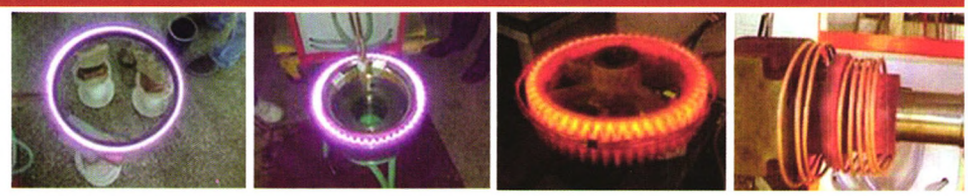
■ 哈尔滨汇隆汽车箱桥有限公司/金荣植

汽车零部件热处理工艺与装备



近10年来，我国汽车工业有了突飞猛进的发展，每年以数百万辆的速度递增，已经成为年产近2000万辆乘用车、商用车、专用车的汽车制造大国，汽车行业早已成为国家支柱产业之一。

在汽车制造过程中，约70%～80%的零部件需要进行热处理。热处理是汽车制造过程中一道重要工序，发动机、变速器、中桥及后桥等重要零部件都需要经过热处理，以保证整车的安全性、可靠性和使用寿命。汽车零部件的精密化、低噪声、长寿命要求，已经成为汽车零部件加工的发展趋势。

10年来，随着汽车工业的高速发展，国内汽车零件热处理工艺与装备水平得到很大提高，先进的热处理技术与装备得到普遍推广，真空加热淬火、低压真空渗碳、真空离子渗氮、高压气体淬火、保护气氛热处理、可控气氛渗碳与碳氮共渗、激光热处理、现代化感应热处理工艺等少无氧化热处理，成为汽车零部件热处理加工的主流。同时，智能化连续式渗碳自动生产线、密封箱式多用炉及其自动生产线、低压真空渗碳和高压气体淬火设备、同步双频感应热处理设备及激光热处理设备等得到广泛应用。由于这些先进热处理装备采用了先进的计算机技术（包括软件技术），对热处理生产（包括程序、工艺）过程进行自动控制，并采用先进的传感器及其控制系统对热处理工艺参数进行精确控制，从而大幅度提高了零件的热处理质量，使汽车零部件的内在质量接近或达到国际先进水平。

真空热处理工艺和高压气体淬火工艺与装备

真空热处理具有一系列优点：无氧化、无脱碳、表面质量好，变形小，热处理零件综合性能优异，使用寿命长，无污染，无公害，自动化程度高，因此在我国得到迅速发展。近年来，采用新的测试技术和计算机控制技术，使真空与可控气氛热处理技术不断向

程序化和自动化发展。以真空热处理为主导的节能、环保、精密型热处理工艺已经成为当今热处理的发展方向之一。真空热处理工艺包括真空加热淬火、低压渗碳淬火、低压离子渗碳、真空离子渗氮等。真空热处理设备有单室、双室、三室及油淬、气淬、油气两用淬火、高压气淬、超高压气淬真空炉和低压渗碳高压气淬炉、多室低压渗碳高压气淬半连续生产线等。

零件在奥氏体化温度加热后施加0.5～2MPa高压气体淬火，可达到静止油或高速循环油甚至水的淬火效果，其最大优点是避免油淬产生的烟气污染，处理后的零件表面清洁度高，无需后序清洗和清理抛丸工序。

钢的气体淬火有别于液态介质淬冷机理，可实现自表面向内层的均匀冷却，因此气体淬火变形小，可实现少无磨削。高压气体淬火采用氮气、氢气、氩气及氦气等，这些气体排放到大气中，没有污染。而新的快速气氛循环冷却工艺是采用向冷却室喷射高压气体，由计算机控制流速和流量的变化，以达到在特定时间内的冷却速度，从而实现热处理过程中所要求的冷却曲线，确保零件的热处理质量。取代氮气、氩气、氦气等气淬方式，采用空气强烈喷射，使零件在极快速度下冷却，淬火后表面仅有极薄的氧化色膜，呈灰白色，零件色彩依然美观，从而节约大量氦气和惰性气体，使热处理成本进一步下降。该项工艺将成为高压气体淬火发展趋势。

真空低压渗碳与高压气淬相结合是当今一种先进的渗碳淬火工艺，它具有渗碳速度快、碳化物组织优良、淬火开裂和变形倾向小、节约能源和渗碳剂原料、渗碳零件表面质量好、有利于环保等优点。

1.真空加热淬火和高压气体淬火工艺与装备

随着我国汽车工业的发展，汽车用模具的制造水平也得到了极大提高，模具制造的关键工序——热处理技术也由原来的较低水平发展到国际水平，如真空加热淬火技术、感应淬火技术和激光淬火技术等，都得到了广泛应用和发展。

在汽车生产中，几乎所有的模具类型都会用到，如冷冲模、热锻模、冷镦模、热镦模、压铸模和铸塑模等。对我国汽车企业来说，随着市场经济的深入发展，原来的数十年一贯制车型，现改为一年内上几个车型。一般中型载货汽车的改型需要模具4000多套，重量达2000t。目前汽车用模具热处理广泛采用真空炉加热与油淬火，或采用0.6MPa以上的真空加热高压气淬炉进行热处理，以取代盐浴炉，避免排放污染。同其他热处理工艺相比，不仅模具热处理变形小，没有氧化脱碳，而且可以提高使用寿命1～3倍。

2.真空渗碳和高压气体淬火工艺与装备

汽车零件的渗碳热处理主要采用气体渗碳工艺和真空渗碳工艺。气体渗碳工艺由于其处理质量优异，成本较低，是目前汽车零件应用最广泛的热处理工艺之一。近十几年来，真空渗碳工艺与设备在汽车工业中也得到了较多的应用。低压真空渗碳和高压气体淬火技术相结合，可以满足轿车变速器、发动机零件等对热处理高质量的要求。

低压真空渗碳炉是在真空炉的基础上，根据真空渗碳的特点发展而来。与常规渗碳炉相比，低压真空渗碳炉操作简便；炉内非常清洁，无炭黑；对环境无任何污染影响。另外，该炉型升温速度快，开炉、停炉方便，并且节省电能，气体消耗低。实际生产证明，其生产成本较常规渗碳明显降低。与周期式真空渗碳炉相比，半连续式及连续式真空渗碳炉生产效率可分别提高25%和40%左右。半连续式及连续式低压渗碳高压气淬自动生产线将成为高品质汽车零件渗碳热处理设备的发展趋势之一。图1为连续式低压真空渗碳自动生产线。

图1 连续式低压真空渗碳自动生产线

目前，周期式低压渗碳高压气淬炉、半连续式低压渗碳生产线已在上海汽车工业集团、一汽集团、神龙汽车公司等得到应用，用于载重汽车变速器及发动机零件、轿车发动机及自动变速器零件、主减速器太阳轮轴、重载汽车的齿套和齿轮等的热处理。

低压离子渗碳除具有低压渗碳的优点外，由于甲烷易分解，所以渗速更快。工件经离子渗碳后可在真空炉中油冷淬火或高压气体淬火，达到高的渗碳质量要求。其主要设备为真空离子渗碳炉，已在汽车工业得到应用，例如以高功率、低油耗、静音化为目的的钛制汽车用发动机气门的表面硬化处理等。

3.真空离子渗氮工艺与装备

离子渗氮是以真空处理为基础的高精度化学热处理。该工艺处理温度低，零件变形小，无氧化和化学污染，渗氮层无其他不必要的成分和结构，表面硬度高，疲劳强度高，处理时间短，处理后无需研磨去除传统渗氮常有的脆性“白亮层”，工艺成本低。因此，该工艺几乎完全克服了传统渗氮处理的缺点。现用于各种汽车零部件的热处理，包括曲轴、凸轮轴、转向枢轴、齿轮、轴瓦、阀门、活塞棒、同步器环、计时器齿轮及链轮等，还用于各种工模具的热处理。

保护气氛热处理工艺与装备

随着汽车制造水平的不断提高及对汽车零件热处理质量的更高要求，碳素钢、低中碳合金钢等零件更多地在保护气氛（如氢气、氮气及吸热、放热式气氛等）中进行加热退火、正火、光亮淬火、回火及调质等。例如采用保护气氛对汽车精锻件进行无氧化正火。对于大批量的汽车精锻件可以采用连续式等温正火生产线进行无氧化（等温）正火，能够保证零件的外观及内在质量要求。

汽车用高强度螺栓调质处理采用（保护气氛）网带式热处理炉进行加热淬火和回火，炉内碳势进行自动控制，以保证产品质量，通过计算机能够按照工艺设定自动完成零件的生产过程。

推杆式保护气氛调质生产线及更先进的真空氢气保护气炉等，也在汽车制造业得到了应用。

可控气氛渗碳与碳氮共渗工艺与装备

随着可编程控制器（PLC）和计算机的普及，使大批量生产的可控气氛渗碳与碳氮共渗工艺参数实现实时控制；使零件渗层表面碳浓度、碳浓度梯度、有效硬化层深度、硬度和金相组织等可以严格控制；使汽车零件热处理质量稳定可靠。目前，可控气氛热处理是热处理生产技术是否先进的主要标志之一。采用计算机全自动控制的密封式可控气氛多用炉生产线和连续式可控气氛热处理生产线进行渗碳与碳氮共渗，已成为汽车工业热处理生产的主流之一。

1.连续式渗碳（碳氮共渗）自动生产线与工艺

该热处理生产线适用于品种较单一的大批量生产的渗碳及碳氮共渗零件。采用带底部装料装置与分区控制的连续式气体渗碳自动生产线与工艺、带高压气淬（或盐浴淬火）的连续式气体渗碳自动生产线（见图2）与工艺，是汽车零件渗碳（碳氮共渗）热处理发展趋势之一。

图2 连续式气体渗碳自动生产线

2.密封箱式多用炉及自动生产线与热处理工艺

由于该热处理炉能够在可控气氛下完成多种热处理工艺，质量容易控制，生产效率高，炉体密封性好，能耗低（节能节材），工艺柔性好，调整灵活简便，炉温、炉气和机构动作可以精确调节和控制，已广泛应用于汽车各种齿轮、各种轴类零件等的渗碳、碳氮共渗、氮碳共渗、光亮淬火、正火、退火等各种热处理工艺加工。目前密封箱式多用炉的应用在一定程度上代表了一个国家现代热处理技术水平。

某公司采用箱式气体氮碳共渗炉及其自动生产线对轿车变速器零件进行氮碳共渗，由于处理温度低（一般为500～570℃），时间短，因此零件变形小，同时提高了零件表面硬度、耐磨性、疲劳强度及抗蚀性能，满足了德国大众公司对国内某轿车变速器选挡轴（45钢）及齿壳（50钢）等表面不能有氧化的要求。

BBH系列炉型将真空技术与气氛控制技术相结合，即在每次处理工件时，根据炉型的不同都要对前室或加热室进行预抽真空，然后通入氮气或滴入甲

醇，使得工件在完全无氧化的条件下进行加热或淬火。因此，零件具有光亮的特征。密封箱式BBH气体渗碳炉是BBH系列炉型中的一种，其主要功能为渗碳、碳氮共渗及保护气氛加热淬火。由于前室（或包括后室）预抽真空，不用火帘，因此既没有废气排出，不污染环境，又避免了爆炸的危险。采用预抽真空及氨基气氛技术，极大地减少了工件表面内氧化的程度。采用BBH前室预抽真空多用炉（见图3）、密封箱式多用炉气体渗碳后，在1～2MPa高压惰性气体中施以气淬，以代替油淬工艺与设备，是汽车零件渗碳与碳氮共渗的发展趋势之一。

图3 BBH前室预抽真空多用炉及自动生产线

激光热处理工艺与装备

自20世纪60年代激光问世以来，激光技术作为一门举世瞩目的高新技术，几乎在各行各业都获得了重要的应用。近几年来，激光表面处理技术不仅在研究和开发方面得到迅速发展，而且在工业应用方面也取得了长足的进步。激光表面处理可以提高零件的表面硬度、耐磨性、耐蚀性以及强度和高温性能；同时可使零件心部仍能保持较好的韧性，使零件的力学性能显著提高。其中，激光相变硬化是现有各种激光表面处理技术在研究和应用最多的工艺方法之一，并已经在汽车等许多领域得到应用和发展。

激光热处理和表面改性是当今增强材料有效使用和实现设计性能的关键技术，这些技术在汽车生产行业应用都可以提高汽车零部件的性能，大大延长使用寿命。

近10年来，汽车行业的飞速发展推动了激光热处理加工的发展。现在激光热处理在汽车工业中应用十分广泛，在许多汽车关键零件上得到应用，例如发动机缸体、缸套、曲轴、凸轮轴、阀座、摇臂、铝活塞环槽、轴承座、合金钢发动机阀、钢制齿轮、钢制活塞环、可锻铸铁转向器壳以及同步器拨挡环等。北京首汽公司安装了汽车发动机缸套激光热处理生产线，一汽公司安装了激光热处理生产线。我国采用大功率CO_2激光器对汽车发动机进行缸孔强化处理，可以延长发动机大修里程到15万km以上，一台气缸等于三台不经激光处理的气缸。对汽车齿板（低碳钢）进行激光淬火，可以得到比常规渗碳淬火更高的硬度及较小的变形等。汽车模具采取激光淬火后变形小，可以重复几次淬火。奇瑞汽车公司采用激光热处理技术解决了汽车覆盖件模具拉毛问题，不但提高了工作效率和制作质量，而且大大延长了模具使用寿命。

随着我国万瓦级大功率CO_2多模激光器的发展，用激光就可以实现多种形式的表面处理。目前在国内以武汉大族金石凯激光系统有限公司为代表的企业已经生产出系列激光热处理成套设备，例如用于汽车制造业的HANSGS－W6000型低阶模横流CO_2激光器（见图4）和HANSGS－RM大型模具激光热处理成套设备（见图5）等。

图4 HANSGS－W6000型低阶模横流CO_2激光器

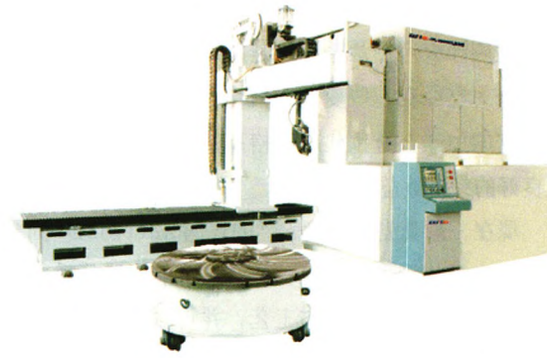


图5 HANSGS－RM大型模具激光热处理成套设备

激光热处理正在向采用高功率激光器，多自由度

加工设备并与计算机配套，以及适用于不同情况的激光热处理工艺实时控制系统等方向发展。

现代化感应热处理工艺与装备

我国20世纪50年代首先在汽车工业中开始使用感应热处理技术与装备。进入80年代以来，特别是近20年来随着汽车工业的迅速发展，我国采用感应热处理零件的种类和品种不断增加。以商用车为例，感应淬火零件数量达到100多种，占全部热处理零件数量的70%左右，我国感应热处理技术水平已接近或达到国际先进水平。

1.感应热处理工艺

感应加热工艺是感应加热技术水平的主要体现，先进的感应加热技术可以有效发挥感应加热的特点，实现高效、节能的局部热处理。目前汽车零件感应淬火用材料较多，包括35钢、45钢、40Cr、55MnVS、40MnB、42CrMo、ZG45、球墨铸铁及合金铸铁等。所采用加热淬火方式及应用众多，例如销轴及凸轮轴横向磁场静止一次加热淬火；减振器杆、扭杆和变速差轴等横向磁场连续加热淬火；起动机轴及空压机轴等横向磁场多段连续加热淬火；半轴等纵向磁场整体一次加热淬火；输出法兰内孔及钟型壳内腔的一次及连续加热淬火；转向齿条感应接触加热淬火；阶梯轴类转向节及轿车后轮毂轴的旋转加热淬火；平面类钢板弹簧横向限位板的一次及连续加热淬火；薄壁类滑动轴叉及前轮毂的一次及连续加热淬火；复杂形状钟形壳变截面轴的一次加热淬火等。

在汽车齿轮感应热处理方面，基于生产效率的考虑和汽车齿轮零件的特点，我国主要采用整体感应加热淬火工艺，即单频加热淬火和双频加热淬火。汽车齿轮感应淬火应用最普遍的是发动机飞轮齿圈。东风汽车公司已经在一些变速器齿轮实现感应淬火，用价格便宜的中碳合金钢代替价格高的渗碳齿轮钢，取得了良好的经济效益。

现在，最具先进与代表性的德国eldec的SDF同步双频感应加热设备与工艺，是具有节能、降耗和绿色生产的表面热处理设备与工艺，并可以获得最小的热处理变形及沿齿廓均匀分布的硬化层，从而达到最佳的热处理质量。目前已广泛应用于汽车（如汽车CV接头、驱动轴、转向器装置、螺旋伞齿轮及从动行星轮等）及航空工业领域类似齿轮等复杂表面工件的热处理，在德国宝马汽车、大众汽车及美国波音飞机制造公司等也得到应用。该项工艺与装备将成为感应加热淬火的趋势之一。图6为eldec公司模块化感应加热淬火设备。

图6 eldec公司模块化感应加热淬火设备

2.感应热处理装备

为了适应多品种的批量生产，在汽车零部件生产应用中，我国引进及国内研发的感应淬火机床种类，由传统的专用设备逐步向柔性化程度较高的通用设备和专用淬火自动生产线发展，并且采用了CNC数控技术，应用了FANUC、SIEMENS等控制系统。一汽和东风汽车公司研制成功了多台套大型的感应淬火成套设备（生产线），达到了国际先进水平。

一汽技术中心开发的卧式数控淬火机床，由主驱动交流伺服电动机拖动，移动速度稳定均匀，定位准确，重复精度高；零件旋转采用变频调速系统，能够适应多方面工艺要求；采用能量和数控技术对不同性能要求零件感应淬火，甚至在同一零件上实现多段变功变速，编程容易，可操作性强。

东风汽车公司研究所研制成功的全自动曲轴淬火成套设备，采用功率分配、薄型淬火变压器、独立悬挂、缓冲进给、旋转准停等新技术，具有设备监控、故障诊断、参数记录及零件返修等功能。另外还设计了模拟控制面板，操作者可以通过鼠标或键盘控制机床动作。该设备根据需要同时悬挂三套以上的薄型变压器—感应器单元，工作过程中不需要更换感应器。工作时只要将曲轴放在机床上料位，设备即可自动完成全部淬火加工，不需要人工操作。图7为曲轴淬火机床。

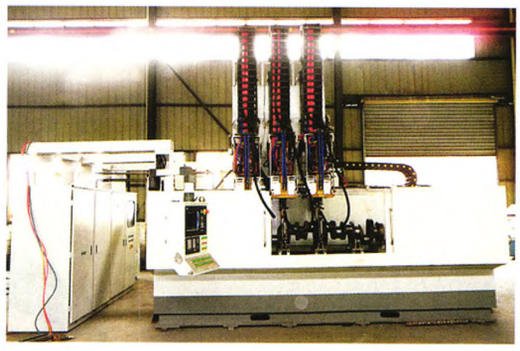


图7 曲轴淬火机床

目前，大功率电源在国内已经实现工业化生产；质量稳定，价格仅为进口电源的1/3～1/2，国产淬火用SCR电源可以做到2000kW；新型IGBT电源工作频率范围宽，负载适应性强，电效率高，工艺调整非常方便，频率范围覆盖1～100kHz，功率达到1000kW，可以取代进口，并已实现部分出口。

总体而言，我国感应热处理技术水平和先进国家相比，还存在一定的差距，例如在淬火机床的数控技术、计算机技术及精密机械传动技术的应用；在电源方面的高质量、高可靠性的功率元件的开发；精密感应器的制造技术等。随着感应热处理生产线自动化控制程度及电源高可靠性要求的提高，必须加强加热工艺成套装置的开发。同时感应加热系统正向智能化控制方向发展，具有计算机智能接口、远程控制和故障自动诊断等控制性能的感应加热电源系统正成为下一代的发展目标。

热处理生产的自动化和专业化状况与趋势

计算机在汽车零件热处理中的应用，包括计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助生产（CAM）、计算机辅助选材（CAMS）、热处理事务办公自动化（OA）、热处理数据库和专家系统等，它为热处理工艺的优化设计、工艺过程的自动控制、质量检测与统计分析、生产管理等，提供了先进的工具和手段。计算机在热处理中的应用，最初主要用于热处理工艺程序和工艺参数（温度、时间、气氛、压力和流量等）的控制，现在也用于热处理装备、生产线和热处理车间的自动控制和生产管理。还有的用计算机进行热处理工艺、热处理设备、热处理车间设计中的各种计算和优化设计。

在热处理中引入计算机，可实现热处理生产的自动化，保证热处理工艺的稳定性和产品质量的再现性，并使热处理设备向高效、低成本、柔性化和智能化的方向发展。我国在热处理行业中应用计算机还是近十多年的事情，目前国内研制生产的热处设备已越来越多地引入了计算机控制技术，极大地提高了热处理装备的自动化水平和生产效率。在热处理工艺过程的实时控制、计算机辅助设计、计算机模拟和数学模型的开发应用等方面，也取得了很大的成绩。汽车零件热处理工艺将会更加充分利用计算机技术，使热处理生产管理、工艺过程控制、工艺设计与质量预测分析实现高度数字化、智能化。汽车零件热处理工艺发展趋势，总体将朝着高品质、低能耗、环保、智能化方向发展。

随着计算机技术的进步和热处理先进制造技术的推动，智能热处理技术将成为热处理生产技术的主流，计算机—传感器—智能库将构建成智能热处理的核心，主要表现在：根据零件的材料、技术要求等，系统自动生成工艺；生产过程的完全闭环自动控制；零件热处理质量的预测、预判；系统故障自动诊断与处置；在线的自适应及应急应变能力等。同时，伴随一些新的热处理计算机的出现和发展，未来的热处理将在高效、精确的质量控制下，通过智能控制方式依靠人们的需求生产热处理产品，人们可以遥控生产，虚拟制造，网上控制和管理，集成在线完成多工序的复杂操作、生产、管理工作等。这些正是热处理计算机应用技术的发展趋势。

机器人在热处理中的应用，可以有效地改善工人的劳动条件，提高产品质量和劳动生产率。目前主要是用来进行自动装卸料。由于热处理的生产环境差、劳动强度较大，也由于热处理生产向自动化、集成化、柔性化的方向发展，因此，今后机器人在热处理生产中的应用将日趋增多。

关键词：
汽车零部件 热处理工艺与装备 状况与趋势
（收稿日期20130612）