

机械工业

基础工艺成果及应用文集 (二)

机械电子工业部科技司

一九九二年

机械工业

基础工艺成果及应用文集

机电部沈阳铸造研究所

机电部北京机电研究所

机电部哈尔滨焊接研究所

江苏工业学院图书馆

机电部北京机电研究所

藏书章

前 言

工艺技术是产品的加工方法和手段,是最活跃的生产力,是衡量机械工业水平的重要标志。先进的工艺技术是提高和改造传统工业的有力手段和发展高新技术产业的重要基础和有力的保证;工艺水平是机械产品制造和自主开发能力的主要标志,是产品质量,可靠性和新产品开发的主要制约因素。它直接决定了机械工业劳动生产率、材料和能源消耗、经济效益和环保状况。

基础工艺技术,如铸造、锻压、热切割和焊接、热处理、表面保护、切削加工等尤为重要,它复盖面大,是各类机电产品赖以发展的基础。在“七五”工艺攻关和开发课题的设置中,结合国家重点工程项目,重大技术装备研制中的关键零部件的制造,安排了上述六类工艺中具有共性和复盖面大的专题研究项目,从基础研究入手,有工艺方法和装备,有主辅机,有软硬件和检测,控制系统,进行配套开发。同时也安排了一些计算机应用项目,进行优化工艺研究和提高工艺过程的控制水平。在攻关和技术开发的实施中,坚持科研与生产紧密结合,以提高产品制造质量为主要目的,兼顾节能降耗,提高效率。攻关和开发成果,均先后用于生产,其中有的项目进行了推广,取得了明显的技术经济效益。这些成果对机械产品品种发展和零部件生产的优质、高效、可靠起到了推动作用,为企业技术开发和技术改造,提供了先进实用的新技术,增强了产品出口竞争能力,也部分地档住了进口。

这本“七五”工艺成果及生产应用,可作为企业工艺上水平的重要技术参考资料,其中大部分项目具有广泛地推广价值。该书对机械工业技术改造和提高工艺水平具有指导作用。

该书由蒋乃隆任主编,郭春生、闵乃燕、孙兆金同志任付主编。参加编写的有沈阳铸造研究所、哈尔滨焊接研究所、北京机电研究所、武汉材料保护研究所、北京机床研究所等单位的主管“七五”攻关项目组织实施的同志。由“七五”攻关和开发分专题研究的项目负责人供稿。分二册印刷出版,第一册内容为铸造,锻压和焊接专业,第二册内容为热处理,表面保护和切削加工专业。编写若有不妥之处,请读者提出宝贵意见。

负责各专业的责任编辑:—

铸造:孙兆金(兼) 杨志坚

锻压:闵乃燕(兼) 贾武章

焊接:何瑞芳 刘天佑

热处理:张永安

表面保护:宋雁秋 林力

切削加工 李世铎 赵长海

综 述

在“七五”国家攻关和开发计划中,安排了铸造、锻压、焊接与热切割、热处理、材料表面保护、切削加工等六类基础工艺研究项目。通过技术攻关,在工艺方法、工艺装备、工艺材料、工艺过程检控等方面,取得了一系列重大科研成果,对提高机械工业制造水平,对实现重大技术装备和引进产品国产化,对实现机械工业质量、品种、效益年都具有重大意义。在技术攻关中,集中了国内各科研单位、大专院校、企业中在基础工艺方面的科技优势力量,联合作战,在科研经费较少的情况下,取得了一大批重要科研成果。“七五”攻关共取得80项成果,含7项发明专利,33项新产品。成果中3项达到国际领先水平,30项达到国际八十年代先进水平,26项达到国际水平,21项为国内领先水平。在开发中共取得40余项成果,分别为国际水平或国内先进水平。这些新技术为企业技术改造提供了新技术,增强了产品出口竞争能力,使部分关键零部件实现了国产化。据不完全统计,成果在生产考核中已取得效益1.6亿元,节汇780万美元。预计推广年效益可达17亿元,节汇上亿美元。

工艺攻关开发紧密结合生产,以提高制造质量为目的,兼顾节能降耗,提高生产效率,从基础工艺研究入手,有主辅机、有软硬件和原辅材料、检测、控制系统的配套开发,在铸、锻、焊、热处理中也安排了计算机技术应用研究,做到优化工艺,提高工艺过程控制水平。

针对基础工艺中毛坯质量差,肥头大耳,生产效率低等问题:

1.研究了铸造毛坯精化技术,提供了柴油机缸体、缸盖、液压件等大批量生产的铸件和电站用水轮机叶片、汽轮机缸体等大型铸钢件用级配砂、型砂质量微机控制、高碳当量薄壁铸造、冷壳型等铸造成套技术,低碳马氏体不锈钢叶片强化技术和大型铸钢件工艺CAD系统,并开发了球墨铸铁及耐磨、耐蚀、耐热特种易损铸件新材质及其生产制造新技术等。

2.研究了精密下料及锻压成型技术。提供了汽车、拖拉机用变截面板簧、十字轴、钢质齿环、轴承等中小型精密锻压成型和异形件分模锻造技术,轴承精密下料、精密辗压技术,并应用大锻件热力模拟和物理模拟方法,优化锻造工艺,达到了消除铸造疏松,改善夹杂分布,提高锻造质量的目的。并开发了新型耐火纤维、节能锻造加热炉、不对称楔横轧生产线及部份工艺辅助材料等。

3.结合电站及冶金设备的焊接质量问题,开发了熔深大、飞溅小、焊缝成形好的少氢和新型 CO_2 气体保护焊技术;四种节能微机控制的电源及设备;水平圆形及直线焊缝窄间隙埋弧焊技术,实现了弧焊规范参数预置和自动控制、自动跟踪、自动排焊道,计算机辅助弧焊优化工艺,提高了焊接质量,使焊接效率提高50~100%。水平直焊缝窄间隙埋弧焊机在哈尔滨锅炉厂投入使用,实现了30万、60万瓩锅炉汽包生产国产化。开发了部份焊条、焊丝、焊剂及切割直线坡口用各种小型半自动切割机、数控火焰切割用自动点火、自动调节装置等。

4.针对各类齿轮及齿轮刀具,研究了少无氧化、少无脱碳热处理技术,解决了齿轮深层渗碳技术,可控气氛和真空热处理技术,研制成功大型重载齿轮用国内最大的井式气体渗碳

炉,实现了渗碳过程微机控制,碳势控制精度 $\leq 0.05\%C$,温度精度 $\leq \pm 2.5^{\circ}C$,零件表面无碳黑;高压真空气淬技术、熔盐渗钛技术,解决了齿轮刀具强韧化处理技术,刀具寿命提高50~200%。开发了部份工艺、辅助材料。

5. 针对几种大口径阀门工业泵、大型风机的关键零件不耐磨、蚀和出口机床、农机产品涂装质量差等问题,研究了电弧喷涂、火焰喷涂与重熔技术,陶瓷、金属陶瓷等离子喷焊技术,提供了长效防蚀涂层,耐磨合金涂层工艺技术。提高了大型风机、泥浆泵等磨损件的耐磨性;中压铸钢阀门、低压铸铁阀门、蝶阀等大口径阀门密封面耐磨性及电站风机及酸、碱泵的耐磨,耐蚀性。开发了高装饰性涂装预处理工艺材料、工装控制、检测仪成套技术。开发了部分电镀及化学热处理新工艺及其辅助材料。

6. 针对机床测量仪的精密、超精密轴系、液压件等精密深孔和泵阀耐磨件,研究了不同用途,不同结构的轴系(球面空气静压轴系、球面液体静压轴系、“T”型空气静压轴系、导轨磨轴系、双球密珠滚动轴系及变速内圆磨头轴系)。使超精密轴系回转精度达到0.02微米,精密轴系达0.5~0.6微米;进一步深入研究了汽轮机大螺栓、柴油机偶件及大批量生产的精密深孔加工用枪钻及振动钻削技术,DF钻,喷射钻工艺,枪钻—珩磨配套工艺,解决了 $\phi 4\sim\phi 50mm$, $L/D>30\sim 100$,合金钢精密深孔加工精度达IT7—IT8;研究的新刀具及难加工材料加工工艺,解决了表面强化的耐磨,耐蚀零件的加工难题,表面粗糙度达 $Ra3.2\mu m$ 。开发了适于汽车、拖拉机圆柱齿轮内齿珩轮珩磨和注塑螺杆强力磨削等高效工艺。

通过“七五”国家重点攻关开发,取得了上述一些工艺成果,但基础工艺仍然是机械工业最薄弱环节。近年国家每年要花200多亿美元购入机械产品,除设计问题外,更主要问题在于我国机械制造工艺技术落后。因此“八五”期间除要抓好上述成果的生产应用外,还要力争安排好“七五”部份项目的配套技术研究及二次开发,以及国家重点工程重大成套项目共性新工艺的一次开发,特别是微电子、计算机等新技术在基础工艺中应用技术的攻关开发,为迅速提高制造工艺水平,提高产品质量,扩大产品品种,挡住进口,提高经济效益建立必要的技术基础。建议国家加大对机械工业基础工艺的科研投入,以扭转每年耗资200多亿美元购买国外产品的被动局面。

目 录

热处理

电阻法微机控制气体渗碳装置的研究及应用	(1)
大型重载齿轮深层渗碳工艺及其成套技术的研究及应用	(6)
真空渗碳技术的研究及应用	(14)
高压气冷真空淬火设备和工艺的研究及应用	(21)
熔盐渗钛工艺的研究及应用	(28)
真空离子渗碳技术的研究及应用	(32)
高频感应冲击淬火技术的研究及应用	(40)
大锻件温度场计算与组织性能预测技术研究及应用	(45)
PAS—1 聚合物水溶性淬火介质的研究及应用	(52)
新型ZW中温、GW 高温加热用复合盐的研究及应用	(59)
防渗铬、铝、硼涂料的研究及应用	(63)
硼砂熔盐渗硼、渗金属残盐清洗剂的研究及应用	(68)
二号渗碳油的研究及应用	(75)

表面保护

大型风机外壳电弧喷涂及涂层封闭工艺与材料的研究及应用	(81)
高效电弧喷涂成套装置的研究及应用	(86)
泵柱塞粉末火焰喷涂及涂层感应重熔工艺、材料与喷枪的研究及应用	(95)
泥浆泵缸套粉末火焰喷焊工艺与材料的研究及应用	(101)
大口径铸钢中压阀门密封面等离子喷焊铁基合金材料与工艺研究及应用	(107)
大口径铸铁低压阀门密封面等离子喷焊铜基合金粉末材料与工艺研究及应用	(115)
大口径铸铁蝶阀密封面等离子喷焊铁基合金材料与工艺研究及应用	(124)
微机控制等离子喷焊设备的研究及应用	(132)
等离子喷涂复合陶瓷涂层研究及其在柱塞等产品上的应用	(138)
风机叶轮等离子喷涂金属陶瓷涂层材料、工艺的研究及应用	(148)
PA 系列高效节能涂装前处理工艺的研究及应用	(153)
90系列高效节能前处理工艺研究及应用	(159)
磷化槽液自动监控方法研究及应用	(161)
阴极电泳工艺与超滤膜的研究及应用	(165)
高装饰性面漆和涂装工艺的研究及应用	(169)
耐候农机面漆的研究及应用	(172)

GY 型一次成型桔纹面漆的研究与应用	(174)
高装饰性耐海洋大气腐蚀涂层研究及应用	(176)
电动式高压无气喷涂系列化设备的研制及应用	(181)
高压无气静电喷涂设备的研制及应用	(187)
漆膜性能测定标准仪器的研制及应用	(193)
HN625高耐蚀耐磨镍磷合金化学镀工艺的研究及应用	(198)
新型多层镀镍添加剂及镀层性能研究	(202)
高耐蚀锌—铁合金电镀及镀层后处理工艺的研究及应用	(208)
湿热环境典型机电产品腐蚀防护工艺对策研究及应用	(214)
高耐蚀镀锌层钝化工艺研究及其应用	(220)
酸泵机械密封摩擦副热喷涂材料与工艺研究及应用	(226)

切削加工

超精密轴系制造技术研究及应用(球面空气静压)	(236)
超精密轴系制造技术研究及应用(球面液体静压)	(240)
“T”型空气静压超精密轴系制造技术	(245)
精密机床轴系制造及降低波纹度技术的研究及应用	(248)
高速内圆磨头GDZ90A制造技术研究及应用	(257)
高速内圆磨头4SD60制造技术研究及应用	(266)
动静压内圆磨头制造技术研究	(273)
双球式密珠滚动轴系制造技术研究	(281)
($\phi 15 \sim \phi 38.1$) 汽轮机大螺栓精密深孔加工工艺研究及应用	(286)
汽轮机大螺栓精密深孔加工工艺的研究与应用	(290)
柴油机精密偶件重点工艺研究及应用	(295)
大批量精密深孔加工工艺研究及应用	(301)
大批量生产精密深孔加工工艺研究及应用	(306)
杂质泵过流部件的精密机械加工工艺的研究和应用	(310)
喷涂焊耐磨零件的精密机械加工工艺的研究和应用	(318)
喷涂焊耐磨零件的精密机械加工技术的研究	(326)
电站设备关键耐磨零件切削工艺及专用刀具的研究及应用	(332)
内啮合珩齿工艺的研究及应用	(338)
螺杆外圆深切缓进给磨削研究及应用	(344)
砂带磨削工艺的试验研究及应用	(349)

电阻法微机控制气体渗碳装置的研究及应用

承担单位：西安交通大学

一、前言

气体渗碳是热处理主要工艺之一，全国现有一万五千多台气体渗碳炉担负着各类零件的渗碳热处理任务。渗碳质量的优劣，严重影响零件的使用寿命，保证渗碳质量的关键在于精确控制渗碳温度和炉气碳势。近四十年来国内外对渗碳炉气碳势的控制方法进行了深入的试验研究，目前国外气体渗碳炉气碳势控制大都用氧探头或红外仪；少数采用多参数微机控制。由于渗碳气源成份和渗碳工况较稳定，采用上述碳势控制方法效果尚好。我国绝大多数气体渗碳炉均无碳势控制装置，少数采用氧探头或红外仪控制碳势，由于我国气体渗碳炉大都是周期作业的井式炉，滴注甲醇和煤油进行渗碳，炉气成份和渗碳工况很不稳定。密封箱式多用炉和连续作业气体渗碳炉所用吸热式气源丙烷的成份也没有严格的保证。因此，采用上述方法控制炉气碳势的精度很不理想，尤其是重现性差。如何结合我国气体渗碳的工艺设备条件，研究适合我国实际情况的气体渗碳碳势控制技术是十分迫切的重要课题。

二、成果主要内容及水平

该研究在国内首先研制成功电阻法控制碳势技术及装置，填补了我国用直接法控制碳势的空白。电阻法微机控制渗碳装置经工厂实际生产考验证明：装置设计合理，性能稳定可靠，测量和控制碳势精度高，达到 $\leq \pm 0.03\% \sim 0.05\% \text{C}$ ，控温精度高，炉温稳定度达到 $\leq \pm 1 \sim 2.5^\circ\text{C}$ ，系统稳定性好，抗干扰能力强。实现了电阻法微机自动控制气体渗碳工艺过程，提高了渗碳质量，缩短了渗碳周期，节约能耗，取得了显著的经济效益和社会效益。该项成果在国内处于领先地位，达到八十年代末的国际先进水平。同时，该成果特别适用于我国气体渗碳的工艺设备条件，已初步实现商品化生产，可推广使用。此外，电阻法微机控制渗碳装置已由国家科委、物资部等单位联合评定为1990年度国家级新产品。

1. 电阻法控制碳势的原理及优缺点

电阻法是目前唯一能够直接连续测量与控制碳势的方法。其原理是：将一根很细的铁直接置于渗碳炉气中，细铁丝在一定渗碳温度下处于单相奥氏体状态下的电阻值随其碳含量呈线性变化，即 $R = f(C\%)$ 。细铁丝随着炉气碳势的变化被迅速渗碳或脱碳，与炉气碳量达到相对平衡状态。根据细铁丝电阻值的变化，即可连续测量与控制炉气碳势。细铁丝的电阻值还与温度有关，即 $R = f(C\%, t)$ 。根据试验和计算可求出炉气碳势（ C_p ）——炉电（ t ）——电阻值（ R ）三者之间的关系，如图1所示。

电阻法直接反映了炉气综合反应后活性碳原子的渗碳能力，与目前用作标定炉气碳势温钢箔法有等效性。电阻法不受炉气反应平衡程度的影响，对渗碳工况（如装炉量、炉子密封的

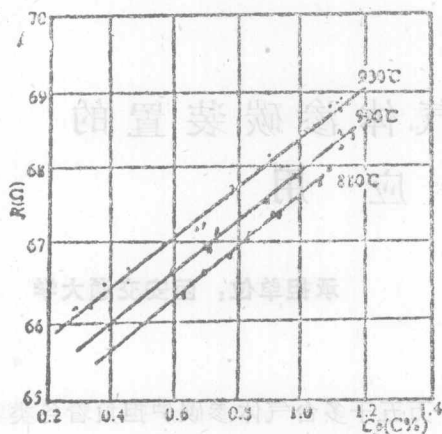


图 1 在不同温度下, 炉气碳势与探头电阻值的对应关系

控制炉气碳势的极限值随渗碳温度的升降而增减。此外, 炉中若有氧化性或腐蚀性气氛, 则细铁丝会受到氧化或腐蚀变质而不能使用, 因此电阻探头应在排气后期插入炉内, 以免细铁丝被氧化。若炉气中炭黑沉积在细铁丝上造成短路也将影响其准确性。

尽管电阻法尚存在上述缺点, 但电阻法在大多数渗碳条件下, 均能直接准确地测控炉气碳势, 而且电阻法测控碳势装置的结构比较简单, 价格低廉。作者认为采用电阻法测控碳势是一种经济实用而行之有效的办法, 不仅适用于井式渗碳炉, 更适用于密封箱式多用炉和连续式气体渗碳炉。

关于电阻法能否控制C—N共渗? 一般认为, 由于N原子的渗入而干扰了细铁丝电阻值与碳势的对应关系而不能应用。大量试验研究表明: 对中温气体C—N共渗, C—N浓度在一定范围内, C—N总势与细铁丝电阻值具有较好的对应关系。因此, 可以用电阻法控制C—N总势。

2. 电阻法微机控制渗碳装置

电阻法测控碳势技术在国外作过较多的试验研究, 但极少用于实际生产。本成果研制成功电阻法测控碳势的传感器——电阻探头、碳势控制记录仪表以及控温、控碳势专用微型计算机, 组成完整的电阻法微机控制渗碳装置, 实现了电阻法微机控制气体渗碳工艺过程, 已经生产实际考验, 性能良好。下面简要介绍该装置的结构与性能。

1) 电阻探头

探头是测控炉气碳势的传感器, 探头的结构如图2所示。

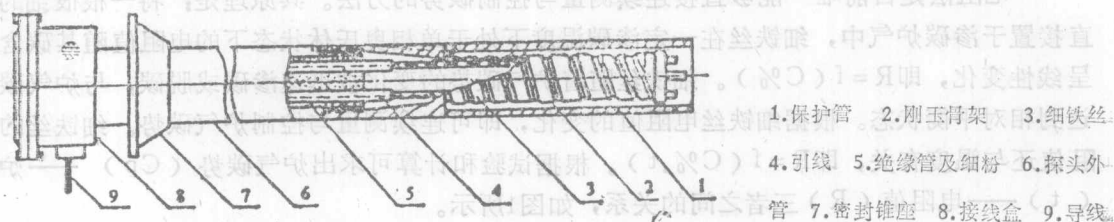


图 2 电阻法探头结构

性等) 也没有严格的要求, 即使在渗碳工况经常变化以及周期操作的条件下, 电阻法控制炉气碳势的精度仍相当高。电阻法控制碳势不仅适用于吸热式气氛, 而且适用于滴注式气氛, 即使对煤油加甲醇渗碳也能精确控制炉气碳势, 控制精度可达到 $\leq \pm 0.05\%C$, 且重现性好。

电阻法控制碳势亦存在一些缺点和局限性。当细铁丝在渗碳温度下的含碳量超过奥氏体饱和碳浓度而出现渗碳体时, 细铁丝的电阻值与碳含量之间相互关系的可逆性和直线性就受到破坏, 即无法控制碳势。因此, 电阻法控制碳势的极限值为渗碳温度下奥氏体(γ -Fe)的饱和碳浓度。如渗碳温度为 $930^{\circ}C$, 则控制炉气碳势的极限值约为 $\leq 1.25\%C$ (此值除某些要求特别高的碳势外, 均能满足渗碳要求)。

探头的核心是一根极细的铁丝,其尺寸一般为 $\phi 0.08 \sim 0.15 \text{ mm}$, $L 300 \text{ mm} \sim 1000 \text{ mm}$,细铁丝的材料最好用纯铁或含少量Ni的铁丝。铁丝的直径越小,测控碳势的灵敏度越高,但细铁丝的寿命会受到影响。探头的关键是缠绕细铁丝的骨架在高温渗碳气氛中能长期保持高的绝缘性能。经对石英、氮化硅(Si_3N_4)和刚玉等在长期高温渗碳气氛中的电绝缘性能进行了反复试验,得出 $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 95\%$ 高致密的刚玉是较理想的材料,缠绕细铁丝的刚玉骨架设计成双螺旋槽的结构较为合适。

由 探头外形似热电偶,外管直径为 $\phi \leq 28 \text{ mm}$,其长度可按需要做到几米长,可直接插入炉膛内测控炉气碳势。测量电阻变化的导线与细铁丝采用特殊工艺连接,效果非常满意。而且若细铁丝一旦损坏,更换也十分方便,探头照常可以使用。

2) 碳势控制记录仪表

探头电阻值的变化不仅与炉气碳势有关,而且受渗碳温度的影响。因此,一般测量电阻的仪表,不能直接标刻碳势值(C_p)。国外有采用在探头测量回路中串接可变电阻的方法补偿渗碳温度的影响,这种手调电阻的方法只能补偿恒定渗碳温度的影响,而且降低了测量的精度。还有一种方法是采用配对敏感细铁丝(其中有一根细铁丝严格加以保护,不得渗碳)通一微电流后,反接测其电势的变化,可以随机补偿温度的影响,但这将大大增加探头结构的复杂性。作者研制成功的碳势仪表,具有自动随机补偿温度的功能,仪表直接标刻炉气碳势 $C_p = 0 \sim 1.4\% \text{ C}$,可适用于任何渗碳温度,并可自动记录与控制碳势,碳势控制精度达 $\leq \pm 0.05\% \text{ C}$,碳势指示精度 $\leq \pm 0.01\% \text{ C}$ 。该仪表已经过长期生产运行考验,性能稳定可靠。

3) GMC—80TC控温、控碳势专用微机

研制成功的GMC—80TC控温、控碳势微机是为控制气体渗碳工艺过程而专门设计的工业控制微机。设计时充分考虑到长期工业运行的可靠性和应用上的方便性等因素,采取了一系列抗干扰措施,选用了面向工业控制的标准总线(IEE—796)。在保证温度、碳势等系统实时处理性能的前提下,使用动态零漂扣除技术,加上专门设计的WATCH—DOG对数据的PID处理,采用浮点数方式,从硬、软件两方面保证了系统的测量精度不受环境的影响,并具有较高的测量控制精度。专用微机系统由通用的集成芯片组成模块化结构,可方便地组成或扩充系统,配上联网软件,可与上位机或控制中心联网。该机还具有自检功能,便于现场及时检修与维护。编程键盘具有密码保护措施以防非操作人员误调工艺参数。

GMC—80TC微机配有日历时钟及32位数显和32个键的键盘,可以直接显示和控制渗碳过程各阶段的时间、碳势和温度(上、下两区),并能连续显示渗碳层的计算深度,还可与CRT和打印机连接进行显示和记录。对超温、超碳势等异常情况可以声、光报警。该微机在车间温度 $0 \sim 40^\circ \text{C}$ 和电网电压波动 $\pm 15\%$ 及其他设备电干扰的条件下,能够长期正常运行。经生产实际运行考验,控碳势精度达 $\leq \pm 0.03\% \text{ C}$,控温精度达 $\leq \pm 1^\circ \text{ C}$ (可控硅) $\sim \pm 2.5^\circ \text{ C}$ (接触器)。

GMC—80TC微机和碳势仪表安装在一个立式控制柜里,可直接布置在渗碳炉旁,使用方便,结构紧凑,占地小。微机与仪表具有双重控制功能,即微机正常控制时,碳势仪表和原温度仪表能同时指示并进行记录,具有监控功能。若微机一旦发生故障,则仪表能立即对碳势和温度进行自动控制,切实保证了生产的正常进行。

4) 气体渗碳炉的技术改造

为了适应电阻法控制炉气碳势的要求,需对井式气体渗碳炉的炉盖部份稍加改造,其结构如图3所示,即在炉盖原取样孔上加水冷却套和探头锁紧装置,电阻探头由此插入炉内,另在原排气管上加水冷却套和双层带锥度的密封盖和排气管,使之既可正常排气,又能提取钢箔和试样。对于密封箱式多用炉和连续式气体渗碳炉的改造更为简单,只需增加一个插入电阻探头的水冷却套。

渗碳介质由渗碳剂(如煤油、丙酮或丙烷气、天然气等)和稀释剂(如甲醇、吸热式气氨或氨基气氛等)组成。稀释剂的供给量根据保持炉压的要求调节。渗碳剂的供给量由GMC—80TC微机或碳势仪表,根据炉内实测碳势值与设定值之差进行PID或位式自动调节。调节气体渗碳剂的执行元件可用电磁阀。液体渗碳剂的执行元件最好用柱塞计量泵,也可用电磁阀,但若仅用碳势仪表进行位式控制,则必须加脉冲比例调节器。

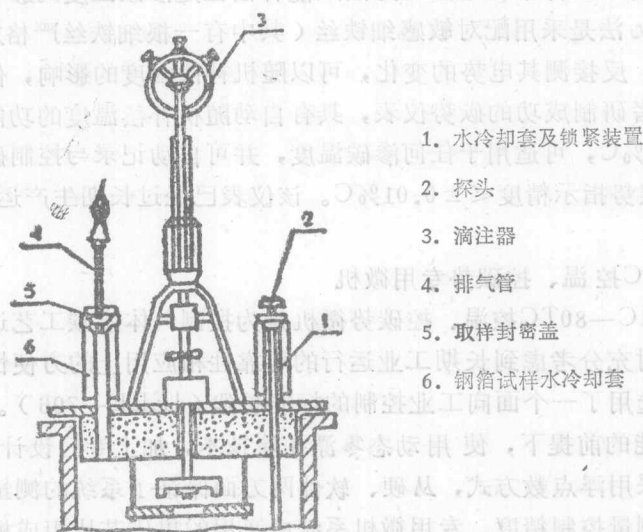


图3 RJJ型渗碳炉炉盖改装结构

三、生产应用

电阻法微机控制渗碳装置已在十二家工厂进行了生产运行考验,取得了良好的效果。

1. 青海工程机械厂为满足引进D7G履带式推土机渗碳件的生产需要,采用电阻法微机控制装置对RJJ—90—9T井式气体渗碳炉进行了技术改造。通过生产考验,炉温控制精度可达 $\leq \pm 1^\circ\text{C}$,碳势控制精度达到 $\leq \pm 0.03\% \text{C}$ 。渗碳件碳化物级别可控制在0~1级,达到了引进产品渗碳件的质量要求。此外,该厂还采用电阻法控制中温气体C—N共渗获得成功,可以精确控制炉气的[C—N]总势。

2. 湖北车桥厂是生产东风140载重汽车后桥齿轮的专业工厂。主、被动齿轮材料为20CrMnMo钢和20CrMnTi钢,在RQ₄—75—9D井式气体渗碳炉用甲醇—煤油渗碳直接淬火。过去因无碳势控制,渗碳质量很不稳定。采用电阻法微机控制渗碳装置后已生产了285炉,整个渗碳过程实现了电阻法微机自动控制;控温精度达 $\leq \pm 1 \sim 1.5^\circ\text{C}$,控碳势精度

达 $\leq \pm 0.035\%C$, 渗碳齿轮质量优良均一, 废品率由以前的3~4%, 下降到仅0.4%, 每炉的渗碳时间可缩短一小时, 有明显的经济效益。该厂还认为, 电阻探头结构简单, 维修方便。该厂自己维修电阻探头7次, 都能满足控制效果和精度。

3. 第二重型机器厂采用天然气直通炉内作为渗碳介质, 另通 NH_3 气起稀释和稳定炉压作用。该厂试用电阻法控制炉气碳势。经一年多的试验认为: 在渗碳稳定阶段, 电阻法控制碳势的值与钢箔校验值的误差 $\leq \pm 0.05\%C$ 。电磁阀作为控制天然气供给量的执行元件效果良好, 炉气碳势控制的波动 $\leq \pm 0.02\%C$ 。此外, 发现天然气对探头细铁丝有腐蚀性, 使电阻值增大, 每小时增加率相当于 $0.008\%C$ 。经除 H_2S 处理后的天然气, 腐蚀显著减小, 经连续72小时渗碳, 其碳势控制精度(与定碳钢箔对比)仍能保持 $\leq \pm 0.05\%C$, 认为电阻法对自动控制深层渗碳过程有实用性。采用电阻法控制的渗碳件表面呈灰黑色光洁无碳黑, 避免了过量渗碳, 表层碳化物细小均匀, 不易发生磨削裂纹。

该厂还用特长的电阻探头(插入渗碳包内达3.2m)控制大型装包渗碳炉, 对3300mm轧钢机齿轮轴、蜗杆等(20CrMnTi钢, 渗碳层深2.8mm~3.4mm)的渗碳进行了试生产, 实现了电阻法自动控制碳势。

4. 西安煤矿机械厂过去由于渗碳碳势不可控, 煤机齿轮(30CrMnTi钢和1CrMnTi钢)气体渗碳, 一次合格率低, 渗碳返修率较高, 浪费能源。此外, 因碳势不可控, 工艺不稳定, 渗碳碳化物容易超差, 导致齿轮磨削裂纹废品率较高。采用电阻法微机控制渗碳装置后, 控温精度达到 $\leq \pm 1.5^\circ C$, 碳势控制精度达到 $\leq \pm 0.05\%C$, 渗碳工艺过程实现了微机自动控制, 渗碳质量大为提高, 渗碳工件一次合格率达98.9%, 返修率尤其是齿轮磨削裂纹造成的废品率大幅度降低, 该厂一年可节约30万元。同时由于齿轮渗碳质量提高, 使用寿命延长, 所带来的社会效益更为可观。

5. 陕西省齿轮厂于1990年安装了电阻法微机控制渗碳装置, 在RJJ-75-9T井式渗碳炉上, 对 $930^\circ C$ 煤油加甲醇渗碳和中温微氮渗碳(包括加催渗剂与不加催渗剂)进行了齿轮渗碳的实际生产考验, 对有关参数和渗碳工件质量各项指标进行了严格的检测, 均达到了技术要求。认为电阻法微机控碳势的精度高($\leq \pm 0.05\%C$), 可直观的控制渗碳质量, 减轻了工人的劳动强度。采用该装置后渗碳质量稳定, 返修率大大降低, 对易变形而不能返工的工件, 具有明显的优点。1991年2月该厂这项应用成果荣获陕西省首届电子信息技术应用成果奖。

6. 第二汽车厂车桥厂在连续式无罐气体渗碳炉上, 应用电阻法控制渗碳区和扩散区的炉气碳势进行了生产应用试验, 初步结论认为电阻法是直接测定炉气碳势的方法与露点法、 CO_2 法相比测量精度高、重现性好, 不受炉气组份等条件的限制, 能满足在连续式无罐气体渗碳炉上的生产应用要求。

电阻法微机控制气体渗碳技术已由试验研究进入生产实际应用阶段。实践表明: 电阻法直接控制碳势的精度高, 受各种因素的干扰小, 适用面较广。电阻探头结构简单, 制造容易, 价格低廉。碳势仪表可直接标刻炉气碳势, 并能自动记录和控制碳势, 已经长期生产运行考验, 性能稳定可靠。根据目前我国渗碳工艺设备条件, 采用电阻法控制碳势是经济实用和行之有效的。

GMC-30TC专用微机长期工业运行可靠, 抗干扰性强, 结构紧凑, 可直接安装在渗碳炉旁, 操作简单, 使用维修方便, 控温、控碳势精度高, 并能实现整个渗碳工艺过程的微机控制。仪表、微机双重控制切实保证生产的正常进行。电阻法微机控制渗碳有助于提高渗碳的质量和科学生产管理水乎。

大型重载齿轮深层渗碳 工艺及其成套技术的研究和应用

承担单位：陕西机械学院

洛阳矿山机器厂

西安电炉研究所

郑州机械研究所

一、前言

随着我国现代化大型成套工程技术的发展，冶金、矿山、电力、国防、化工、运输等机械的传动功率不断增加，齿轮作为重型机械传动的核心部件，它的质量直接影响到主机的运行寿命和成套工程技术的经济效益。大型重载渗碳齿轮的生产涉及到一系列技术和装备问题，如深层渗碳工艺、设备及其控制和质量检测技术等。

我国重载齿轮生产技术还比较落后，产品基本上以软齿面为主，材料消耗量大，承载能力低，寿命短。其关键零部件和设备主要依靠进口。国内外认为，渗碳淬火重载齿轮承载能力最高，寿命最长，但其工艺技术也最复杂。本成果研制成功了从工艺、大型井式渗碳炉、二级分布式微机控温控碳系统、组织性能、新型碳势传感元件到产品零件的质量检验和金相标准等成套技术，基本解决了我国大型渗碳齿轮的热处理技术问题。

二、成果主要内容及水平

本成果以钢厂的340减速机大型渗碳人字齿轮轴为产品对象，在掌握、吸收和消化国外先进技术的基础上，解决深层渗碳工艺及其成套技术方面的问题，形成深层渗碳工艺及其全套装备成龙配套的技术，使关键的大型重载渗碳齿轮生产立足国内。

1. 成果的主要内容

1) 对深层渗碳工艺及其基础理论进行了深入的研究，根据不同情况提出深层渗碳工艺，包括：

① 计算机控制的高浓度深层渗碳技术；

② 高浓度深层渗碳数学模型的研究；

③ 变温变碳势深层渗碳技术的研究；

④ 渗碳时碳化物的析出和长大；

⑤ 渗碳时碳化物的析出形态；

⑥ 高浓度渗碳层在扩散期的行为；

⑦ C、N、C—N原子扩散系数的测定；

⑧ 定碳钢箔法测定炉气碳势中的几个问题；

⑨ 渗碳滴剂的热分解特性及碳黑的形成。

2) 安阳钢厂深层渗碳人字齿轮轴的研制

- ①340减速器深层渗碳人字齿轮轴的研制;
 - ②二级计算机控制的高碳势深层渗碳技术;
 - ③大型重载齿轮甲醇、异丙醇、空气、氮气深层渗碳技术。
 - 3) 特大型滴注井式渗碳炉的研制
 - ① $\phi 1700 \times 7000$ mm渗碳炉的设计与说明;
 - ②大型井式渗碳炉的辅助及配套设计。
 - 4) 深层渗碳表面碳化物对性能的影响
 - ①碳化物对接触疲劳性能的影响;
 - ②碳化物对弯曲疲劳性能的影响;
 - ③碳化物对耐磨性的影响。
 - ④碳化物超差反修对性能的影响。
 - 5) 二级DH—16型分布式计算机系统的研制
 - ①DH—16型分布式计算机系统的设计与应用;
 - ②DH—16型分布式计算机系统的使用说明。
 - 6) 新型碳势传感器的研制
 - ①影响电阻传感器的因素;
 - ②新型电阻传感器的研制;
 - ③过饱和和渗碳控制手段的研究。
 - 7) 电阻—氧势法联合控制深层渗碳过程的研究。
 - 8) 油封式实验井式渗碳炉及其控温装置的研制。
 - 9) 大型重载渗碳齿轮质量检验和金相标准。
 - 10) 重载齿轮深层渗碳工艺设计专家系统的研制与实现。
 - 11) 中、日齿轮产品及试样的质量分析。
 - 12) 文献检索。
 - 13) 经济效益和社会效益分析。
 - 14) 大型重载齿轮深层渗碳工艺技术的应用情况。
2. 关键技术

大型重载齿轮深层渗碳工艺是七十年代发展起来的新技术, 国外一般采用吸热式气氛作载气, 丙丁烷作富化剂进行渗碳。国内八十年代开始进行了试验研究, 在大型重载齿轮深层渗碳的工艺理论基础, 工艺技术及计算机控制的高碳势渗碳技术方面有所创新, 形成具有我国特点的成套技术。

例如, 在特大型渗碳炉中对大型重载渗碳齿轮采用滴注式渗碳方法, 其难度就很大。

1) 排气周期长, 排气是指将渗碳炉内氧化性气氛排掉, 逐渐恢复到渗碳活性气氛。一般用甲醇排气, 对于中、小型渗碳炉由于炉膛体积小, 可在短时间内将炉内氧化气氛排掉, 很快恢复气氛活性; 但对于大型渗碳炉, 炉膛容积达数十立方米, 需要长达十几个小时甚至几十个小时才能将炉内氧化性气氛排掉。易造成工件的氧化和脱碳, 降低渗碳质量和效益。

2) 气氛易产生碳黑, 大型井式渗碳炉参与渗碳反应的内表面积与炉膛体积之比远小于中、小型渗碳炉的内表面积与炉膛体积之比, 从而导致气氛渗碳反应率远小于中、小型井式渗碳炉。在有限吸碳面积下, 气氛严重偏离平衡, 易产生炭黑。

3) 渗碳气氛的可控性差: 由于渗碳反应率小, 及单位时间内有机液滴入量大, 气氛中不完全分解组分和 CH_4 量高, 气氛成分波动大, 不稳定, 致使气氛的调节性和可控性差。

滴注式大型渗碳炉的一个关键技术难点是气氛的可控性差, 故国外均采用吸热式气氛作载气, 用丙、丁烷作富化气的渗碳方法。国内丙、丁烷的供应存在问题, 我们在试验研究基础上, 采取有效措施, 成功地解决了滴注式渗碳炉的气氛调节问题。

又如, 提高渗速对深层渗碳显得特别重要, 但目前计算机控制的气体渗碳过程, 碳势均未超过 $1.2\% \text{C}$, 正常使用都在 $1.05\% \text{C}$ 左右。限制计算机控制高碳势渗碳工艺的主要因素是碳势传感器的有效测量范围, 目前使用的碳势传感器均不能在高碳势气氛中稳定工作, 抗碳黑干扰能力弱, 因而限制了计算机控制高碳势渗碳工艺的开发。我们研制的新型电阻传感器, 抗炭黑干扰能力强, 在碳势 $1.35\% \text{C}$ 气氛中, 稳定工作近100小时, 充分利用了贫碳奥氏体的强烈吸碳能力和高碳势强烈渗碳能力, 提高渗速 15% 。

$\phi 1700 \text{mm} \times 7000 \text{mm}$ 特大型渗碳炉, 是国内最大的井式渗碳炉, 关键技术不少。风扇结构, 材料和寿命问题, 是个难点。

大型重载渗碳齿轮的关键性能数据很少, 本课题研究了渗碳层中碳化物的形态、大小和分布对弯曲疲劳、接触疲劳和耐磨性的影响。

二级DH—16型分布式计算机控温控碳势系统, 在国内是首次研制, 下位机采用STD“工控机”抗干扰力强, 性能稳定可靠。

首次采用高碳势渗碳数学模型。

3. 主要技术性能指标

1) 可以处理单件重25吨~30吨, 渗层深度达 $5 \text{mm} \sim 10 \text{mm}$ 的大型重载深层渗碳齿轮等零件。

2) 表面碳含量可控制在 $0.85 \pm 0.05\% \text{C}$ 技术要求范围内。

3) 碳化物分布均匀, 淬火回火后碳化物平均直径 $\leq 0.5 \mu\text{m}$ 。

4) 炉温不均匀性 $\leq \pm 10^\circ \text{C}$ 。

5) 单点控温精度 $\leq \pm 2^\circ \text{C}$ 。

6) 炉内气氛不均匀性为 $\pm 0.05 \sim 0.07\% \text{C}$ 。

7) 炉子密封性好, 炉气压力不低于 $50 \sim 100$ 毫米水柱。

8) 气氛碳势控制精度 $\leq \pm 0.05\% \text{C}$ 。

9) 能同时显示记录渗碳过程的碳势、温度、时间、层深、碳浓度分布; 实现渗碳过程自动控制。

10) 计算机上、下二位机。下位机采用了STD总线结构, 性能可靠, 抗干扰力强, 能在室温 40°C 内正常工作, 画面丰富, 汉字显示, 人机对话方便, 可控多区温度等。

11) 大型重载深层渗碳340减速器人字齿轮轴的研制, 产品质量达到八十年代引进同类产品水平。

12) 新型电阻传感器抗碳黑干扰能力强, 能在碳势 $1.35\% \text{C}$ 气氛中稳定工作。

13) 大型重载齿轮渗碳质量检验和金相标准, 指标先进, 首次形成标准。

4. 成果水平

1) 课题对深层渗碳工艺及基础理论进行了深入地研究。研制的国内最大的井式气体渗碳炉其性能达到了国外八十年代同类产品水平; 研制出目前我国唯一的二级DH—16型分布

式计算机渗碳控制系统,具有结构紧凑,性能可靠,功能齐全,抗干扰性能强等特点;采用的电阻探头和氧探头联合控制的新方法,在大型渗碳炉的碳势控制方面进行了新的尝试,采用该成套技术对340减速器人字齿轮轴进行生产性试验表明,产品各项技术指标达到了日本八十年代同类产品水平。同时较系统地研究了重载齿轮的渗层碳化物和组织与寿命的关系,对生产有一定的指导意义。该成果形成适合我国国情的完整、成套技术。基本解决了我国大型齿轮热处理的关键技术问题。经与国外技术发达国家同类技术对比,该成果达到了国际八十年代先进水平。

2) 成果具有较高的经济效益和社会效益,如在重大产品中应用每年可为国家节约外汇400万美元,增加产值2000万元人民币,保证了产品质量,缩短生产周期15%,具有广阔的应用前景和推广价值。

三、生产应用

1. 安阻钢厂340减速器人字齿轮轴简介及技术要求:

1) 工件几何形状:

图1、2分别为Z0505A—3, Z0505A—5两根人字齿轮的几何何状, 其外形尺寸分别为: $\phi 640\text{mm} \times 5400\text{mm}$, $\phi 900 \times 2750\text{mm}$ 。

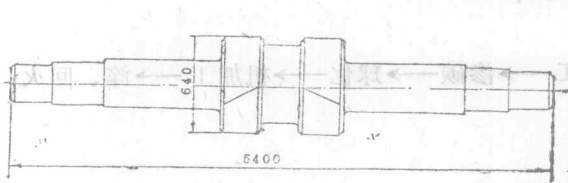


图 1 Z0505A—3人字齿轮轴外形

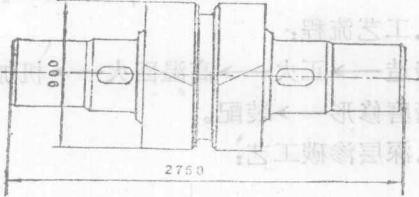


图 2 Z0505A—5人字齿轮轴外形

时间 (h)		3	12	Z0505A-2 215	Z0505A-3 24	11	13	1
温度	升温	停	停	20	20	20	20	停
	保温	80 min	30 min	30 min	30 min	30 min	30 min	30 min
	冷却	停	停	停	停	停	停	停
	回火	停	停	停	停	停	停	停
冷却	空冷	停	停	停	停	停	停	停
	水冷	停	停	停	停	停	停	停

图 3 Z0505A—3人字齿轮轴热处理工艺

2) 材料:

两根人字齿轮轴均选用20CrNi₂MoA, 化学成份见表1。

表1 人字齿轮轴用钢材化学成分

成 份	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
Z0505A-3	0.17	0.02	0.26	0.020	0.038	0.61	1.80	0.24
Z0505A-5	0.17	0.02	0.26	0.020	0.038	0.61	1.80	0.24

3) 单 件 重: Z0505A-3

4938kg

Z0505A-5

7061kg

4) 法向模数: Z0505A-3

M = 20mm

Z0505A-5

M = 31.17mm

5) 渗层深度: Z0505A-3

4.4~5mm

Z0505-5A

7.5~8.5mm

6) 表面硬度: HR54~58

心部硬度: HRC30~45

7) 机械性能: $\delta_b \geq 1100\text{Mpa}$, $\sigma_s \geq 800\text{Mpa}$

$\delta \geq 8\%$, $\psi \geq 35\%$, $a_k \geq 60\text{J/cm}^2$

2. 工艺流程:

锻造→正火→高温回火→机加工→渗碳→球化→机加工→淬、回火

→精磨修形→装配。

3. 深层渗碳工艺:

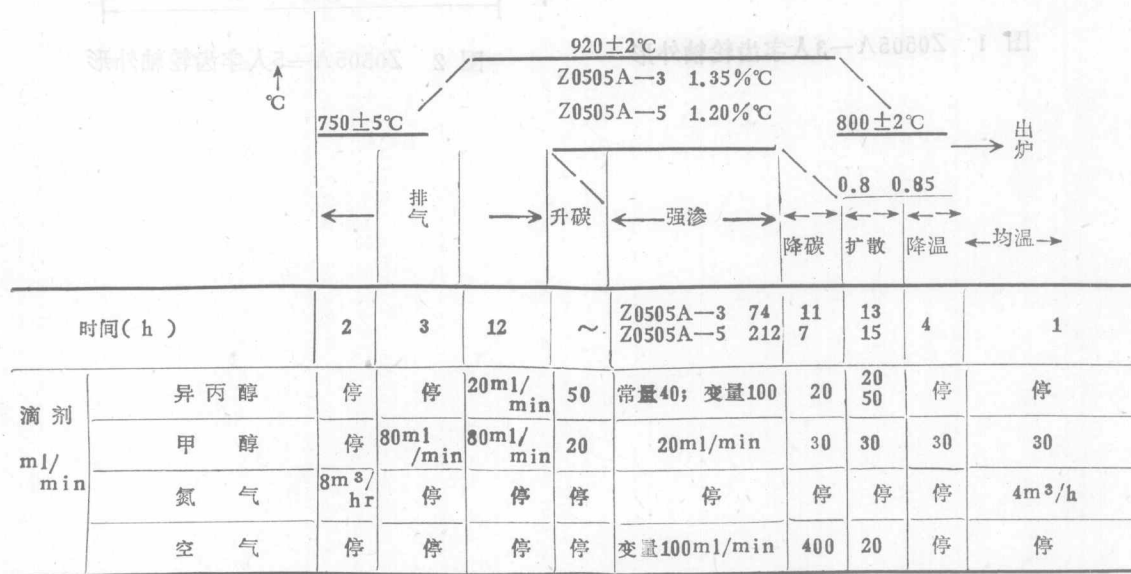


图 3 Z0505A-3 人字齿轮轴渗碳工艺