯 李柏生 王茂清 王建华
刘廷林 沙永良 牛兆辉 刘久恩
蒋昌生

前 言

模具是生产各种制品的重要工艺装备，它的质量、性能、特别是使用寿命反映了一个部门的工业水平，并直接影响到产品的竞争能力。耐火制品的成型绝大多数采用半干料压制法，它利用安装在压机上的模具，通过外力使粉末颗粒结合在一起，从而获得具有一定形状、尺寸和强度的砖坯。实践证明，在耐火制品压制过程中，模具承受耐火泥料中硬颗粒的磨蚀作用，形成磨料磨损，使模具失效。近年来根据冶金技术的要求，耐火制品向着多熟料、高压、高密度方向发展，为此，模具承受更大的压力，磨损加剧，使用期下降。因此，对模具质量的要求越来越高。

在耐火制品生产上，制品形状的正确性和尺寸的准确度，如尺寸偏差、平面扭曲、缺棱掉角、表面裂缝等，直接影响制品的质量，要达到制品质量标准，首先要保证模具尺寸的准确度和模具的耐磨性。耐磨性是模具质量的关键，如果模具表面硬度低、耐磨性差或表面磨损不均匀，在使用中因不耐磨而很快磨损、超差报废或是模腔划伤造成砖坯质量低劣，模壁出现坑槽引起砖坯裂纹等，那末就难以保证制品尺寸的准确度。

模具寿命是衡量模具技术水平的重要指标，也反映了一个行业的技术水平。模具寿命的提高，可以节省大量模具材料，同时可以提高生产效率，保证产品质量和降低成本。我国耐火制品模具以往多用碳素钢制作，普遍存在着使用寿命短，消耗量大，需要经常重复加工，占用了许多设备和人力，花费大量的工时。即使如此，还往往由于模具供应不及时而影响生产，特别在加工能力较低的中、小型工厂，这种矛盾更为突出。这说明，模具在成型工艺中的地位很重要，制造和提供高质量、高寿命的模具，已成为十分迫切的任务，耐火制品模具的研究以此为目标，在模具技术设计、制造、材料选用和热处理方面取得了丰富的经验和可喜的成果，其中包括：硬质合金镶嵌模具、钢结硬质合金模具的研制，高铬合金钢模具的制作，高铬铸铁模具材料的开发，热处理新工艺的推广以及模具计算机辅助设计的研究开发等。

目前，用高耐磨性材料制成的高效模具逐渐增多，有些制品模具的使用寿命大幅度提高，高效模具的推广和应用出现了新的势头。为了系统汇集多年来开创的各种行之有效的各类耐火制品模具，反映国内外耐火制品模具技术的发展和最新成果，推进我国耐火制品模具技术发展，我们集多方专家撰写了《耐火制品模具》一书。本书以实用为主，兼有一定的理论分析，主要介绍国内多年来制造模具的经验、方法和研究成果，着重阐述耐火制品模具的特征，模具的受力状况、设

计程序, 模具材料的选择, 模具制造和提高模具使用寿命的途径等。本书查阅方便, 既可作为模具工作者的基础理论读物, 也可作为技术人员、操作工自学以及有关耐火制品成型工序教学的参考书。

本书由编写组集体分工编写, 各章负责单位汇审, 编委会审定, 最后由主编审阅。书中插图由姜丽和宋晓明用微机绘制。在编写过程中, 得到冶金工业部、中国耐火材料行业协会以及各有关单位的领导和模具工作者的大力支持, 在此表示衷心感谢。我们还特别感谢冷水滩耐火材料厂原厂长聂文海高级工程师对模具协作组和本书编写的积极支持。

由于编者水平有限, 经验不足, 书中难免有不少缺点和错误, 诚恳希望广大读者批评指正。

编写组

1994 年 5 月

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 模具在耐火制品生产中的作用	(1)
第二节 耐火制品模具发展概况	(2)
第二章 耐火坯料的成型	(7)
第一节 坯料成型原理	(7)
第二节 耐火制品质量和模具的关系	(10)
第三节 压砖机选型	(11)
第三章 模具材料	(18)
第一节 模具材料性能要求	(18)
第二节 碳素钢	(23)
第三节 Cr12MoV 合金工具钢	(25)
第四节 铸钢	(27)
第五节 白口铸铁	(28)
第六节 高铬铸铁	(30)
第七节 硬质合金	(36)
第八节 钢结硬质合金	(39)
第九节 木材	(42)
第十节 石膏	(44)
第四章 模具设计	(47)
第一节 设计基本程序及基本内容	(47)
第二节 压力方式的确定	(60)
第三节 设计实例	(64)
第四节 模具对砖坯质量的影响	(69)
第五节 微机在耐火制品模具设计上的应用	(72)
第五章 模具制造	(79)
第一节 毛坯准备	(79)
第二节 机械加工	(84)
第三节 热处理	(98)
第四节 模具的装配与检验	(112)
第五节 氧-乙炔喷焊	(121)
第六节 模具生产工艺流程图实例	(127)
第七节 模具车间设计简介	(132)
第六章 几种常用模具	(144)
第一节 白口铸铁模具	(144)

第二节 高铬铸铁模具.....	(147)
第三节 硬质合金模具.....	(152)
第四节 CT35 钢结硬质合金模具	(156)
第五节 Cr12MoV 钢模具	(162)
第七章 其他模具	(170)
第一节 木模.....	(170)
第二节 石膏模.....	(177)
第三节 等静压橡胶模.....	(183)
第八章 提高耐火制品模具使用寿命的途径	(186)
第一节 模具使用寿命及其影响因素.....	(186)
第二节 耐火制品模具的失效方式及其分析.....	(186)
第三节 提高耐火制品模具使用寿命的基本途径.....	(191)
附录 典型模具设计实例	(200)
一、501 滑板模具装配图	(201)
二、中钢下水口模具装配图.....	(203)
三、漏斗砖模具装配图.....	(205)
四、H24-P01-M 模具总装图	(207)
五、澳大利亚中心九孔成型模具.....	(209)
六、105×105 方管成型模具	(211)
七、流钢弯管砖成型模具.....	(213)
八、ZG-2 铸管钢 L=200 双面加压模具组装图	(215)
九、LG-3 L=250 流钢砖双面加压模具组装图.....	(217)
十、LG-10 L=175 双块成型、双向加压模具组装图	(219)
十一、3871 (九孔砖) 双向加压模具组装图.....	(221)
十二、改进型三通流钢砖模总装图.....	(223)
十三、S-7 (塞头) 模具装配图	(225)
十四、ZH-6 (∅40) 铸口砖模总装图	(227)
十五、邯郸热风炉 NG-6、NC-7 模具总图	(229)
十六、美国热风炉 B-2 模具总图.....	(231)
十七、宝钢热风炉 CH-51 模具总图	(233)
十八、LG-10-300 模具组装图.....	(235)
十九、ZX-21 模具组装图.....	(237)
二十、塞头砖 S-2 模具装配图.....	(239)
二十一、上滑板砖模具装配图.....	(241)
二十二、流钢弯砖 LG-16A 模具装配图	(243)
二十三、流钢砖 LG-1 模具装配图	(245)
二十四、L-2 型砖模具装配图	(247)
二十五、蜂窝砖模具组装图.....	(249)
二十六、十二孔焦炉砖组装图.....	(251)

第一章 概 论

第一节 模具在耐火制品生产中的作用

耐火材料就其形态来说，可以分为定形耐火制品（以耐火砖类为主）和不定形耐火材料两大类。在我国耐火材料行业中，虽然不定形耐火材料发展迅速，但是定形耐火制品仍然占有十分重要的位置。比如，1990年耐火定形制品占耐火材料总产量的84.4%，1991年占81.9%。大多数耐火材料制品要求高密度、低气孔率以及正确的外观形状，要达到这些要求，成型工序是生产过程的关键。

模具是耐火制品成型过程必不可少的装备。图1-1是标准型耐火制品成型模具结构图。外部是模套（1），主要用来承受成型过程的作用力，并起固定联结作用；内部衬模，包括侧板（2）、端板（3）、上板（4）和下板（5），这些衬模直接与耐火坯料接触，决定制品的形状尺寸和外观质量，是经常更换的易损件；在模套与衬模之间是垫板（6、7），用作结构联结和尺寸调节。

模具的质量是影响耐火制品外观质量的决定性因素，也是影响制品的理化指标。有关耐火材料国家标准中规定的限定指标，如：密度、气孔率、平面的粗糙度、不平直度、不垂直度、不平行度、翘曲度、裂纹、层裂和掉棱缺角等指标，都与模具有直接关系。

在用压砖机压制过程中，坯料之间内摩擦力很大，使压力在坯料中传递时产生递减；另一方面，坯料与模壁之间产生外摩擦力。由于内外摩擦力的作用，使坯料离加压面愈远的地方受压越小，密度也小，因而往往用延长压型循环时间或加压次数来改进砖坯质量。在衬模上可明显看出，接近制品上部边缘部位磨损最严重，出现凹陷磨损面，当磨痕达到0.5mm左右时（有时也有一定的塑性变形），砖坯就达不到规定的质量指标，就要更换衬模。衬模因材质不同也有折断、崩裂等其他损坏形式。

提高模具质量，延长使用寿命，不但能够降低成本，更重要的是可以提高耐火材料制品的质量，满足冶金窑炉等热工设备的需要，并延长其使用周期，具有明显的经济效益。

当前，各耐火材料厂家所采用的成型设备种类、模具结构型式和所用的模具材料及制造

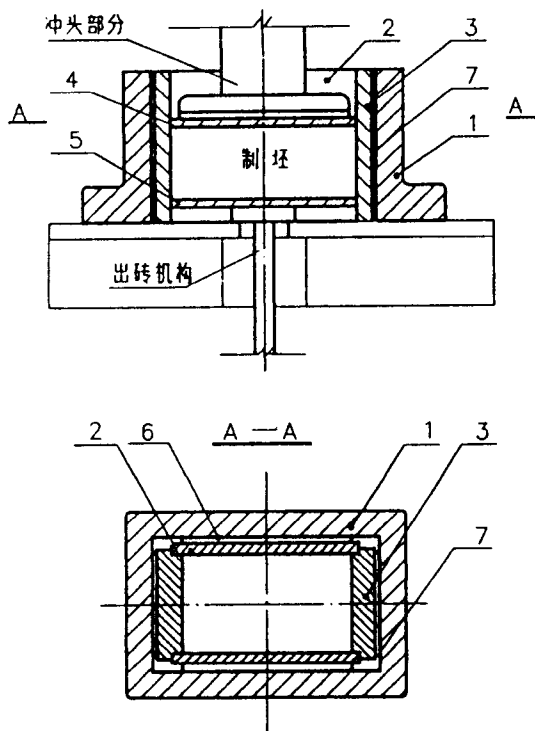


图 1-1 模具结构图

1. 模套；2. 侧板；3. 端板；4. 上板；5. 下板；
6. 垫板；7. 垫板

工艺不尽相同。但是经验说明,高质量的模具,决定于先进的结构设计、合适的模具材料以及正确的制造工艺。这些正是本书叙述的重点。

第二节 耐火制品模具发展概况

耐火材料工业是在冶金窑炉等热工技术发展的要求下发展起来的。耐火制品模具又是随着耐火制品品种增加,提高质量工艺设备改进而得到发展的。80年代以来,耐火制品要求高密度,成型压力向高吨位发展,出现了10000kN以上的摩擦压砖机和20000~30000kN以上的液压成型设备,对模具提出了更严格的要求。同时人们也逐渐认识到,模具对耐火制品的质量有不可忽视的影响。为此,各有关部门进行了大量的试验研究工作,促进了耐火制品模具的迅速发展。

50年代及以前,耐火材料工业生产较落后,耐火制品成型主要使用旧式摩擦压砖机和夹板锤等简易设备,手工成型也占有较大比例。所用的机压成型模具以碳钢渗碳模具为主,手工成型一般用木模型。随着工业的发展,新式成型设备相继用于耐火材料生产,手工成型逐渐减少。

60年代中期,有关部门开始研究耐火材料制品模具,但受到条件限制发展不快,直到70年代后期才得到迅速发展。鞍山焦化耐火材料设计研究院与无锡太湖耐火材料厂、上海第二耐火材料厂、上海耐火材料厂共同研制成功的碳钢模具“气体碳氮共渗”工艺、高合金钢(Cr12MoV)模具、硬质合金(YG系)模具,冷水滩耐火材料厂和株洲硬质合金厂研制成功的钢结硬质合金(GT系)模具;天津市冶金研究所、天津耐火器材厂、上海耐火材料厂研制成功的高铬铸铁模具等先后通过了冶金工业部的技术鉴定,已在全国推广使用,并取得了较明显的技术经济效益。

一、木 模

木模主要用木材制造,用于手工成型、夹板锤等简易机械成型和振动成型。由于这些成型工艺已逐渐被机械成型取代,所以木模已很少使用,目前仅用于形状十分复杂和数量极少的制品生产中。

二、碳钢模具

这类模具是耐火制品成型使用最普遍的模具。坯料经机械加工,再进行渗碳淬火达到使用标准。一般模具要求表面淬火硬度大于HRC60,渗碳层深度大于1mm,表面含碳量大于1%;所用材料以优质低碳钢(低碳低合金钢)为好,一般用普通低碳钢,少数厂家用优质中碳钢,用这些材料制造的模具,实际使用效果无明显差异。渗碳(共渗)淬火是模具制造的关键工序。要求表面具有均匀的高硬度和高耐磨性,是耐火制品模具的特点。模具的渗碳方法有固体、液体和气体渗碳。

1. 固体渗碳

建国初期,我国耐火材料厂采用固体渗碳。固体渗碳设备简单、操作简便,在耐火企业模具生产中广泛使用。但是固体渗碳存在着一定的缺点:①质量不容易控制;②劳动强度大,操作时碳末飞扬,影响环境卫生;③工作时间长,热处理成本高。目前,这种工艺在大、中

型耐火材料企业已不使用，但在少数地方耐火材料厂还有使用。

2. 液体渗碳

这是一种含氰盐的盐液渗碳。严格来说，它不单是渗碳，同时有渗氮的过程，因此它是碳、氮两种元素共渗的复杂工艺，又叫做液体氰化，但是随着共渗温度的提高，共渗层的含氮量将明显下降，转为以渗碳为主的过程，其渗层性能与渗碳处理相似。氰盐是有剧毒的化学物品，使用保管必须特别谨慎，要有安全技术措施，严格遵守安全条例。1981年耐火制品模具气体碳、氮共渗工艺试验成功，并在全行业推广使用，液体渗碳已被淘汰。

3. 气体渗碳

60年代中期，耐火制品模具行业开始采用气体渗碳工艺，目的是改善模具热处理生产条件，提高模具质量。气体渗碳使用井式气体渗碳电炉加热，用醇排气煤油渗碳。煤油分解物有极强的渗碳能力，但过强的碳势又容易在模具上形成碳黑沉积、影响渗碳过程的顺利进行及渗碳效果。采用煤油和乙醇混合剂渗碳，渗碳效果有所改善。

气体渗碳与固体渗碳或液体渗碳比较，操作条件有较大改善，模具质量有所提高，但操作不太稳定。随后试验成功的碳钢模具气体碳氮共渗工艺，在模具生产中取得较好效果。

4. 气体碳、氮共渗

碳、氮共渗具有渗碳和渗氮的特性，共渗层比渗碳层有较高的耐磨性、较高的疲劳强度和耐腐蚀性。碳、氮共渗所用设备与气体渗碳相同，但工艺周期比渗碳短，加热温度比渗碳低，可以直接淬火，减少零件变形，延长炉子和工具的使用寿命。碳氮共渗在工业上的应用虽然比渗碳晚得多，但是它的发展却非常迅速。耐火材料行业的模具热处理于1978年开始应用滴注式气体碳、氮共渗技术，滴剂是三乙醇胺 $[(C_2H_5OH)_3N]$ ，直接滴入炉内热裂分解，碳和氮以原子状态渗入钢中，以达到碳、氮共渗的目的。这一工艺的模具质量、生产效率、劳动条件和环境卫生都优越于固体渗碳和液体渗碳，是耐火制品模具热处理的先进工艺。

1980年，气体碳、氮共渗滴剂工艺改为滴入煤油和通入氨气法，煤油分解甲烷，保证炉内有充分的渗碳气氛，通入氨气使炉内能维持一定的氮势，并且可以通过控制氨气的流量来调节炉内氮的气氛。这又优于三乙醇胺滴剂，经过标定，用煤油+氨气共渗剂处理的模具，使用寿命高于用三乙醇胺的，而渗剂费用比用三乙醇胺低很多。

稀土碳、氮共渗就是在共渗剂中加入一定量的稀土。由于稀土的作用改善了共渗效果，提高了模具的质量，有较好的技术经济效益。稀土碳、氮共渗工艺是大冶钢厂耐火材料分厂于1992年开始用于模具生产的，在耐火制品模具行业已推广使用。

三、白口铸铁模具

早年发展的高碳低硅白口铸铁，专门用作抗磨材料，铸态时，显微组织中没有石墨，而是由渗碳体和珠光体所组成。

50年代后期，山东耐火材料厂为缓解钢材供应不足，因地制宜采用白口铸铁耐火制品模具，解决了生产急需。这一方法曾在一定范围内推广使用，最初用废旧锅铁、犁铧铁加一些废合金钢熔炼的冷硬性白口铁，俗称变质铸铁，根据模具类型和数量，采用金属型、砂型和离心铸造。铸态为白口铁，经退火后进行机械加工，不再进行热处理，可直接使用。退火硬度为HRC45~50，模具磨损后可以通过修磨而多次使用。因为是冷硬铸态结构，从表层至心部的硬度和耐磨性递减，衬模厚度比碳钢模具的厚一倍，虽然铸铁成本较低，但模具的相对

费用并不便宜。这种模具的优越性是耐火材料厂可以组织生产，废旧模具可以回收重熔，因而节省材料、降低成本。

冶金工业部曾组织推广这种模具，但由于制造和使用有一定难度和弊病，进展始终不大。近年来，由于高压成型设备的应用，这种模具的使用范围受到限制。目前有些地方耐火材料厂还使用这种模具，在一些大、中型耐火材料厂还用这种材料离心浇注生产圆形或圆锥形套筒类模具。

四、高铬铸铁模具

这是一类高铬多元合金铸铁，用于耐火制品模具，一般含碳量为2%~3%，含铬量14%~18%，通称高铬铸铁。因为具有钢的某些特性，也称莱氏体钢。其机械性能与高合金工具钢(Cr12MoV)相近似，具有高的硬度，良好的耐磨性，工艺性较好，可以用金属型和砂型铸成各种复杂形状，用离心浇注制成圆筒形和圆锥形模具，比其他材料有更明显的优越性。

这种模具铸态硬度在HRC60以上，需要退火后才能进行机械加工，淬火硬度可达HRC65左右。耐磨性很好，模具磨蚀后经修磨可以多次使用，其综合寿命比传统模具可以提高近8~10倍。

这种模具制造容易，成本较低，寿命较长，综合技术经济性适中，宜于推广普及，是当前具有广泛发展前途的模具。天津耐火器材厂、上海耐火材料厂、冷水滩耐火材料厂较早使用这类模具，目前湘钢耐火材料厂、首钢耐火材料厂、山东耐火材料厂、洛阳耐火材料厂等都使用这类模具。

马家沟耐火材料厂和丰南合金模具厂研究成功双金属离心浇注复合圆套类模具，内层为高铬铸铁，具有良好的耐磨性；外层为中碳铸钢，具有较高的强度和韧性，基本消除了高铬铸铁的脆裂弊病。

五、Cr12MoV 高铬合金工具钢模具

Cr12MoV钢是能较好地满足耐火制品模具有高的硬度、强度、耐磨性及低变形这个要求。这种钢在成分上的主要特点是含有大量的铬，主要形成 $(Cr, Fe)_7C_3$ 碳化物，碳化物在淬火加热时大量溶入奥氏体中，淬火回火时自马氏体中析出大量碳化物呈弥散分布。用作标、普型制品模具，它的厚度一般不超过30mm，热处理后能全部淬透，因此这种模具可多次重复使用，每次使用磨损程度 $\leq 0.4\text{mm}$ 时，只要将模具卸下，经过磨削，磨去磨损的痕迹，再装配使用，使用寿命可以比碳钢模具提高10~20倍，而成本是碳钢模具的3~4倍。

我国从国外引进的液压压砖机随机所带的模具，都是这类材料，类似国产Cr12类钢(表3-6)。

六、硬质合金镶嵌模具

硬质合金在现代工具材料、耐磨材料、耐高温和耐腐蚀材料方面占有重要的地位，硬质合金具有一系列优良性能，其中主要是具有高硬度(~HRA93)和耐磨性，并因此而得名，它的技术价值已日益广泛地为人们所了解。

参照国内外资料，用含钴(Co)量较高的硬质合金做模具材料已得到了显著的使用效果，使用寿命比合金工具钢提高几十倍。1983年，耐火材料行业试制成功镶嵌硬质合金耐火制品

模具，耐磨性极高，是目前最耐磨的制品模具。镶嵌块的材料是钨钴（WC—Co）合金。这类合金中的中钴合金可以制作冲击负荷不高的冲压模具，高钴合金可以用作冲击负荷较大的冲击模具。但是以这种普通硬质合金制造模具，特别是形状复杂的，国内还很少应用，目前只推广应用于平面形的标普型制品模具。硬质合金镶嵌块在磨损达到公差后，可以磨修再使用，其使用寿命是渗碳钢模具的 150 倍左右。由于 WC—Co 合金硬度高，不易磨损，可保证制品的精确度和外形，提高制品质量。

七、钢结硬质合金

为了选择模具材料，提高模具的使用寿命，近年来提出的模具硬质合金化是个值得重视的方向。但是普通硬质合金韧性较差，容易脆裂，加工困难，使用受到限制。钢结硬质合金则不然。它的重要工艺特性是可加工性和可热处理性。因此有人把钢结硬质合金称为可加工、可热处理的硬质合金。

钢结硬质合金最早（按投入市场）起源于美国，后引起各国的广泛重视，相继传到原联邦德国、英国、法国、日本、原苏联、波兰、荷兰等国，这些国家除部分引进并仿制美国的若干牌号以外，随着需要的增长，还分别研究、发展了一些不同的牌号。60 年代中期，钢结硬质合金在我国研制成功，随即得到迅速发展，我国钢结合金发展的主要特点是 TiC 与 WC 两大系列同时发展。

我国从事钢结合金研制、生产的厂家和单位较多，推广交流较为活跃。钢结合金明显的优越性及其在应用中所带来的经济效果，愈来愈引起人们的注意和重视，从而使钢结合金的应用范围不断扩大，用户遍及全国各地。1984 年，冷水滩耐火材料厂选用 GT35 牌号钢结硬质合金制造耐火制品模具。GT35 钢结合金以碳化钛为硬质相，以铬相钢为粘结相，热处理后回火态的组织为 TiC+回火马氏体，硬度为 HRC68~72，用它制作的耐火制品模具，卓有成效地显示出高耐磨性能。经过两年的生产实践，测定 GT35 钢结合金模具每次使用寿命比碳钢渗碳模具提高 150~200 倍。因此节省大量钢材和加工台时，它有良好的工艺性能，材料可以先锻造，再切削加工，最后经热处理硬化，这就使 GT35 合金材料能够制作标、普、异、特型各种耐火制品模具，基本解决了制造困难的问题，成为用来制造高效率模具及耐磨零件行之有效的一种新材料。目前在耐火材料行业中得到迅速推广。

八、其他种模具

1. 石膏模

石膏模即是用石膏制造的耐火制品模具，可以制成各种形状复杂的模疋。湘钢耐火材料厂在离心浇注耐火材料成型工艺上应用这种模具。

2. 橡胶模具

这是在冷态等静压成型设备上使用的模具，生产特异型和高密度等特种耐火制品。青岛耐火材料厂、上海第二耐火材料厂、秦皇岛耐火材料厂等生产长水口砖等产品时使用这类模具。

多年来，有关单位和部门都对耐火制品模具进行了大量的试验研究，有些厂家曾先后试用过碳钢渗硼、碳氮硼三元共渗模具，轴承钢、高速钢模具，模具表面电镀耐磨铬层、喷焊耐磨合金等。调查资料表明，耐火材料制品模具中，用得最多、使用较广的是碳钢气体碳氮共

渗模具、高铬铸铁模具、硬质合金和钢结硬质合金模具。

一般来讲，高性能模具制造复杂，成本较高；性能较低的模具制造容易，成本较低。各种模具都有不同的适用范围。一个耐火材料厂不宜只用一种模具，也不能各种模具都用，应该根据耐火制品的品种、产量，装备水平和技术条件等具体情况，选用几种模具组织生产，才能取得较好的技术经济效益。

第二章 耐火坯料的成型

第一节 坯料成型原理

成型是耐火坯料借助于外力和模具，成为具有一定尺寸、形状和强度的坯体或制品的过程。常见的成型工艺有：半干料压制法、可塑法、注浆法、振动成型法、热压成型法、热压注浆法、电熔浇筑法、等静压成型法等，其中以半干料压制法最为常见。

一、半干料压制法

半干料压制法所用的坯料，一般约含水 5%，根据砖种及各生产厂的实际情况，含水有波动，例如镁质制品坯料含水 2.5%~3%，硅砖机压坯料含水 5%~6%；粘土砖机压坯料含水 5%~6%，高铝砖机压坯料含水 3.5%~5.5%等。坯料水份少，要获得一定的形状，需要对坯料施加较大的压力。坯料在模具中受高压力的作用，坯料的颗粒重新分布，其间的空气被排出，坯料颗粒在机械结合力、静电引力以及摩擦力的作用下紧密结合而成为具有一定形状尺寸和强度的坯体。一般来说，压力增高，坯体的气孔率下降，密度增大，强度随之提高。

坯料的压制过程可以分为三个阶段（图 2-1）：

第一阶段，在压力作用下，组成坯料的矿物颗粒、结合剂、空气，三者中的空气被压缩以致于排出，坯料体积急剧压缩，坯料中的矿物颗粒移动，配置成较紧密的堆积，这个阶段在低压下完成，体积压缩量十分明显。

第二阶段，坯料开始发生弹性变形，包括固体颗粒、液体以及空气的弹性变形，并伴随少量颗粒的脆性变形，压力逐步增加，坯料逐步压缩，压缩和增压曲线脉动上升。

第三阶段，坯料已致密，随着压力的增加，体积很难再有明显压缩。

压制砖坯的总压力分配在以下几个方面：

- (1) 克服坯料颗粒间的内摩擦力；
- (2) 克服坯料与模壁间的外摩擦力；
- (3) 克服由于坯料不均匀（包括水份、颗粒组成）及其在模具内分布不均匀所需要的过剩压力。

通常，总压力的大小需要通过试验来确定。国内外成型砖坯的单位压力列于表 2-1。

坯体的密度和密度的均匀性是成型质量的重要标志。除工艺条件外，要考虑影响坯体密度和密度均匀性的以下几个因素：

- (1) 选用坯体受压面时，注意选择坯体的最大面，最小的坯体厚度和周边长度。
- (2) 压制砖坯时，坯料在模腔内受到内外摩擦阻力，在砖坯中形成密度递减现象，且外摩擦力较内摩擦力大，因此，坯料在垂直于加压方向的平面内，内部密度较外部为大，上述现象综合作用的结果，坯体中形成层密度现象（图 2-2）。对坯体密度和密度均匀性有较高要求时，采用双向加压可以减少因压力传递不均匀引起的密度差异（层密度）。
- (3) 坯体密度和密度均匀性随坯体内外摩擦系数的降低而增高，因此向坯料中引入某些

表 2-1 各种耐火制品单位成型压力

砖 种	单位成型压力/MPa	砖 种	单位成型压力/MPa
1. 硅 砖	80~120	镁 砖	120~150
高密度硅砖	98~147	炉顶砖	120~200
2. 粘土砖		高纯镁砖	275~320
蜡石砖	80~100	合成镁白云石砖	175
粘土砖	60~120	镁炭砖	180
3. 高铝砖		镁炭质供气砖	>200
普通高铝砖	80~120	镁钙炭砖	147~196
电炉顶、高炉砖	120~150	镁铬砖	>140
高密度高铝砖	176~215	镁铝砖	150~200 (或>200)
莫来石砖	200	5. 锆质砖	
刚玉砖	80~120	纯锆英石制品	123
优质刚玉砖	≥ 150	锆英石砖	85~100
铝炭滑板砖	100~150	锆质滑动水口	120~160
优质铝炭滑板	<200	6. 碳化硅砖	30~100
4. 碱性砖		7. 其 他	
烧成白云石砖	90~110	铝锆炭水口	150~200
焦油镁砖	120~150	BN 分离环	(1973K 热压) 25

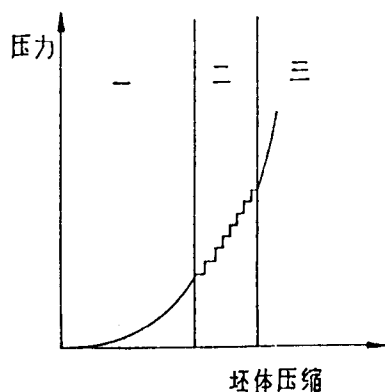
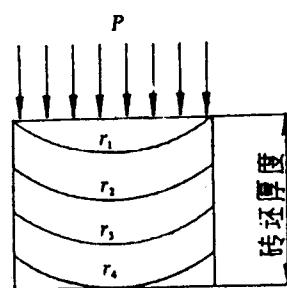


图 2-1 坯体压制过程的压力—坯体压缩曲线

图 2-2 层密度现象 (图中 r 表示体积密度, 且 $r_1 > r_2 > r_3 > r_4$)

塑化剂及表面活性剂，在模具壁上涂刷润滑剂，有助于坯体密度和密度均匀性的提高。

(4) 在一定范围内，坯料颗粒较细、水份较大，有助于坯体密度均匀性的改善。

(5) 坯体中气体排除的多少，直接影响坯体密度高低。采取真空排气加压装置可以得到

高密度坯体。

坯体层裂常常是造成废品的重要原因，发生层裂的因素及防止方法可以从以下几个方面考虑：

(1) 压制坯体过程中，坯料中的气体没有充分排除，受压的气体使坯体在撤除压力时发生膨胀，当受压气体压力超过砖坯断裂强度时，造成坯体的层裂。充分排除坯料中的气体可以避免层裂，又有利于体积密度的提高。

(2) 坯料中水份过大，在高压下水被挤入气孔中，压力消除后又从气孔进入颗粒间，使颗粒分离，引起坯体体积膨胀而产生层裂。因此，正确掌握坯料的水份是必要的。

(3) 多次加压以及逐渐增加压力，延长加压时间可使坯料有较大的塑性变形，有利于克服层裂，提高坯体密度。

耐火原料的硬度对模具的磨损有很大影响。耐火原料的硬度列于表 2-2。

表 2-2 耐火原料的硬度 (常温)

耐火原料名称	莫氏硬度	密度/(g/cm ³)
叶腊石 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1~2	2.66~2.9
石英 SiO_2	7	2.65
红柱石 $\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{O}$	7~7.5	3.1~3.2
兰晶石 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	4.5, 6.5~7	3.56~3.68
硅线石 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	6~7.5	3.23~3.25
刚玉 Al_2O_3	9	3.9~4.0
锆英石 $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$	7~8	4.68~4.8
莫来石 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	6~7	3.03
铬铁矿 FeCr_2O_4	5.5~7.5	4.0~4.8
镁砂 MgO	5.5~6	3.64~3.67
镁铬尖晶石 MgCr_2O_4	5.5	4.43
镁铝尖晶石 $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	7.5~8	3.58
镁橄榄石 $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	6.5~7	3.2
堇青石 $(\text{Mg} \cdot \text{Fe})_2\text{Al}_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{18}]$	7~7.5	2.6~2.66
碳化硅 SiC	9.5	3.2

二、注浆成型

注浆成型主要用来生产中空薄壁的高级耐火制品和特殊耐火制品。一般使用粉状原料，选择适当的解胶剂使其均匀地悬浮在溶液中，调成泥浆，浇注到有吸水性的模型中吸去水分，按模型形状成形坯体，称之为注浆成型法。

为了加快脱水过程，缩短注浆成型时间，可以采取在模型外面造成负压的真空注浆法，也可以采用加压注浆法以及离心注浆法。

三、可塑成型法

可塑法所用坯料的水份，一般在 16% 以上，将预制好的坯料投入挤泥机中，挤成泥条，然