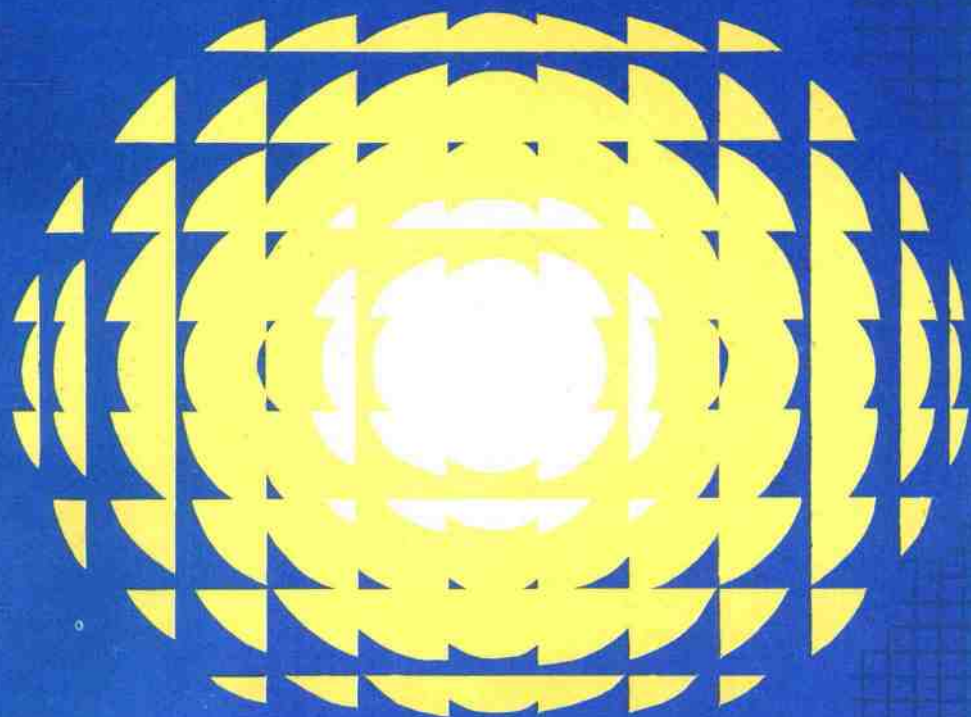


QING HUA UNIVERSITY



清华大学
1984年
第二分册



硕士学位论文摘要汇编

COLLECTION OF ABSTRACTS
OF MASTER'S THESES

前 言

为了广泛征求各学科专家及同行们的意见,促进各学科之间,各培养单位之间的学术交流,现汇编出版 1984 年清华大学《硕士学位论文摘要》,供大家参考。

本汇编共分四个分册,按学科进行编排,在同一学科内以答辩日期的先后次序排列。

第一分册 包括建筑系、土木与环境工程系及水利工程系各专业。

第二分册 包括机械工程系、精密仪器系,及热能工程系各专业。

第三分册 包括电机工程系、无线电电子学系、计算机工程与科学系及自动化系各专业。

第四分册 包括工程物理系、化学与化学工程系、工程力学系、数学系、物理系及核能所各专业。

本期《硕士学位论文摘要》共收入 81 级和 82 级硕士研究生毕业论文摘要 223 篇。这些论文均已通过专家评阅和论文答辩。论文全文收存于我校图书馆,有关各系的论文同时分存各系资料室,可以借阅。我们恳请各有关单位的专家、同行学者和广大读者对论文中存在的问题提出宝贵意见;对编辑校对工作中存在的错误予以批评指正。对此我们深表感谢。

清华大学研究生处

一九八五年五月

第 二 分 册

目 录

机 械 工 程 系

型内孕育块工艺和复合孕育剂的试验研究.....	周昭喜	2-1
Fe—C—Si 系合金中蠕虫状石墨结晶过程的研究.....	陈驾宇	2-2
用计算机分析粉料粒度的数字方法和精铸涂料、型壳性能的研究.....	周小平	2-3
烧结型水基铸铁涂料的研究.....	邵 宁	2-4
轴承环温冷挤压最佳制坯工步和下料方法的试验研究.....	童隆长	2-6
空间板壳系结构有限元——形状优化设计.....	王兆祥	2-12
QH—ARC CO ₂ 焊接.....	陈 强	2-13
组合合金耐磨性及磨损机理研究.....	郑华毅	2-14
低碳马氏体不锈钢中氮化铝的沿晶析出.....	张泽国	2-16
残余奥氏体在接触疲劳中的行为和作用及其磨损机理的研究.....	祝 东	2-18

精 密 仪 器 系

旋光法高精度准直测量及磁光调制对准技术研究.....	郑颖君	2-20
CCID 内插细分数据处理系统在激光准直中的应用.....	王 荣	2-21
动不平衡振动信号的数字处理.....	吴 革	2-22
重载条件下线接触弹流问题的数值分析与实验研究.....	侯克平	2-24
凸轮—挺杆副动态弹流润滑的研究.....	董福品	2-25
动力假手的活关节手指机构和自适应仿生机构的研究与设计.....	郭躬良	2-27
平面接触副磨合机理的试验与理论分析.....	吴承伟	2-28
浮动套轴承的理论计算与实验研究.....	周晓光	2-30
高速滑动轴承的热效应研究.....	姜 丽	2-31
变温度场可倾瓦径向轴承静、动态性能计算及其伪随机码实验辨识.....	王应龙	2-33
液压可变刚度支承及变参转子系统的设计研究.....	朱 云	2-34
微机测振技术与变速转子动平衡的研究.....	付海忠	2-36
计算机绘制机械图的支撑软件系统.....	游欣明	2-37
应用超硬高速钢滚刀实体滚切中硬齿面齿轮时的切削条件优化及其机理的研究.....	华 迅	2-39
软 X 射线曝光装置精密微位移工作台系数的实验研究.....	融亦鸣	2-40
非完全复模态系统识别方法的研究及其在机床结构建模中的应用.....	黄力平	2-41
微处理机高速数字跟踪装置闭环伺服驱动系统的试验研究.....	姜钧伟	2-43

五座标 MNC 系统附加运动计算及速度控制试验研究.....	樊 华	2-45
静电陀螺的温度测量与控制.....	张 珩	2-46
静电陀螺数字式加矩测量系统的研究.....	苗小波	2-47

热 能 工 程 系

回转蓄热式换热器的传热研究.....	王斯永	2-49
小管径竖管外侧的凝结换热.....	俞宇枫	2-50
精密铜块卡计的建立和油煤混合燃料比热的测定.....	张保田	2-52
流动沸腾临界热通量的模化实验研究.....	张振杰	2-54
关于低温水喷雾冷却问题的初步研究.....	赵柏忠	2-55
卡尔曼滤波在风电系统特性研究中的应用.....	李 彦	2-58
ISO 散热器试验台的特性研究.....	范有臣	2-60
花格式太阳墙的试验优化研究与数字模拟分析.....	方贤德	2-62
向心透平静叶栅二维流场的计算与实验及其叶型改进的研究.....	黄小燕	2-64
直齿园柱齿轮在载荷作用下轮齿变形的计算和测量.....	方宗德	2-65
用 ITD 方法识别汽车振动模态参数的探讨.....	陈 赣	2-66
解放 CA—10 油罐车悬置上结构的模拟分析和导向轮自激振动.....	陈小悦	2-68
中型载重汽车弯道制动稳定性及制动力分配优化计算.....	丁 康	2-69
BJ212 变速器一档直齿轮的修型问题及用遥测装置测量齿轮初态 应变的实验研究.....	张 克	2-71
中型卡车稳态转向特性研究及侧倾优化设计.....	董 扬	2-73
用于微型计算机的四缸内燃机循环模拟程序研究.....	姚小刚	2-74
直喷柴油机喷注瞬态贯穿模型及其喷雾贯穿特性的试验研究.....	胡宗强	2-75

型内孕育块工艺和复合孕育剂的试验研究

铸造专业研究生 周昭喜 指导教师 柳百成 吴德海

球墨铸铁铸件一般要经过热处理才能送到下道工序，热处理要消耗大量的能源，据国外统计，铸铁热处理消耗能源平均占生产整个铸件所需能源的 18%，提高生产成本 10% 左右，因此生产铸态球铁具有很大的经济意义，在大量流水条件下生产铸态铁素体球铁，被列为国家“六五”攻关计划中三十八项攻关项目中的一个子项。

铸态铁素体的获得与许多因素有关，经过调研和分析比较，决定采用强化孕育处理的措施来进行研究。试验主要使用阶梯试块和圆柱试棒，对一些单项试验设计了特殊的实验装置。通过实验室和工厂的系统试验研究了型内孕育块孕育的有关影响因素，孕育效果及其均匀性通过石英玻璃窗口进行直接观察，电视录相等方法研究了孕育块的熔解过程，在此基础上提出了型内孕育块的孕育机制和孕育块的理想模型。

在进行了理论分析之后，设计了几种复合孕育剂的试验，确定了含铈系、硼—铈系等几种复合孕育剂的最佳成分范围以及适用条件。

将型内孕育工艺和含铈复合孕育剂应用于工厂生产，进行了大批量生产性试验验证，证明它们对获得铸态铁素体球墨铸铁有显著效果。本文还对铸态铁素体球铁生产中的一些工艺因素进行了分析研究，推荐了生产铸态铁素体球铁的工艺参数。铸态球铁的生产具有很大的经济效益，据南汽铸造厂估计，若年产 1000 吨合格铸态球铁，仅燃料成本这一项就可节约 13 万 7 千元。

试验结果表明：

孕育块型内孕育工艺适用性强，在不同重量级别的铸件上，在变化较大的工艺条件下都能获得显著的孕育效果，能有效消除或大幅度降低碳化物含量，比之大包孕育，能提高石墨球数 80~120%，提高铁素体量 20~100%，在原铁水球化级别较差的情况下能使其提高 1~2 级。这种工艺孕育剂用量少，制作和使用工艺简便，并使环境得到改善。它适合于我国目前铸造行业的生产现状。

许多工艺因素对于孕育块的孕育效果都有不同程度的影响，所有影响孕育剂扩散、均匀化的因素都对孕育块孕育后铸件中硅量分布的均匀性和孕育效果的均匀性有影响。影响孕育效果及其均匀性的主要因素有，铸型的浇注系统，铁水浇注温度和孕育块的粘结剂，另外还有孕育块的形状，模数和紧实度，孕育剂的粒度，铸件形状和在铸型中的位置，孕育剂的成分，孕育块的加入量和铁水成分等等因素。孕育块的均匀性可以通过完善浇注系统和调整孕育块本身参数加以改善。

对于石蜡粘结孕育块，推荐的使用条件为：浇注系统采用封闭式，铁水浇注温度 1420~1300℃，满足这些条件，孕育块的熔化和孕育效果的均匀性基本上可以得到保证。

石蜡和水玻璃孕育块有两种熔化状态——逐层熔化和崩溃熔化两种状态，在封闭或半封闭式浇注系统中，一般是逐层熔化。

在一定的工艺条件下，硼—铈型复合孕育剂和其它复合孕育剂的效果明显优于硅铁，它们已经作为或有可能作为生产铸态铁素体球铁的孕育剂。

复合孕育中的有效元素加入量一般有一个最佳范围，随工艺条件不同，最佳量也有所变化。孕育效果与孕育方法密切相关，在型内孕育条件下，复合孕育剂的效果不太显著，这时孕育剂的成分已处于次要地位；倒包孕育时使用复合孕育剂，其孕育效果比之硅铁，有显著提高而且稳定性好。

使用倒包复合孕育剂（含铈型）孕育 + 孕育块孕育工艺，已在南汽部分铸件上实现了QT42~10的大量流水线稳定生产，若其它工艺条件进一步改善，将使QT42~10牌号的铸件都能实现铸态生产。

要实现铸态球铁稳定地大量流水生产，除了要强化孕育处理外，还要对生产中的各个环节（从原材料到铸件验收）和各种工艺因素（如配料，球化剂用量，浇注温度等等）严格管理或严加控制。

答辩日期 1984年6月18日

Fe-C-Si 系合金中蠕虫状石墨结晶过程的研究

机械系铸造专业研究生 陈驾宇 指导教师 柳百成 吴德海

蠕墨铸铁是近十几年发展起来的一种新型工程材料，它具有良好的综合性能。利用蠕墨铸铁制造的某些铸件具有寿命长，重量轻，成本低的特点，因此吸引了机械设计和制造工作者的广泛注意，正在获得迅速发展。

对蠕虫状石墨结晶生长机理进行研究，不仅有助于人们控制蠕墨铸铁的稳定生产，为认识铸铁中石墨化机理提供大量信息，同时也是为开发新型工程材料作理论准备。

本文对蠕虫状石墨铸铁的发展历史，特别是对蠕虫状石墨结晶机理方面的研究进行了回顾；分析讨论了已有的研究结果和存在的问题；在此基础上作者对蠕虫状石墨结晶生长过程及溶质元素的影响进行了较为深入的研究。

对 Fe-C-Si 合金进行液淬后发现，蠕化处理后的铁水中石墨析出的最初形态呈球状，在随后的生长过程中石墨逐渐发展畸变，共晶转变期间石墨畸变加剧，最后形成蠕虫状石墨。从试验的结果中还可以发现，蠕虫状石墨生长后期在石墨端部存在着与残留液相连接的液态通道。在 Fe-C-Si 合金中加入 2% 的磷元素后证实了液态通道的存在以及它们与石墨的联系。并且通过与片状石墨和球状石墨进行对比发现，不同形态的石墨与液相有不同的连接方式。液淬样品经深腐蚀后，采用扫描电镜观察了石墨与液态通道的联系情况。上述试验结果在作者设计的 Ni-C 系合金中也得到了证实。电子探针微区分析的结果表明，液态通道中有杂质元素，如磷、硫、钛的富集。不同形态的石墨在生长时

与液相接触界面处的硫富集情况也有差异。在上述试验的基础上,作者对液态通道的形成、其存在的稳定性、提供碳原子的能力以及对石墨生长的影响从理论上给予了论证,并对杂质元素富集对铁水凝固点的影响进行了分析。根据上述结果提出了蠕虫状石墨沿液态通道生长的物理模型,通过向 Fe-C-Si 合金中加元素铋证实了这个模型。最后利用所测的微分热分析曲线对蠕虫状石墨铸铁结晶过程的热效应进行了分析,从而为作者提出的蠕虫状石墨生长的物理模型提供了佐证。

文章认为:凝固时石墨周围的奥氏体壳中液态通道的存在对蠕虫状石墨的生长有较大的影响,蠕虫状石墨在共晶转变中后期大多沿液态通道生长、分枝,溶质原子偏析造成熔液凝固点的降低是产生液态通道的主要原因。由此,可以通过控制铁水中溶质元素的含量来控制液态通道的存亡。作者认为蠕虫状石墨生长的基本方式是:石墨首先以球状形态从铁水中析出,然后主要沿 $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ 方向畸变生长,在凝固末期,即共晶转变后期石墨端部的液态通道被奥氏体包围,此时石墨改成沿 $\langle 0001 \rangle$ 方向长成园钝的端部。

答辨日期 1984 年 9 月 19 日

用计算机分析粉料粒度的数学方法和精铸涂料、 型壳性能的研究

铸造专业研究生 周小平 指导教师 张家骏

本文系统地研究了涂料及型壳性能的影响因素,认为粉料粒度在涂料的各影响因素中占有极为重要的地位,涂料的涂片重(屈服值)对型壳强度和表面质量影响很大,在涂料控制中不可不包括此项内容。

为了进行涂料方面的研究工作,我们分析了粒度沉降法测定中沉降曲线图解法的不足,系统地研究了用电子计算机分析曲线的数学方法,证明了沉降曲线具有光滑保凸的性质。由此证明了在原始数据未加平滑的件下,使解析曲线直接穿过原始数据点得到的插值法数学模型是不合理的,它会导致错误的结果。用多项式对沉降曲线进行拟合计算,也存在类似问题。

通过数学推导,发现了沉降曲线解析方法中粒度分析的误差主要取决于解析沉降曲线的振动情况,测试仪器和人工量取沉降曲线原始数据误差所造成的影响与前者相比占次要地位。经过分析比较和大量的计算机运算,提出了比较合理的解析方法和数学模型,并把整个数值计算过程编入计算机软件。我们把这种沉降曲线的求解方法简称为“Z 方法”。使用 Z 方法对上百条沉降曲线进行计算,并研究了 Z 方法的精度,重复性问题以及该法同它其方法比较的结果都比较圆满。本文还提出将这种方法用于研制带电脑分析系统的沉降法粒度测定仪。

用本文所提供的数学方法和计算机软件分析粉料,不仅简化了分析过程,大大提高了

分析速度，而且成十倍地提高了分析精度。Z 方法具有很好的重复性，计算软件有较完善的功能，操作使用亦很简便。这就使得经济、简便的沉降法粒度分析能达到其它一些使用高级仪器的测试方法相当的水平。

借助上述方法，我们对国内三十个产地的近百种粉料进行了分析试验，提出了表征精铸粉料特点的特征参数——分散方差、重量平均直径和比表面积；研究了粉料粒度对涂料和型壳性能的影响规律，特别分析了粉料粒度分布与涂料配比及型壳表面光洁度的关系，给出了优良面层石英粉料的特征参数范围。

为了弥补传统试验方法的不足，本文提出型壳承载能力——强度试验方法和型壳抗冲击性能试验方法。用这两种方法进行试验，更符合生产中制做型壳的实际情况，更适合在现场使用。可以得到比以往用片状试样强度试验方法得到的强度——配比、粘度等关系更接近真实的结果。特别是明确提出了涂料涂片重对于型壳强度、承载能力和抗冲击能力的影响，为涂料和型壳的控制提供了依据。这两个方法由于试样结构、试验方法合理，因而数据稳定，规律明显，操作使用亦较方便。

本文探讨了精铸件桔子皮缺陷的形成机理，否定了一些不正确或不全面的看法，提出了蜡模在高温硬化液中的膨胀和型壳的硬化收缩是铸件内凹曲面上产生桔皮的根本动力。这样的机理经过了实践的检验，证明可以比较合理地解释各种现象，制定合理的工艺方案，提出防治桔皮缺陷的有效方法。

根据对粉料、涂料、型壳性能的研究结果，我们在北京某厂进行了相当规模的生产验证，推荐了有关涂料和型壳质量控制的方法和工艺规范，并总结了精铸涂料的控制方法。

答辩日期：1984 年 10 月 29 日

烧 结 型 水 基 铸 铁 涂 料 研 究

铸造专业研究生 邵宁 指导教师 于震宗

本研究对烧结型水基铸铁涂料的悬浮剂、耐火填料、渗透剂、涂敷工艺性能及检测方法进行了较全面的探讨，提出了新的理论和概念，研究了新的检测方法和实验方法，试制了新的检测仪器，并在此基础上配制出一些在生产试验中得到良好效果的涂料。

膨润土是铸造涂料常用的悬浮稳定剂，其作用是形成胶体体系，从而在涂料中搭成能够有复原能力的立体网状结构。

以往所用的一系列膨润土质量检测指标从原理上讲都不能反映膨润土在涂料中的结构形成能力，因此研究设计了一种新的检测指标：定浓度膨润土浆的“宾汉剪切稀释比”。经用国内 24 种典型膨润土样品验证，膨润土涂料中的结构形成能力与“宾汉剪

切稀释比”指标有很好的相关性,相关系数大于 0.9;而与其它膨润土检测指标的相关系数均低于 0.5。因此,“宾汉剪切稀释比”确能反映膨润土结构形成能力的差异,可做为涂料用膨润土的质量检测和选用标准。

通过胶体化学理论分析和实验,发现“宾汉剪切稀释比”法所测定的主要流变参数可反映出膨润土浆胶体体系的分散 $\rightleftharpoons$ 絮凝状态变化,故“宾汉剪切稀释比”不但是一个质量指标,而且是一种涂料用膨润土的研究方法。

用该方法研究膨润土的活化和预水化处理,可确定不同膨润土所需的最佳活化量范围和预水化规范;用该方法考察各种电解质对膨润土浆的作用,发现了一系列可用于涂料流变性能调整的处理剂,以增强或削弱涂料中的结构和剪切稀释能力。

涂料与砂芯间的浸润现象是影响涂料涂敷工艺性能的重要因素。由于国内尚无浸润角测定装置生产,试验中改制了一台浸润角测定仪,解决了浸润现象的测定问题。试验中还设计了新的涂料流平性和流淌倾向的模拟测定方法,经实验验证,这两种测定方法数据比较稳定,揭示规律明显,可用于研究这两种涂料工艺性能的影响因素和改善措施。

通过对 29 种具有不同浸润能力涂料的试验,发现浸润现象对涂料涂敷工艺性能有如下影响:浸润是涂料对砂芯渗入的前提性条件,如二者互不浸润,无论其它条件如何,涂料不可能达到足够的渗入深度;浸润是影响涂料层厚度的因素之一,随浸润程度增加而涂料层厚度增大;涂料表面张力降低会使流平性下降,流淌倾向增加,但影响幅度很小。

试验中测定了各种因素对涂料与砂芯间浸润程度的影响,认为改善浸润程度的最好办法是在涂料中加入表面活性剂做为渗透剂。表面活性剂种类很多,根据其在铸造涂料中的吸附特点提出了渗透剂选择的三个标准,并以此在十二种表面活性剂中筛选出较好的涂料渗透剂。

铸造涂料的流变特性极大地影响其涂敷工艺性能,为使涂料的流变特性参数化、定量化、就必须选出合理的流变模型。

以往用来描述铸造涂料流变特性的数学模型有宾汉模式和带屈服值的幂律模式,研究中又引入了双曲模式,卡森模式和罗伯逊模式。经对这些模式在曲线形式、参数合理性及拟合精度三方面的比较,确定其中卡森模式较适合做为铸造涂料的流变模型;同时也指出了卡森模式的不足:缺少一个假塑性参数。

针对卡森模式的缺欠,在对 36 种试验涂料流变数据进行变参数拟合的基础上提出了一种新的流变模型“改进的卡森模式”: $\tau^m = \tau_{0k}^m + \eta_{\infty}^m \dot{\gamma}^m$,该模式的曲线形式合理,流变参数完整,拟合精度也更高,可做为铸造涂料流变特性的数学模型。根据改进的卡森模式的指数方程特点,给出了曲线拟合法和近似迭代法两种解算方法,设计了拟合程序,推导出近似迭代公式。

耐火填料是铸造涂料中最重要的、起抗粘砂作用的组份。以往铸铁中小件用耐火填料多为石墨粉,大型铸铁件多用锆英粉,但石墨粉严重污染环境,锆英粉价格较高,而且它们的浇注效果也有待于提高。

根据铸铁用烧结型涂料的特点,详细讨论了烧结型涂料的抗粘砂机理,提出了烧结试验和模拟浇注试验的试验方法,指出了填料起始烧结温度和烧结温度范围两个概念在烧结型涂料研制中的重要意义,发现了几种有效的烧结型涂料脱壳剂,并探讨了脱壳剂的作用机理。

根据新的试验方法,研究了长石粉和锆英粉两个烧结型填料体系,在几百个配方试验的基础上,设计出在工厂小批生产试验中取得良好效果的涂料配方。其中 CL-3 配方为长石——铝矾土二元白色烧结型涂料,该涂料成本低,浇注效果好,可代替石墨粉用于一般铸铁中小件生产;GC-1 配方为锆英粉——长石二元白色烧结型涂料,该涂料成本低于一般的锆英粉涂料,而浇注效果高于后者,可用于大型铸铁件生产。

答辩日期:1984 年 10 月 30 日

轴承环温冷挤压最佳制坯工步和下料方法 的 试 验 研 究

压力加工专业研究生 童隆长 指导教师 王祖唐

轴承是机械工业的基础部件。目前国内生产轴承套圈毛坯大都采用比较落后的热剪下料和热锻工艺,因此,轴承行业普遍存在成本高,质量差,材料利用率低,能源消耗大等问题。

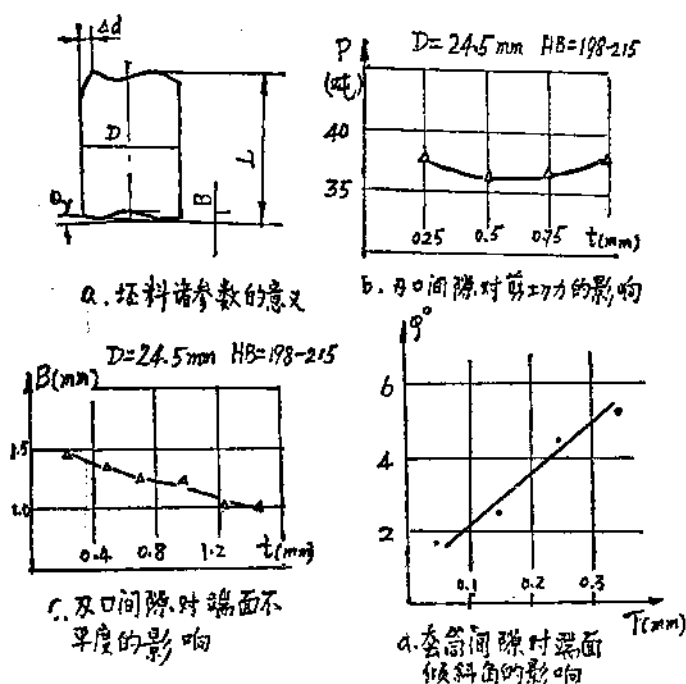
试验证明,用环形毛坯复合冷挤压轴承环塔形件,能大大降低挤压力,是很有发展前途的轴承环生产新工艺。为使温冷挤压轴承环的新工艺能正式投产,对下料方法和制坯工步进行了试验研究。

用双个剪切方法在室温下进行下料的结果见表一。试验证明,双个剪切的生产效率

表一 双个剪切下料试验结果

热处理 状态	硬度 HB	剪切 位置	直径 D (mm)	长度 L (mm)	刃板间隙 t (mm)	套筒间隙 T (mm)	剪切力 P (吨)	单位压力 p (kg/mm ²)	不平度 B (mm)	压塌量 Δd (mm)	倾斜角 φ°
退火	213	前端	25.0	34.9	1.3	0.15	41.4	42.2	1.1	1.5	2°30'
退火	209	中间	25.0	34.8	1.3	0.15	41.4	42.2	1.1	1.3	1°40'
正火	329	前端	24.9	35.7	0.65	0.25	58.0	59.6	1.2	0.5	4°0'
正火	321	中间	24.9	34.8	0.65	0.25	58.0	59.6	0.3	0.7	0°10'

高一倍，而剪切力的增大小于一倍，适用于退火态棒料。影响剪切质量的主要因素是刃口间隙和棒料公差，如图一所示，情况与单个剪切相同。



图一 下料试验结果示意图

轴承钢的热轧态料价格低，生产上使用最广。这种料硬度高，塑性差，可以在切口效应下加载折断。本文对四种切口形式，三种加载方式和不同的切口深度进行了热轧态和正火态轴承钢料的冷折试验。结果表明：（1）冷折力远小于同样棒料的剪切力，（2）切口形式和深度对折断质量影响较小，（3）冷折方法适用于较大的硬度范围，（4）影响折断质量的最重要因素是加载方式。在恰当的加载条件下，坯料可达到较高的精度。其精度指标见表二。

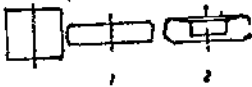
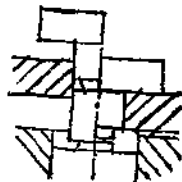
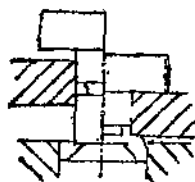
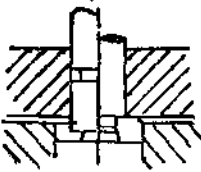
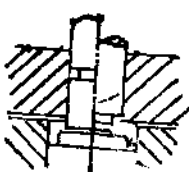
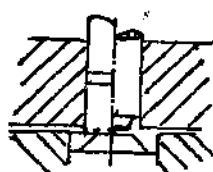
表二 冷折端面的精度指标

端面不平度 B	端面倾斜角 φ	端面压塌量 Δd	切口形式及深度
0.35	$1^{\circ}0'$	0.2mm	单边锯口 1.4mm

对制备环形毛坯的方法进行了六种不同方案的试验研究。各种方法的变形过程见表三，试验结果见表四。

试验表明，用镦粗冲孔联合的方法制坯，可以大大降低变形压力，使温冷挤压轴承钢时的模具强度和设备容量问题得到解决。另外，这个方法利用模具对中，所得坯料几乎不产生椭圆，终挤单位压力比普通坯形低 17.4%，因此是最佳的制坯方法。

表三 六种制坯方案的变形过程

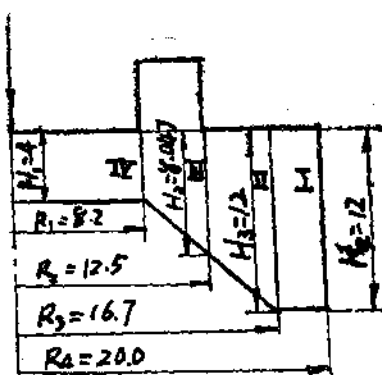
序 号	1	2	3
变形方式	镦 饼 后 冲 孔	镦粗和冲孔联合	镦粗和冲孔联合
变形过程			
序 号	4	5	6
变形方式	径 向 挤 压	径 向 挤 压	径 向 挤 压
变形过程			

表四 制坯试验结果

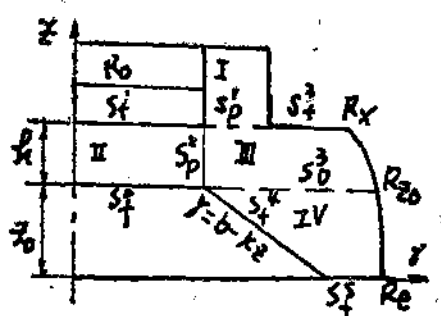
序号	制坯缺陷	最大单位压力(kg/mm ²)				q/σ_s				终挤效果
		铅	铝	20钢	GCr15钢	铅	铝	20钢	GCr15钢	
1	无	6.91	52.4	—	260	3.70	3.13	—	2.96	合格
2	汇流折纹	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	无	2.49	19.3	76.0	129	1.33	1.30	1.12	1.33	合格
4	汇流折纹	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	无	8.05	55.0	—	—	4.3	3.72	—	—	外圈塌角
6	无	4.27	40.6	—	—	2.79	2.75	—	—	合格

为了分析变形过程，在剖分试样上，用密栅云纹和逐次压下的网格变形搞清了每种方案的变形特点，缺陷的产生和原因。

对镦粗冲孔联合的制坯工步用主应力法和上限法进行了分析。用主应力法计算时将工件按图二所示分区，所得各区变形力计算公式为



图二 主应力法计算的分区



图三 上限法计算的分区

$$P_I = \sigma_s \pi (R_4^2 - R_3^2) \left[1 + \frac{2\mu R_4}{H_4} - \frac{4\mu (R_4^3 - R_3^3)}{3H_4 (R_4^2 - R_3^2)} \right]$$

$$P_{II} = \sigma_s \pi (R_3^2 - R_2^2) \left\{ \left[1 + \frac{2\mu (R_4 - R_3)}{H_4} \right] - \frac{\beta_{II}}{\tan \alpha} \ln H_3 + \right. \\ \left. + \frac{2\beta_{II}}{\tan^3 \alpha (R_3^2 - R_2^2)} \left[\frac{H_3^2 \ln H_3 - H_2^2 \ln H_2}{2} - \frac{H_3^2 - H_2^2}{4} - (H_3 - R_3 \tan \alpha) \right. \right. \\ \left. \left. (H_3 \ln H_3 - H_2 \ln H_2) + (H_3 - R_3 \tan \alpha) (H_3 - H_2) \right] \right\}$$

$$P_{III} = \sigma_s \pi (R_2^2 - R_1^2) \left\{ \left[1 + \frac{2\mu (R_4 - R_3)}{H_4} \right] + \frac{\beta_{II}}{\tan \alpha} \ln \frac{H_2}{H_3} - \frac{\beta_{III}}{\tan \alpha} \ln H_2 + \right. \\ \left. + \frac{2\beta_{III}}{\tan^3 \alpha (R_2^2 - R_1^2)} \left[\frac{H_2^2 \ln H_2 - H_1^2 \ln H_1}{2} - \frac{H_2^2 - H_1^2}{4} - \right. \right. \\ \left. \left. (H_2 - R_2 \tan \alpha) (H_2 \ln H_2 - H_1 \ln H_1) + (H_2 - R_2 \tan \alpha) (H_2 - H_1) \right] \right\}$$

$$P_{IV} = \sigma_s \pi R_1^2 \left[1 + \frac{2\mu (R_4 - R_3)}{H_4} + \frac{\beta_{II}}{\tan \alpha} \ln \frac{H_2}{H_3} + \frac{\beta_{III}}{\tan \alpha} \ln \frac{H_1}{H_2} + \frac{2\mu R_1}{3H_1} \right]$$

总变形力 $P = \sum_{i=1}^IV p_i$ 利用上述公式求出的冲头单位面积压力为 $\frac{q}{\sigma_s} = \frac{P}{A\sigma_s} = 1.14$

在上限法的分析中，将工件划分4个区域，如图三所示。设各区的动可容速度场分别为：

区域 I：

$$\begin{cases} u^I = 0 \\ v^I = -1 \end{cases}$$

区域Ⅱ：

$$\begin{cases} u^{\text{II}} = \frac{3Ar}{4h} [1 - 4(z - z_0 - h/2)^2/h^2] + (1-A)r/2h \\ v^{\text{II}} = -\frac{3A}{2h} [z - 4(z - z_0 - h/2)^2/3h^2 - (z_0 + h/6)] - (1-A)(z - z_0)/h \end{cases}$$

区域Ⅲ：

$$\begin{cases} u^{\text{III}} = \frac{r}{2(z_0 + h + B)} + \frac{1}{r} \left\{ [1 - 4(z - z_0 - h/2)^2/h^2] \frac{3AR_0^2}{4h} + (1-A)R_0^2/2h - \frac{R_0^2}{2(z_0 + h + B)} \right\} \\ v^{\text{III}} = -\frac{z + B}{z_0 + h + B} \end{cases}$$

区域Ⅳ：

$$\begin{cases} u^{\text{IV}} = \frac{z_0 + B}{2z_0(z_0 + h + B)} \left[r + \frac{(b - kz)(3kz - b)}{r} \right] \\ v^{\text{IV}} = -\frac{(z_0 + B)z}{z_0(z_0 + h + B)} \end{cases}$$

各区的应变速率为：

区域Ⅰ：

$$\dot{\epsilon}_{ij}^{\text{I}} = 0$$

区域Ⅱ：

$$\begin{cases} \dot{\epsilon}_r^{\text{II}} = \frac{3A}{4h} [1 - 4(z - z_0 - h/2)^2/h^2] + (1-A)/2h \\ \dot{\epsilon}_\theta^{\text{II}} = \frac{3A}{4h} [1 - 4(z - z_0 - h/2)^2/h^2] + (1-A)/2h \\ \dot{\epsilon}_z = -\frac{3A}{2h} [1 - 4(z - z_0 - h/2)^2/h^2] - (1-A)/h \\ \dot{\gamma}_{rz} = -6Ar(z - z_0 - h/2)/h^3 \end{cases}$$

区域Ⅲ：

$$\begin{cases} \dot{\epsilon}_r^{\text{III}} = \frac{1}{2(z_0 + h + B)} - \frac{1}{r^2} \left\{ \frac{3AR_0^2}{4h} [1 - 4(z - z_0 - h/2)^2/h^2] + (1-A)R_0^2/2h - R_0^2/2(z_0 + h + B) \right\} \\ \dot{\epsilon}_\theta^{\text{III}} = \frac{1}{2(z_0 + h + B)} + \frac{1}{r^2} \left\{ \frac{3AR_0^2}{4h} [1 - 4(z - z_0 - h/2)^2/h^2] + (1-A)R_0^2/2h - R_0^2/2(z_0 + h + B) \right\} \\ \dot{\epsilon}_z^{\text{III}} = -\frac{1}{(z_0 + h + B)} \\ \dot{\gamma}_{rz}^{\text{III}} = -\frac{6AR_0^2(z - z_0 - h/2)}{rh^3} \end{cases}$$

区域Ⅳ:

$$\begin{cases} \dot{\epsilon}_r^{\text{IV}} = \frac{(z_0 + B)}{2z_0(z_0 + h + B)} \left[1 - \frac{(b - kz)(3kz - b)}{r^2} \right] \\ \dot{\epsilon}_\theta^{\text{IV}} = \frac{(z_0 + B)}{2z_0(z_0 + h + B)} \left[1 + \frac{(b - kz)(3kz - b)}{r^2} \right] \\ \dot{\epsilon}_z^{\text{IV}} = -\frac{(z_0 + B)}{z_0(z_0 + h + B)} \\ \dot{\gamma}_{rz}^{\text{IV}} = \frac{(z_0 + B)}{2z_0(z_0 + h + B)} \cdot \frac{(4kb - 6k^2z)}{r} \end{cases}$$

速度不连续线上的剪切功率为:

$$Ws_D^1 = \pi K \left\{ \frac{(12.5^3 - R_0^3)}{3(z_0 + h + B)} + [(1 - A)R_0^2/h - R_0^2/(z_0 + h + B)](12.5 - R_0) \right\}$$

$$Ws_D^2 = 2\pi R_0 K \left\{ \frac{(z_0 + h + B)^2 - (z_0 + B)^2}{2(z_0 + h + B)} - \frac{3A}{4h} [(z_0 + h)^2 - z_0^2] + \right. \\ \left. + \frac{3A}{2} (z_0 + h/6) - (1 - A)h/2 \right\}$$

$$Ws_D^3 = \pi K \left\{ -\frac{B(R_0^3 - R_0^3)}{3z_0(z_0 + h + B)} + \left[(1 - A)R_0^2/2h - R_0^2/(z_0 + h + B) - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{(z_0 + B)(b - kz_0)(3kz_0 - b)}{z_0(z_0 + h + B)} \right] (R_0 - R_0) \right\}$$

摩擦功率为:

$$W_f^1 = W_f^2 = \pi m K (1 - A) R_0^3 / 3h$$

$$W_f^3 = \pi m K \left\{ \frac{(R_K^3 - 12.5^3)}{3(z_0 + h + B)} - [(1 - A)R_0^2/h - R_0^2/(z_0 + h + B)](R_K - 12.5) \right\}$$

$$W_f^4 = 4\pi m K (z_0 + B) (bz_0/2 - kz_0^2/3) / (z_0 + h + B)$$

$$W_f^5 = \pi m K \frac{(z_0 + B)}{z_0(z_0 + h + B)} \left[\frac{R_s^3 - b^3}{3} - b^2(R_s - b) \right]$$

总变形力

$$P = \sum_{k=1}^{\text{IV}} \sigma_s \oint_{V_k} \sqrt{\frac{2}{3} \dot{\epsilon}_{ij}^k \dot{\epsilon}_{ij}^k} dV + \sum_{k=1}^3 Ws_D^k + \sum_{k=1}^5 W_f^k$$

在计算机上用数值方法求解上式, 并使 P 对参数 A, B 取极小值, 求得冲头单位面积压力 $q/\sigma_s = 1.42$ 。计算值与试验值符合得较好。

试验研究结果为今后轴承环温冷挤压工艺正式投产提供了可靠的依据。

答辨日期: 1984 年 10 月 9 日

空间板壳系结构有限元—形状优化设计

压力加工专业研究生 王兆祥 指导教师 郭和德

目前,国内外学者在结构优化方面已经做了大量的工作,其中对于杆系、板系结构的尺寸优化和杆系的几何形状优化的研究已趋于成熟,而在二维、三维实体及空间板壳系的形状优化方面还存在着许多问题,这方面的工作大多数还是处在理论探讨阶段,能够看到的真正有实用价值的文章和程序很少,且都带有较大的局限性,国外少数公司研制了这方面的程序,但都处于严格保密阶段。

对于空间板壳系结构,其形状优化设计比尺寸和参数优化设计要难得多,它所包含的内容更多、更复杂,对其有关程序效率的评价已不能只从优化方法本身来考虑,而必须把它视为一个数值计算系统,全面的综合的考虑其质量和价值。

本文提出了一个对空间板壳系结构进行形状优化设计的总的算法,编制了FSOSPSS程序系统。FSOSPSS程序系统由四个模块组成,即优化方法模块、空间板壳系有限元法模块、空间板壳系结构有限元分析的前处理模块和求结构重量、应力及位移对于设计变量的梯度模块。每个模块都是为“形状优化系统”而专门编制的,在程序的编写过程中,从系统的角度相互出发,综合地考虑了各个模块的单独执行情况对系统总体执行情况和效率的影响,考虑了各个部分之间信息的传递和相互借用,考虑了各个部分之间的联系和相互依赖关系,从而使程序的总体计算效率达到较高的水平。FSOSPSS程序系统的这四个模块都可以作为独立的程序单位单独使用。

FSOSPSS程序系统广泛采用了栈、队、链、树和图式数据结构。还采用了树式和图式数据结构的混合数据结构,从而在一定程度上解决了树式数据结构的访问效率和图式数据结构的内存需要量问题。

本文中基于Kuhn-tucker准则的准则法和以数学规划为基础的梯度投影法加以改进,并通过交互式作业方式将其有机的结合起来,建立了一种综合性的优化方法,从例题来看其使用的效率和可靠性是能令人满意的。其中的准则法引入了以数学规划为基础的最速下降步,从而在一定程度上解决了传统准则法中求拉格朗日乘子时常出现的问题,大大改善了其收敛特性。在本文提出的改进的梯度投影法中,根据空间板壳系结构形状优化问题的特点,对不同的约束分别进行处理,这大大减少了作为隐式处理的约束数目,而作为隐式处理的约束数目是该法执行效率的最重要的影响因素,因而大大的提高了其计算的效率,也使准则法和梯度投影法所要求的约束形式得以统一,使它们之间的结合成为可能。

在有限元法模块中,建立了一种能根据板壳单元的厚度特征和结构的类型自动改变高斯点位置的单元模式,这种单元既适用于厚板壳又适用于薄板壳结构,对于厚、薄板壳的混合体,不需引入任何过渡单元,就能有效的进行结构分析,这种单元的的优点在带有厚度变量的优化问题中特别明显。此外,这种单元求刚度矩阵的计算量较少。本

文中有限元法模块中采用波前法来求解刚度方程,从而大大减少了程序的内存需要量。

FSOSPSS 程序系统中的有限元分析前处理模块包括如下功能: ① 合理地描述形状的功能; ② 有限元网格的自动划分功能; ③ 各种载荷信息的自动生成功能; ④ 各种结点约束信息的自动生成功能; ⑤ 单元厚度信息自动生成功能; ⑥ 结点虚刚度信息自动生成功能。其中,形状的描述采用超单元法,而功能 ⑤ 和功能 ⑥ 是目前国内所有能用于空间板壳系结构的有限元前处理程序(包括从国外引进的程序中)所不具备的,而对于这类结构的形状优化程序,功能 ⑥ 是必不可少的。

本文提出了一种用半解析法求结构重量、应力及位移对于设计变量的梯度的算法——二次波前法,这种算法求梯度可以大大减少计算中的舍入误差,具有较好的数值稳定性和计算精度,这种算法所需的内存量较少,在求梯度的过程中借助了许多结构分析时已经形成的信息和数据,并节省了大量的零运算,因此其所需的计算量也是较少的,一般为一次完整结构分析的 5~30%。此外,对于这种算法,形成单元刚度矩阵的计算量是影响其效率的最重要因素,当把它与本文中建立的单元模式配合使用时,可使总体计算效率大大提高。

本文还编制了自动绘制各个角度的结构网格图和结构形状示意图的程序,可以通过各个角度的轴视和透视网格图及形状示意图来检查初始输入数据是否正确,并直观形象地了解整个设计过程中形状的改变情况和有限元结构分析网格形态的改变情况。

FSOSPSS 程序系统具有较强的通用性,适用于空间板系结构、轴线为任意方位的柱壳结构和一般二次曲壳结构,对于其它的曲壳结构也可以做粗略的分析。

本文通过一些考题和算例对程序进行了考核,通过考核证明了该程序是正确的和比较有效的。

答辩日期: 1984 年 10 月 27 日

QH—ARC CO₂ 焊 接

焊接专业研究生 陈强 指导教师 张人豪

本文提出了一种新型的 CO₂ 焊接方法,称为 QH—ARC CO₂ 焊接法。试验研究表明,它克服了以往 CO₂ 焊接电源的局限。采用阶梯形外特性的晶体管电源,在等速送进焊丝情况下,电弧工作点处于恒流状态,同时还能保持稳定的弧长。本焊接法摆脱了常规 CO₂ 焊接短路过渡的传统,特殊的电源外特性控制了电弧中熔滴的长大速度,熔滴直径在小于三倍焊丝直径的尺寸下,以颗粒和短路交替的方式沿着轴线方向过渡到熔池中去。

QH—ARC CO₂ 焊接的原理为: 焊丝与工件的短路不再是为了实现熔滴过渡,更主要的是用以平衡送丝速度和金属过渡速度,从而使电弧同时兼有恒流电弧的良好弹性以及类似于恒压电弧的弧长动态自调灵敏度。由于阶梯形外特性中维弧电流和给定电压