

大型模具热处理技术在汽车制造业的应用

□ 哈尔滨汇隆汽车箱桥有限公司/金荣植



大型模具热处理除了采用常规的预备热处理（如正火、退火、调质、时效等）及最终热处理（如淬火、回火、固溶与时效等）外，为了提高模具的使用性能及使用寿命，可采用强韧化处理技术（如等温淬火、高温淬火等）、表面淬火技术（如火焰淬火、激光淬火、感应淬火等）、化学热处理技术（如渗氮、渗碳、TD处理等）及表面覆层技术等。

随着我国汽车工业的快速发展，对模具的需求量越来越大，一般中型载货汽车的改型需要模具4 000多套，质量达2 000t，其中大型模具的应用也越来越广泛，几吨甚至几十吨模具用于生产，模具制造质量与使用寿命在很大程度上取决于模具材料与热处理技术水平。

目前，用于大型模具材料有：铸铁、铸钢、部分塑料模具钢、部

分冷作模具钢、火焰淬火锅、部分高淬透性热作模具钢等。大型模具热处理除了采用常规的预备热处理（如正火、退火、调质、时效等）及最终热处理（如淬火、回火、固溶与时效等）外，为了提高模具的使用性能及使用寿命，可采用强韧化处理技术（如等温淬火、高温淬火等）、表面淬火技术（如火焰淬火、激光淬火、感应淬火等）、化

学热处理技术（如渗氮、渗碳、TD处理等）及表面覆层技术等。

强韧化处理技术

大型汽车模具采用强韧化热处理技术，如等温淬火、高温淬火等，可获得较高的力学性能及使用寿命。

（1）等温淬火。大型模具采用等温淬火后，可获得下贝氏体与

马氏体复相组织，其具有高的硬度与强韧性配合，模具畸变小，不易开裂。

例如，汽车前梁模具，尺寸为800mm×1 200mm×550mm，模具材料为5CrNiMo钢，单件重5t。

技术要求：模体硬度33~37HRC，燕尾硬度26~30HRC。

模具制造工艺流程：下料→锻打→退火→粗加工→淬火→回火→精加工→打磨→检验。

等温淬火工艺：一次预热560℃×4h，二次预热860℃×4h，高温加热900~920℃×12h，在热处理炉中预冷至780~800℃后入油，冷至模体表面温度200℃左右出油，立即回火：一次回火280~300℃×8h+530℃×14h，空冷。二次回火280~300℃×2h+510℃×10h，空冷；燕尾部热处理。

模具寿命：模面硬度35~36HRC，燕尾部硬度29~30HRC。该工艺提高了模具的高温强度和综合力学性能，模具使用寿命提高20%。

(2) 双介质延迟冷却马氏体等温淬火工艺。该工艺可使模具获得较高强度和韧性，从而提高模具使用性能与寿命。

以高强度球墨铸铁制造的大型汽车覆盖件拉深模具为例。

双介质延迟冷却马氏体等温淬火工艺：先将模具缓慢预热，再加热至880~900℃，保温后先在空气中预冷，然后在盐水中冷却至550℃左右，即转入油中冷却。当模具冷却到250℃左右时，即放入180~200℃的热油中，等温保持到2~3h，当油温降至170℃左右，等温5~7h，最后转入空冷，模具

硬度为55~58HRC。

真空热处理技术

真空热处理可以使大型汽车模具获得较高的综合性能，表面质量高，热处理畸变小，表面硬度高，从而满足其使用性能要求。

例如，某汽车用特大型模具，尺寸为1 660mm×1 500mm×465mm，质量5 600kg，其是由9 800kg电渣重熔的H13 (4Cr5MoSiV1) 钢锻坯加工而成。用Super Turbo真空炉对特大型模具进行热处理。

该模具采用对流加热均匀地逐步加热到750℃，然后加热到1 000℃。经充分保温后，用1.5MPa氮气并变换（由装有热电偶的）模块上的冷却分布来控制气流模式，进行均匀冷却。在400℃停止冷却进入等温保持阶段，使心部的大量热量传至较冷的表面进行均衡，以减少模具畸变，避免开裂。检验结果见表1。

表1 特大型模具真空气淬后的结果

项目	表面	心部
显微组织	细小	细小（在淬火状态下）
晶粒度/级	10~11	9
抗拉强度 R_m /MPa	1287	1 264
屈服强度 R_{el} /MPa	1044	10 190
断后伸长率 A (%)	19.5	17.8
断面收缩率 Z (%)	52.8	49.1
冲击吸收功 W/J	262, 282, 279	221, 239, 238

化学热处理技术

大型汽车模具经过适当的化学热处理后，一般可以获得比该钢种

普通淬火更高的硬度、更好的耐磨性与疲劳强度，而且心部仍具有良好的塑韧性和较高的强度。目前，离子渗氮技术已成为提高大型（铸铁）模具制造质量及延长旧模具使用寿命的主要手段之一。

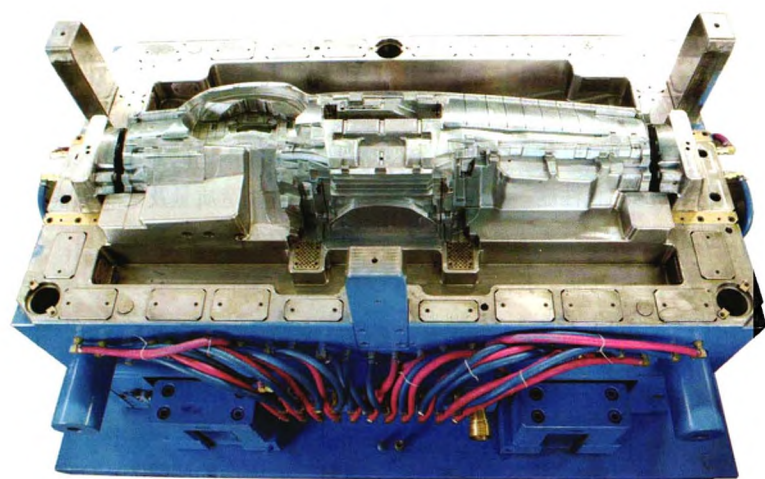
1. 实例1

为了降低模具制造成本，不少大型模具材料采用铸铁材料制造，如汽车表面覆盖件拉延模常用铸铁材料，如国产的HT300、QT600-2、Mo、MoCr及MoV铸铁，日本的TGC600、FCD250、FCD540铸铁，以及德国常用的GGG70L球墨铸铁等。一般来说，对小型和小批量生产用模具，德国一般选用灰铸铁GG25和铸钢GS (ZG25铸钢) 制造；对于高精度、长寿命和大批量生产用大型模具，一般选用灰铸铁GG25V和球墨铸铁GGG60、GGG70、GGG70L制造。

对汽车覆盖件模具，材料的耐磨性至关重要。灰铸铁尤其是球墨铸铁经过渗氮处理后，具有很高的疲劳强度、耐磨性和抗咬合性。

(1) 热处理设备。大型汽车模具离子渗氮，可采用德国MPT公司等生产的大型自动控制脉冲电源离子渗氮炉，炉膛直径分别为1 400mm和3 000mm。

(2) 热处理工艺。大型铸铁模具离子渗氮温度不宜超过580℃，常选用520~560℃；保温时间不宜少于8h，常选用12~24h。离子渗氮采用氮氢混合气或氨气。铸铁模具要求高耐磨性时，采用含氮气60%~90%（体积分数）的氮氢混合气；高精度、长寿命模具要求采用含氮气10%~30%



(体积分数)的氮氢混合气或氨气。几种常用铸铁材料离子渗氮效果见表2。

2.实例2

轿车车身覆盖件拉伸模的离子渗氮技术。一汽捷达轿车左侧围拉伸模具，外形尺寸为4 300mm×2 300mm×600mm，质量9.5t，用普通灰铸铁制造，其化学成分w(质量分数)为： $w_C=3.06\%$ 、 $w_{Mn}=0.85\%$ 、 $w_{Si}=1.64\%$ 和 $w_{Cr}=0.04\%$ ， $w_{Mo}<0.01\%$ 。此拉伸模已经使用33年，曾经进行火焰淬火，并经多次补焊修复，模具表面硬度为320~350HV1。使用中型腔表面划伤严重，冲压件表面经常拉伤，经再次补焊修复后，采用德国MPT公司制造的 $\phi 3\ 000\text{mm}\times 5\ 000\text{mm}$ 大型

自动控制脉冲电源离子渗氮炉进行离子渗氮，其工艺处理过程自动控制、自动完成，为了改善大型模具离子渗氮均匀性和节省电能，在离子渗氮炉内设置专用保温屏。

模具的离子渗氮工艺过程如下：

(1) 模具预处理。模具经过200~300℃加热，清除其表面油脂和油漆，再对其表面清理抛光和全面清洗，然后装炉。

(2) 离子渗氮过程。抽真空2h，初期真空达50Pa；300℃、400℃分级升温共56h，加热时通入氨气；采用氮氢混合气进行离子渗氮，渗氮温度540℃，渗氮时间24h，气压为350Pa；炉温降至99℃左右时（约25h），模具出炉。总工艺周期为107h左右。

(3) 检验结果。模具炉冷至

室温后，对型腔表面进行轻微抛光，用MIC-10型超声硬度计测量型腔表面硬度，按模具直立装炉位置在3 100mm长度区域，检测表面硬度为525~585HV1，可见模具上下硬度比较均匀，并且表面硬度提高200HV1以上。检验随炉试块硬度为538HV1，渗氮层深度0.4mm。经装机试验表明，模具畸变极小。对原补焊点出现的软点（450~520HV1），可进行补焊处理。

(4) 模具寿命。经装机使用，模具畸变小，冲压件表面质量显著提高，模具寿命明显延长。

激光热处理技术

激光热处理在大型汽车模具表面强化与修复方面具有巨大的潜力，如在汽车制造业中，汽车覆盖件用大型拉深模具的表面强化，由于模具尺寸大，通常用CrMo铸铁制造，这种合金铸铁表面原始硬度300~350HV，传统的热处理方法不能对其进行有效的强化处理，对此可采用激光相变强化技术，模具处理过程基本无畸变，硬度提高幅度大，表面质量好。

经激光相变处理后，模具淬硬层深度沿深度方向在0.1~0.2mm处的硬度达到最大值，显微硬度为700HV左右。在表面以下0.6mm处，硬度仍能保持在600HV。

1.实例1

使用激光表面相变强化技术对数十套汽车大型模具进行处理，其涉及载货汽车、微型汽车、小型轿车的内、外板拉深模、整形翻边模。经汽车制造厂家实际生产使用，均达到满意效果。

例如某微型汽车前隔板拉深

表2 铸铁材料离子渗氮结果

铸铁名称	德国牌号	化合物层厚 /μm	化合物层硬度 HV0.1	渗氮层深 /mm	表面硬度 HV0.1
灰铸铁	GG25	4~15	800~1 100	0.1~0.3	350~500
灰铸铁	GG25V	4~15	800~1 100	0.1~0.3	400~550
球墨铸铁	GGG50	4~15	800~1 100	0.2~0.3	400~600
球墨铸铁	GGG60	4~15	800~1 100	0.2~0.4	450~650
球墨铸铁	GGG70	4~15	800~1 100	0.2~0.4	450~650
球墨铸铁	GGG70L	4~15	800~1100	0.2~0.4	600~800

模,材料为CrMo铸铁,激光相变处理前,拉深模表面硬度约40~46HRC,由于工作型面表面硬度不足,表面易发生粘结现象,导致冲压件被拉伤,影响其外观质量。生产过程中需要花费大量的时间对模具工作型面进行研磨抛光,在线维修率达10%。

模具经激光相变处理后,表面硬度可提高到55~65HRC,有效硬化层深度为0.5~0.7mm。模具已生产40批次,共计110 000件,冲压件拉深问题得到有效控制,同时减少了模具维修时间与费用。

2. 实例2

生产SC6350微型汽车纵梁前段厚板拉延模一直是采用Cr12MoV钢制造,其由12个镶块组合而成。由于镶块制造时的淬火畸变较大,需要进行二次加工,因镶块“接缝”的影响,该模具的加工费用高、周期长,生产中被加工零件易出现“拉烧”的现象,一直无法解决。对此,改用激光淬火技术,由原12个Cr12MoV钢镶块改用球墨铸铁QT600-2整体铸造成形,对型腔表面采用激光淬火强化处理,可使其

表面硬度达到58~62HRC,激光淬火后模具无畸变,只需对其表面稍作精细研磨,即可投入使用。与原制造工艺相比,模具采用激光淬火后,材料费用节约40%~60%,加工工时和刀具费用降低30%,模具使用寿命大幅度提高。

3. 实例3

微型汽车覆盖冲压件原使用灰铸铁HT300,硬度仅有28~32HRC。模具使用时只能冲压几十件甚至几件就需要修模,严重影响加工效率并增加加工时费用。对此,采用激光淬火技术,对灰铸铁模具表面进行激光淬火,其硬度可达58HRC以上,模具使用寿命大幅度提高,经连续冲压5 000件后换下模具检查,其表面无需“油光”处理仍可连续使用。

感应淬火技术

目前,感应热处理采用先进的感应加热电源及数控淬火机床,如采用国际先进的EFD感应电源和7轴控制、6轴联动的大型模具数控淬火机床,已经成功用于汽车行业,如用于汽车大型覆盖件模具

等。解决了模具型腔曲面难以进行理想、低成本、高效的表面强化热处理,并使模具寿命显著提高。

部分模具感应淬火数据见表3。已经为比亚迪(深圳)汽车公司模具零件(HT300)进行感应淬火,效果很好。

表3 部分模具材料的感应淬火数据

材料名称	表面硬度 (水淬) HRC	预备热处理
35	40~45	正火或调质
45	50~63	正火或调质
40CrNiMoA	50~63	调质
珠光体球墨铸铁	50~60	正火
珠光体可锻铸铁	50~60	正火
灰铸铁	47~55	正火

例如,上海大众汽车后箱盖拉延模,一套模具具有两副,上下各2块,共8块。模具材料为GM241灰铸铁,模具淬硬层深度要求2.5~3.5mm,模具表面硬度 ≥ 47 HRC。

由于模具外形尺寸大,原采用火焰淬火方式,除了淬硬面较窄、淬硬层较浅外,还经常因热处理不当出现淬不硬和过烧开裂问题。为此,改用感应淬火工艺,很好地解决了此类问题。

(1) 设备。感应淬火加热电源采用EFD挪威MINAC25型感应电源。感应淬火采用数控淬火机床。

(2) 工艺与效果。感应淬火温度860~920℃,频率为10~25kHz,感应加热功率为70% P_0 (功率密度)时,模具具有最佳感应淬火效果,感应淬火采取空冷方式。经检验,模具表面硬度47~55HRC,组织为细马氏体+少量珠光体或残留奥氏体,完全达到技术要求。 **AUTO1950**

