

单元三 机械工程材料

任务二 钢的热处理常识

任务导入：通过学习，让学习者了解我国热处理技术的悠久历史；了解热处理技术的概念、目的、类型及应用。本课程教学之前，有条件的学校可以组织学生参观热处理生产企业，让学生感性认知常见的各种热处理类型及工艺流程。

任务实施:

阅读材料一，完成思考题:

1. 公元6世纪记载綦母怀文将灌钢刀“予以五牲之溺，淬以五牲之脂”，可能是_____的最早记录。
2. 关于我国古代热处理技术方面较为丰富的记载是明代科学家_____的《_____》一书。



阅读材料一：我国热处理技术的历史

- 热处理技术在我国已有悠久历史。**16**世纪以前，我国在冶金学及金属材料加工工艺与应用方面居世界先进地位。早在商代就已经有了经过再结晶退火的金箔饰物；春秋中叶就开始利用渗碳原理将海绵铁制成钢；公元前**5**世纪，我国发明了使铁局部石墨化制造韧性铸铁的热处理技术，从而使其广泛用于农具、工具及兵器的生产；在洛阳出土的战国时代的铁镞是由白口铁经脱碳退火制成，说明了在当时即掌握了利用生铁脱碳制钢的技术；公元前**1**世纪又发明了炒钢炼钢法，这种炼钢法要比欧洲约早**1800**年。

- 淬火技术早在公元前3世纪就在刀剑制作中得到应用，司马迁《史记·天官传》已有详细的记载，《汉书·王褒传》中也有“清水淬其锋”的记载；公元2世纪末，刀师蒲元已掌握了水质对淬火的影响；公元前6世纪有关著作中记载的綦母怀文将灌钢刀“予以五牲之溺，淬以五牲之脂”，可能是有关双液淬火的最早记录；东汉时期，我国还发明了利用生铁液对熟铁进行渗碳。关于古代热处理技术记载最为丰富的当属明代科学家宋应星的《天工开物》，该书中对退火、淬火、固体渗碳、形变强化、防氧化技术等均有生动的描述。

- 随着冶金及机械制造业的发展，热处理工艺技术和基础理论的研究有了极大进步，尤其是在近几十年来，由于科技领域之间的相互渗透和世界性的能源危机，使热处理技术向优质、高效率、节约能源及无公害方向发展，并使热处理技术领域日益扩大，如高能量密度表面淬火及表面合金化，表面覆层强化技术、离子热处理技术等。因此，热处理技术日益成为一种由多种学科为基础的综合技术。



阅读材料二：热处理概述

钢的热处理是将固态钢材采用适当的方式进行加热、保温和冷却以获得所需组织与性能的工艺。热处理的工艺方法虽然很多，但是无论任何何种热处理工艺均由加热、保温、冷却三个阶段组成。其工艺曲线如图3-29所示。

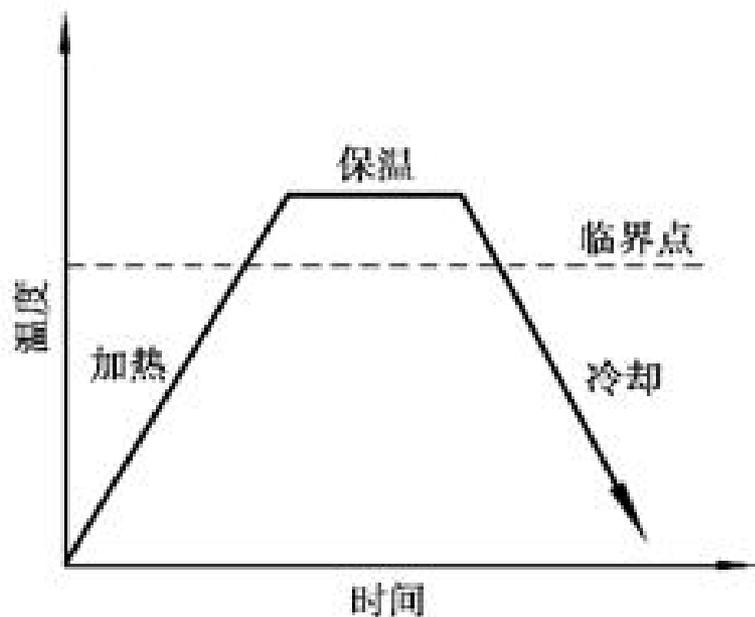


图 3-29 钢的热处理的工艺曲线

- 按照热处理在整个工艺流程中的位置和作用不同，热处理分为预先热处理和最终热处理。其中预先热处理是为随后的加工或进一步热处理做准备，而最终热处理是赋予零件最终的使用性能。
- 通过适当的热处理，不但可以提高零件的使用性能，充分发挥钢材的潜力，延长零件的使用寿命，而且还可改善工件的工艺性能，提高加工质量，减小刀具磨损。因此，热处理技术在机械制造业中具有十分重要的作用。

阅读思考：

1. 任何一种热处理工艺均由_____、
和_____三个阶段组成。
2. 根据热处理在整个工艺流程中的位置和作用不同，
热处理分为_____和_____。



问题解决

- 根据加热、冷却方式以及组织、性能变化特点等不同，钢的热处理有普通热处理和表面热处理两大类，具体类型如图3-31所示。

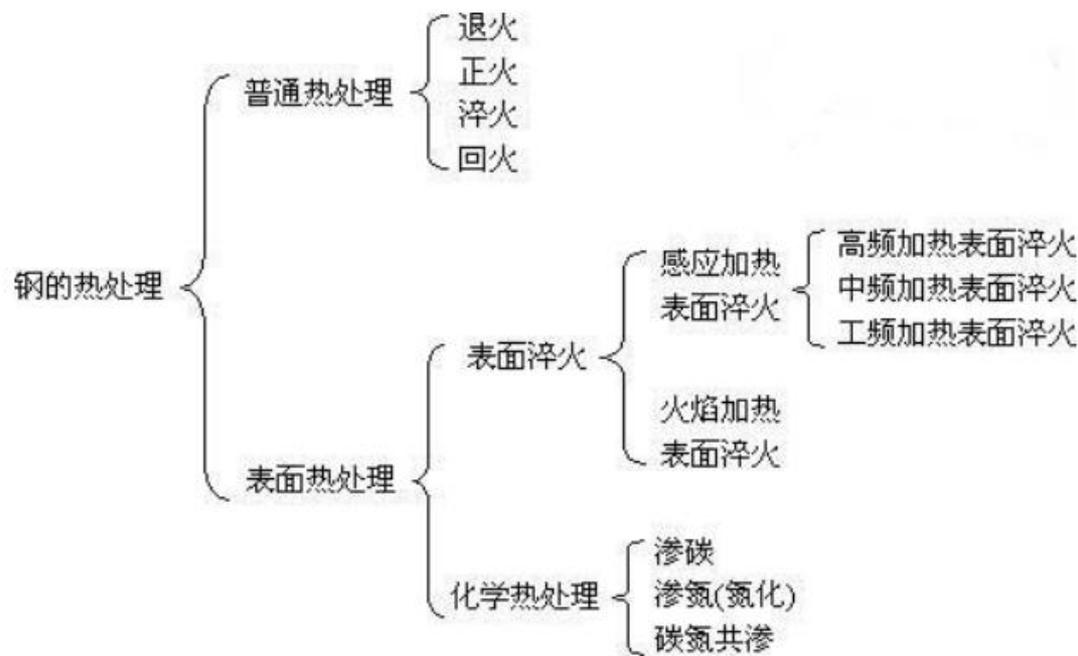


图3-31钢的热处理的分类



阅读材料三：退火与正火

• 一、钢的退火

- 将钢加热到适当温度，保温一定时间，然后缓慢冷却（一般随炉冷却）至室温的热处理工艺称为钢的退火。
- 钢进行退火的目的是：降低硬度，提高塑性，以利于切削加工及冷变形加工；细化晶粒，均匀组织和成分，改善钢的性能或为后续热处理作准备；消除内应力，防止工件变形和开裂。

- 退火根据钢的化学成分和退火目的的不同，可分为完全退火、球化退火、去应力退火、扩散退火、等温退火、再结晶退火等。
- 1.完全退火
- 将钢加热到完全奥氏体化（ AC_3 以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$ ），保温一定时间随之缓慢冷却到 500°C 以下，出炉空冷至室温的退火工艺。
- 完全退火由于加热时钢的组织完全奥氏体化，且在随后的缓冷过程中奥氏体全部转变为细小而均匀的室温组织，因此可细化晶粒，消除内应力，降低硬度，以利于切削加工。
- 完全退火主要用于中碳钢及低、中碳合金钢的铸件、锻件、热轧型材等。有时也用于焊接件。

- 2.球化退火
- 将钢加热到AC1以上20~30 °C,保温一定时间后,以不大于50 °C /h的冷却速度随炉冷却下来,使钢中碳化物呈球状的退火工艺。
- 经球化退火后,钢中的碳化物均发生了球化,得到了硬度更低、塑性更好的球状组织。因此球化退火的目的是降低硬度、提高塑性、改善切削加工性能。
- 球化退火主要适用于共析钢和过共析钢及其合金。

- 3.去应力退火
- 将钢加热到略低于A1的温度（一般取500~650 °C），保温一定时间后随炉缓冷至200~300 °C出炉空冷的退火工艺。又称低温退火。
- 去应力退火主要用于消除铸件、锻件和焊接件中由于塑性变形、焊接、切削加工、铸造等形成的残余应力。

- 4.扩散退火
- 将钢加热到AC3以上150~250 °C,长时间保温,使钢中元素充分扩散,然后缓慢冷却的退火工艺。
- 扩散退火目的是减少金属铸锭、铸件或锻坯的化学成分偏析和组织不均匀性,以达到化学成分和组织的均匀化。

温馨提示:

在上述退火工艺中,去应力退火热处理前后,没有发生组织变化。

- 二、钢的正火
- 将钢加热到 AC_3 （亚共析钢）或 ACC_m （过共析钢）以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$ ，保温适当时间后，在空气中冷却的热处理工艺称为钢的正火。
- 正火的主要目的是：对低碳钢，可细化晶粒，提高硬度，改善切削加工性能；对中碳钢，可提高硬度和强度，作为最终热处理；对高碳钢，可消除网状碳化物，为后续加工及球化退火、淬火等做好组织准备。

- 正火主要用于以下场合：
- (1)改善低碳钢和低碳合金钢的切削加工性。因低碳钢和某些低碳合金钢的退火组织中铁素体含量较多，硬度偏低，在切削加工时易于产生“粘刀”现象，增加表面粗糙度值。采用正火能适当提高其硬度，将其调整到易切削的范围（**160~230HBS**）改善其切削加工性能。
- (2)正火可细化晶粒，其组织力学性能较高，所以当力学性能要求不太高时，正火可作为最终热处理，也能满足普通结构零件的性能要求。
- (3)消除过共析钢中的网状渗碳体，改善钢的力学性能，并为球化退火作组织准备。
- (4)代替中碳钢和低碳合金结构钢的退火，改善它们的组织结构和切削加工性能。

拓展阅读：金属切削过程中的“粘刀”现象

金属切削加工过程中工件随着温度的升高，硬度变小、塑性增加，刀屑界面摩擦随之变大。若温度上升到加工工件熔点时就产生了灼伤；塑性变大了，切割面不容易剥离，刀具和工件间产生了强制性的运动便产生金属屑粘附刀头的现象。即所谓的“粘刀”现象。

“粘刀”现象一般是被加工金属硬度低，一旦发生，势必造成刀具的损坏；工件的精密度、光亮度等严重受损，刮花、表面灼伤、产生积削瘤等问题应运而生，加工表面质量直线下降。因此要坚决加以预防。

阅读思考:

1. 在常见的退火工艺中，适用于中碳钢锻件退火的是_____；适用于过共析钢铸件退火的是_____；在退火前后没有发生组织变化的是_____。
2. 试比较退火与正火的异同。



阅读材料四：淬火与回火

- 一、钢的淬火
- 淬火是将合金加热到AC3或AC1以上某一温度、保温一定时间，然后以适当速度冷却获得马氏体（或贝氏体）组织的热处理工艺。
- 淬火的主要目的是提高工件的强度、硬度和耐磨性。

- 1.钢的淬火加热温度
- 对亚共析钢来说，通常钢的淬火加热温度选择AC3以上30~50°C；对过共析钢，淬火加热温度常选择在AC1以上30-50°C。
- 2.淬火冷却介质
- 钢在淬火过程中，理想淬火冷却速度是在“鼻温”以上缓慢冷却，“鼻温”附近快速冷却，“鼻温”以下缓慢冷却。实际中很难找到完全符合上述特性的冷却介质。常用的淬火介质有油、水、盐水、碱水等，其冷却能力依次增加。对于碳钢零件通常采用水作为淬火冷却介质，合金钢零件通常选油作为冷却介质。

• 3. 淬火方法

- 为了保证获得所需淬火组织，又要最大限度地减小变形和避免开裂，除了正确地选择加热及合理地选择冷却介质外，还应该根据工件的材料、尺寸、形状和技术要求选择合理的淬火方法。常用的淬火方法包括单液淬火、双液淬火、分级淬火及等温淬火等。如图3-32所示。

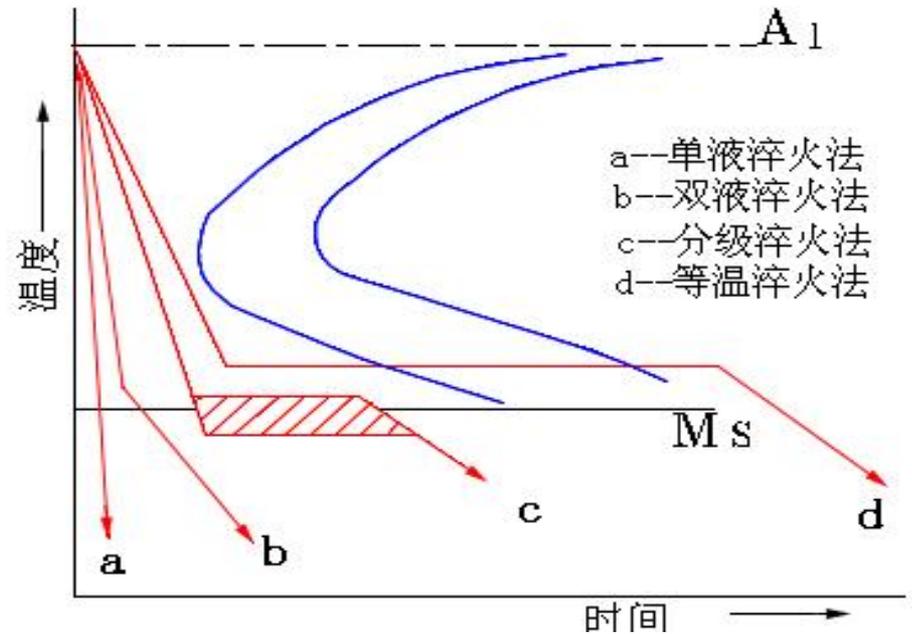


图3-32各种淬火方法示意图

- (1)单液淬火
- 将钢件奥氏体化后，在单一淬火介质中冷却至室温的淬火热处理。
- 特点：操作简单，容易实现机械化和自动化。但单独采用一种介质进行冷却，综合的冷却特性不够理想，容易产生硬度不足等淬火缺陷。

- (3)分级淬火
- 将钢件奥氏体化后，随之浸入温度稍高或稍低于钢的马氏体转变起始温度点的液态介质中，保温适当时间，待工件的内外层均达到介质温度后取出空冷或油冷，从而获得马氏体组织的淬火热处理。如，先放入一定温度的盐浴或碱浴中，再空冷。
- 特点：鉴于工件内外温差小，可有效减小内应力，防止工件变形和开裂；但淬火过程中可能会出现非马氏体组织。因此主要用于合金钢工件以及截面不大、形状复杂的碳钢工件。

- (4)等温淬火
- 将钢件奥氏体化后，放入温度稍高于**MS**点的盐浴或碱浴中，保温足够时间，使奥氏体转变为下贝氏体组织的淬火热处理。
- 特点：可强化钢材，显著地减小淬火应力和变形。经淬火后的工件既具有良好的强度和韧性，也具有较高的硬度和耐磨性。常用于处理形状复杂的各种模具、成形刀具等。

- 二、钢的回火
- 将淬火后钢件再加热到AC1以下的某一温度，保温一定的时间，然后冷却到室温的热处理工艺称为钢的回火。
- 1.回火的目的
- (1)消除内应力 通过回火减小或消除工件淬火时所产生的内应力，防止工件在使用过程中的变形和开裂。
- (2)获得所需要的力学性能 通过回火可提高钢的韧性，适当调整钢的强度和硬度，使工件具有较好的综合力学性能。
- (3)稳定组织和尺寸 回火可使钢的组织稳定，从而保证工件在使用过程中尺寸稳定。

- 2.回火的类型
- 根据回火温度不同，回火可分以下三种：
- (1)低温回火（ $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ ）
- 低温回火得到回火马氏体组织，其性能是：具有高的硬度（最高可达**64HRC**）、高耐磨性和一定的韧性。
- 低温回火主要用于刀具、量具、冷冲压模具及其他要求硬而耐磨的零件。

- (2)中温回火（ $350\sim 500^{\circ}\text{C}$ ）
- 中温回火得到的回火托氏体组织，其性能是：具有高的弹性极限、屈服点和适当的韧性，硬度可达 **$35\sim 50\text{HRC}$** 。中温回火主要用于弹性零件及热锻模具等。
- (3)高温回火（ $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ ）
- 高温回火得到的是回火索氏体组织，其性能是：具有良好的综合力学性能（足够的强度和高韧性相配合），硬度可达 **$200\sim 330\text{HBS}$** 。广泛用于螺栓、连杆、齿轮、曲轴等受力构件。

温馨提示：

生产中常把淬火及高温回火的复合热处理工艺称为调质。

拓展阅读：钢的“淬硬性”和“淬透性”

钢的淬透性是指在规定条件下，钢在淬火冷却时获得马氏体组织深度的能力。主要取决于钢的临界冷却速度。

钢的淬硬性是指钢在理想条件下淬火成马氏体后所能达到的最高硬度。主要取决于钢的含碳量。

淬硬性和淬透性是两个不同的性能指标，淬透性好的钢，其淬硬性未必好；同理。淬硬性好的钢，其淬透性也未必好。

阅读思考：

1. 常见的淬火方法有_____、_____、
和_____。
2. 根据回火温度不同，回火工艺分为_____、
和_____三种。
3. 钢的淬火硬度主要取决于_____。



问题解决

- 退火与正火主要应用于各类铸、锻、焊工件的毛坯或工件加工过程中的半成品，用这种工艺消除冶金及热加工过程中产生的缺陷，并为以后的机械加工及热处理准备良好的组织状态，因此通常把退火、正火称为预备热处理。
- 相对于退火来说，正火具有生产周期短、成本低、操作方便等退火无法比拟的优点，因此实际生产中在可能的条件下应优先采用正火。但在零件形状复杂时，由于正火的冷却速度较快，有引起开裂的危险，则采用退火为宜。
- 淬火和回火是最重要的热处理工序。淬火与不同温度的回火工艺相结合，不仅可以显著提高钢的强度和硬度，而且可以获得不同强度、塑性、韧性的良好配合，满足零件对材料力学性能提出的要求。



阅读材料五：表面淬火

表面淬火是仅把零件需耐磨的表层淬硬，而中心仍保持未淬火的高韧性状态的热处理工艺。根据淬火加热方式的不同，表面淬火分为火焰加热表面淬火、感应加热表面淬火（工频、中频、高频、高频脉冲加热淬火）、激光表面加热淬火、离子束表面加热淬火等等。

- 一、火焰加热表面淬火
- 应用氧-乙炔（或其他可燃气体）火焰喷射到工件表面，使其被快速加热到淬火温度，随后立即喷水冷却的热处理工艺，称为火焰加热表面淬火。如图3-33所示。
- 火焰加热表面淬火由于其加热温度及淬硬层深度不易控制，因此其淬火质量不稳定。一般适用于含碳量0.35%~0.7%的中碳钢或中碳合金钢（如45、40Cr等）的单件或小批量生产。

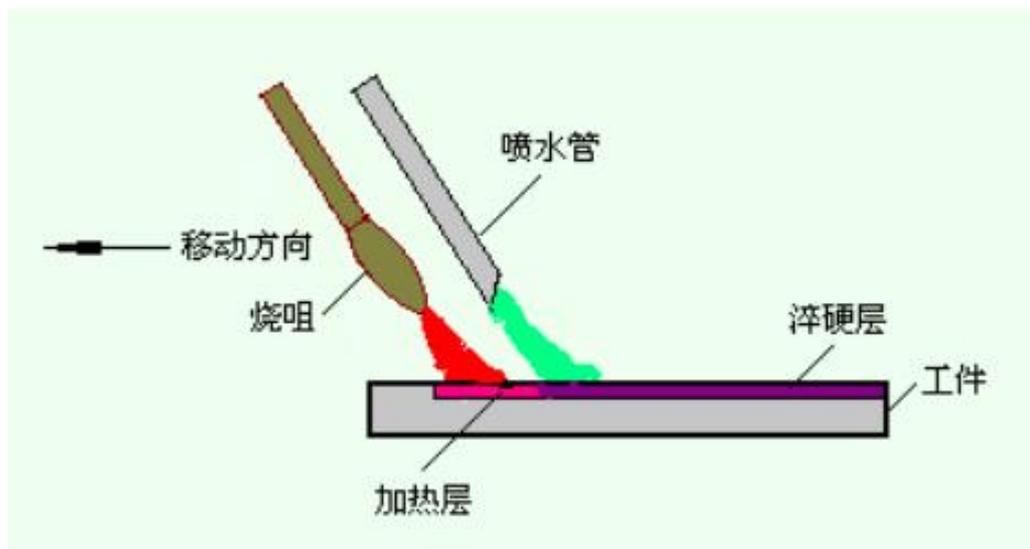
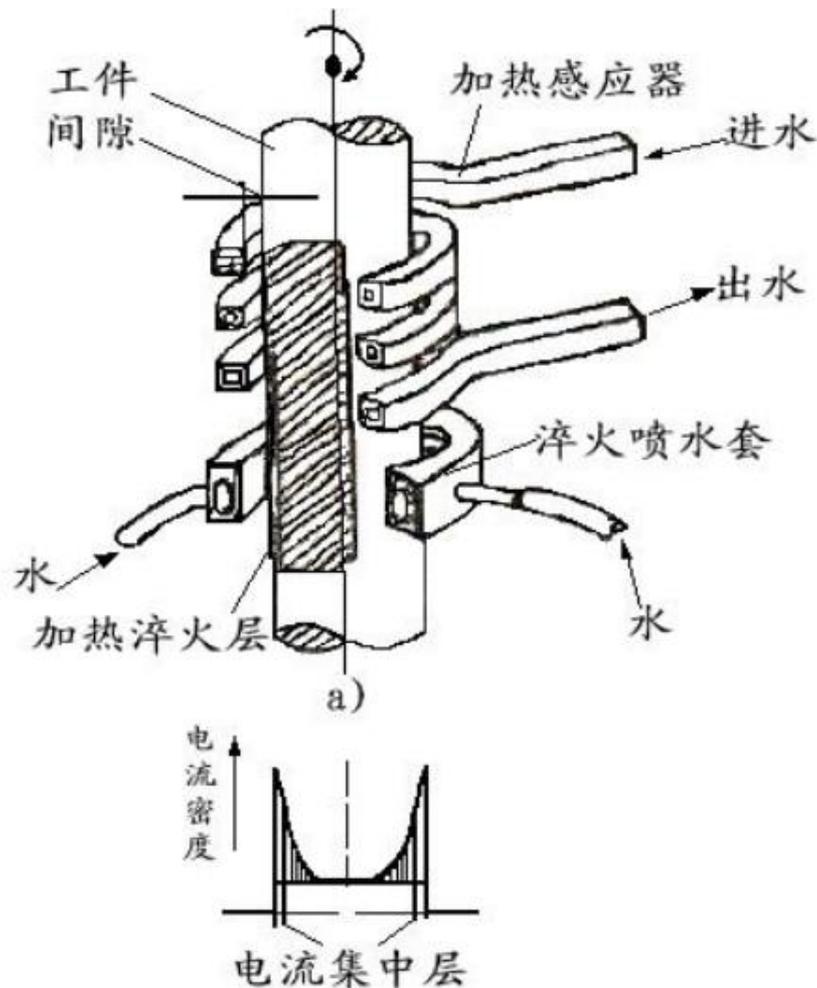


图3-33火焰加热表面淬火示意图

• 二、感应加热表面淬火

利用感应电流通过材料或工件所产生的热量，使材料或工件表层、局部或整体加热并快速冷却的淬火工艺，称为感应加热表面淬火。图3-34所示为其原理图



3-34感应加热表面淬火示意图

- 感应加热表面淬火的淬硬层深度主要取决于电流频率，频率越高淬硬层越浅（电流频率和淬硬层的关系见表(3-19)）。主要适用于中碳钢、中碳合金钢等。

表 3-19 生产中常用的电流频率和淬硬层的关系表

类别	常用频率/Hz	淬硬层深度/mm	应用举例
高频感应淬火	200~250kHz	0.2~2	小模数齿轮和小轴类零件的表面淬火
中频感应淬火	2500~8000	2~5	用于中、小模数的齿轮、凸轮轴、曲轴的表面淬火
工频感应淬火	50	大于 10	冷轧辊表面淬火
超音频感应淬火	20~40kHz	2.5~3.5	用于模数为 3~6 的齿轮、花键轴、链轮等要求淬硬层沿轮廓分布的零件

阅读思考：

1. 中碳钢或中碳合金钢若想获得“表面硬、心部韧”的组织宜采取何种热处理工艺？
2. 感应加热表面淬火为什么可以获得硬度比普通淬火高2~3HRC？



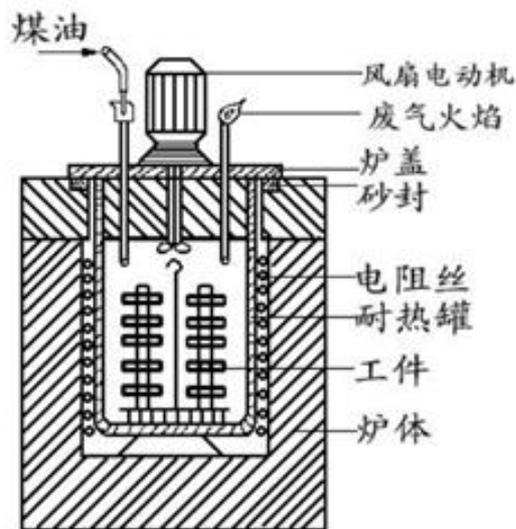
阅读材料六：化学热处理

将钢置于一定温度的活性介质中保温，使一种或几种元素渗入其表层，以改变其化学成分、组织和性能的热处理工艺，称为化学热处理。

化学热处理根据不同的分类标准分成不同的类型。通常以渗入元素来命名。例如工件表面渗入碳元素称为渗碳，渗入氮元素称为渗氮；同时渗入碳和氮元素称为碳氮共渗；渗入金属元素的称为渗金属等。但无论何种类型，热处理的过程均包含“分解”、“吸收”和“扩散”三个阶段。

一、钢的渗碳

将工件放在渗碳介质中加热并保温，使碳原子渗入表层的化学热处理工艺称为钢的渗碳。如图3-35所示。渗碳后工件表层含碳量提高，但心部仍为低碳。经淬火及低温回火后，零件表层具有高硬度、高耐磨性、高疲劳抗力，而心部仍保持一定的强度及较高的塑性和韧性。



(a) 井式渗碳炉示意图

(b) 井式渗碳炉实物

图3-35 钢的渗碳

- 渗碳用钢的含碳量一般在0.15~0.25%，如：**20CrMnTi**。渗碳方法有气体渗碳、固体渗碳和液体渗碳，目前广泛应用的是气体渗碳法。气体渗碳常用煤油、丙酮、甲醇等渗碳剂裂解后产生的渗碳气体进行渗碳。

- **二、钢的渗氮**
- 在一定温度下（一般在**AC1**以下）使活性氮原子渗入工件表面的化学热处理工艺，称为渗氮。工件经渗氮后，可以获得高的表面硬度、耐磨性、疲劳强度及耐蚀性。
- 常用的渗氮方法有气体渗氮、离子渗氮等。生产中应用较多的是气体渗氮，渗氮介质主要为氨气。优质碳素结构钢和合金结构钢均可用作渗氮用钢，应用历史最悠久的渗氮用钢为**38CrMoAl**。

• 三、钢的碳氮共渗

- 在一定温度下，同时将碳、氮渗入工件表层奥氏体中并以渗碳为主的化学热处理工艺，称为碳氮共渗。
- 碳氮共渗常用的共渗方法为气体碳氮共渗，常用的介质为苯（煤油）+氨气等。经碳氮共渗后的工件，不但具有渗碳和渗氮的优点，而且提高表面硬度、抗疲劳性和耐磨性。

温馨提示：

工件表层渗入氮和碳并以渗氮为主的化学热处理工艺称为氮碳共渗。其共渗介质常用尿素。其原理及应用课后可查阅相关资料。

• 四、渗金属

- 将金属原子渗入工件表面的化学热处理工艺，称为渗金属。常见的渗金属方法有：渗硼、铝、铬、钒、锰等。例如，渗铬可使渗后工件具有较好的耐蚀性和优良的抗氧化性、硬度和耐磨性，并可代替不锈钢和耐热钢用于机械和工具制造；再如，工件渗硼后表面具有很高的硬度和耐磨性、良好的耐腐蚀磨损和泥浆磨损的能力，耐磨性明显优于渗氮、碳和碳氮共渗层，但不耐大气和水的腐蚀。主要用于泥浆泵零部件、热作模具和工件夹具。

阅读思考：

- 1.化学热处理和其他热处理方法相比的本质区别在于化学热处理改变了工件的_____。
- 2.任何化学热处理均包含____、_____和_____三个阶段。
- 3.渗碳的目的是什么？为什么渗碳后要进行淬火和低温回火？



问题解决

- 机械设备中，零件工作过程中受到冲击载荷及表面剧烈摩擦作用（如高速旋转的曲轴、齿轮等），因此该类零件必须满足表面具有高硬度、高耐磨性，心部具有足够的塑性和韧性。此时则需要对其进行表面热处理。
- 表面淬火是一种对零件需要硬化的表面进行加热淬火的工艺。经表面淬火的零件不仅提高了表面硬度和耐磨性，而且与经过适当预先热处理的心部组织相配合，可以获得高的疲劳强度和强韧性。由于表面淬火工艺简单，强化效果显著，热处理后变形较小，生产过程中易于实现自动化大批生产、生产效率很高，具有很好的技术与经济的综合效益，因此在生产上广泛应用。
- 化学热处理通过改变表面化学成分及随后的热处理，可以在同一材料的工件上，使心部和表面获得不同的组织和性能。例如，保持工件心部具有高的强韧性的同时，使表面有着很高的硬度和耐磨性、耐蚀性等一系列优良的性能。因此在机械制造、冶金、交通、造船、航天航空等领域具有广泛的应用。