

很经典的热处理工艺资料,也许会对您有所帮助!

金属热处理基本知识

金属热处理是将金属工件放在一定的介质中加热到适宜的温度,并在此温度中保持一定时间后,又以不同速度冷却的一种工艺。

1. 金属组织

金属: 具有不透明、金属光泽良好的导热和导电性并且其导电能力随温度的增高而减小,富有延性和展性等特性的物质。金属内部原子具有规律性排列的固体(即晶体)。

合金: 由两种或两种以上金属或金属与非金属组成,具有金属特性的物质。

相: 合金中成份、结构、性能相同的组成部分。

固溶体: 是一个(或几个)组元的原子(化合物)溶入另一个组元的晶格中,而仍保持另一组元的晶格类型的固态金属晶体,固溶体分间隙固溶体和置换固溶体两种。

固溶强化: 由于溶质原子进入溶剂晶格的间隙或结点,使晶格发生畸变,使固溶体硬度和强度升高,这种现象叫固溶强化现象。

化合物: 合金组元间发生化合作用,生成一种具有金属性能的新的晶体固态结构。

机械混合物: 由两种晶体结构而组成的合金组成物,虽然是两面种晶体,却是一种组成成分,具有独立的机械性能。

铁素体: 碳在 α -Fe(体心立方结构的铁)中的间隙固溶体。

奥氏体: 碳在 γ -Fe(面心立方结构的铁)中的间隙固溶体。

渗碳体: 碳和铁形成的稳定化合物(Fe_3C)。

珠光体: 铁素体和渗碳体组成的机械混合物($\text{F}+\text{Fe}_3\text{C}$ 含碳 0.8%)

莱氏体: 渗碳体和奥氏体组成的机械混合物(含碳 4.3%)

金属热处理是机械制造中的重要工艺之一,与其它加工工艺相比,热处理一般不改变工件的形状和整体的化学成分,而是通过改变工件内部的显微组织,或改变工件表面的化学成分,赋予或改善工件的使用性能。其特点是改善工件的内在质量,而这一般不是肉眼所能看到的。为使金属工件具有所需要的力学性能、物理性能和化学性能,除合理选用材料和各种成形工艺外,热处理工艺往往是必不可少的。钢铁是机械工业中应用最广的材料,钢铁显微组织复杂,可以通过热处理予以控制,所以钢铁的热处理是金属热处理的主要内容。另外,铝、铜、镁、钛等及其合金也都可以通过热处理改变其力学、物理和化学性能,以获得不同的使用性能。

在从石器时代进展到铜器时代和铁器时代的过程中,热处理的作用逐渐为人们所认识。早在公元前 770~前 222 年,中国人在生产实践中就已发现,铜铁的性能会因温度和加压变形的影响而变化。白口铸铁的柔化处理就是制造农具的重要工艺。

公元前六世纪,钢铁兵器逐渐被采用,为了提高钢的硬度,淬火工艺遂得到迅速发展。中国河北省易县燕下都出土的两把剑和一把戟,其显微组织中都有马氏体存在,说明是经过淬火的。

随着淬火技术的发展,人们逐渐发现淬冷剂对淬火质量的影响。三国蜀人蒲元曾在今陕西斜谷为诸葛亮打制 3000 把刀,相传是派人到成都取水淬火的。这说明中国在古代就注意到不同水质的冷却能力了,同时也注意了油和尿的冷却能力。中国出土的西汉(公元前 206~公元 24)中山靖王墓中的宝剑,心部含碳量为 0.15~0.4%,而表面含碳量却达 0.6%以上,说明已应用了渗碳工艺。但当时作为个人“手艺”的秘密,不肯外传,因而发展很慢。

1863 年,英国金相学家和地质学家展示了钢铁在显微镜下的六种不同的金相组织,证明了钢在加热和冷却时,内部会发生组织改变,钢中高温时的相在急冷时转变为一种较硬的相。

法国人奥斯蒙德确立的铁的同素异构理论，以及英国人奥斯汀最早制定的铁碳相图，为现代热处理工艺初步奠定了理论基础。与此同时，人们还研究了在金属热处理的加热过程中对金属的保护方法，以避免加热过程中金属的氧化和脱碳等。

1850~1880年，对于应用各种气体(诸如氢气、煤气、一氧化碳等)进行保护加热曾有一系列专利。1889~1890年英国人莱克获得多种金属光亮热处理的专利。

二十世纪以来，金属物理的发展和其它新技术的移植应用，使金属热处理工艺得到更大发展。一个显著的进展是1901~1925年，在工业生产中应用转筒炉进行气体渗碳；30年代出现露点电位差计，使炉内气氛的碳势达到可控，以后又研究出用二氧化碳红外仪、氧探头等进一步控制炉内气氛碳势的方法；60年代，热处理技术运用了等离子场的作用，发展了离子渗氮、渗碳工艺；激光、电子束技术的应用，又使金属获得了新的表面热处理和化学热处理方法。

金属热处理的工艺

热处理工艺一般包括加热、保温、冷却三个过程，有时只有加热和冷却两个过程。这些过程互相衔接，不可间断。

加热是热处理的重要工序之一。金属热处理的加热方法很多，最早是采用木炭和煤作为热源，进而应用液体和气体燃料。电的应用使加热易于控制，且无环境污染。利用这些热源可以直接加热，也可以通过熔融的盐或金属，以至浮动粒子进行间接加热。

金属加热时，工件暴露在空气中，常常发生氧化、脱碳(即钢铁零件表面碳含量降低)，这对于热处理后零件的表面性能有很不利的影响。因而金属通常应在可控气氛或保护气氛中、熔融盐中和真空中加热，也可用涂料或包装方法进行保护加热。

加热温度是热处理工艺的重要工艺参数之一，选择和控制加热温度，是保证热处理质量的主要问题。加热温度随被处理的金属材料 and 热处理的目的不同而异，但一般都是加热到相变温度以上，以获得高温组织。另外转变需要一定的时间，因此当金属工件表面达到要求的加热温度时，还须在此温度保持一定时间，使内外温度一致，使显微组织转变完全，这段时间称为保温时间。采用高能密度加热和表面热处理时，加热速度极快，一般就没有保温时间，而化学热处理的保温时间往往较长。

冷却也是热处理工艺过程中不可缺少的步骤，冷却方法因工艺不同而不同，主要是控制冷却速度。一般退火的冷却速度最慢，正火的冷却速度较快，淬火的冷却速度更快。但还因钢种不同而有不同的要求，例如空硬钢就可以用正火一样的冷却速度进行淬硬。

金属热处理工艺大体可分为整体热处理、表面热处理和化学热处理三大类。根据加热介质、加热温度和冷却方法的不同，每一大类又可区分为若干不同的热处理工艺。同一种金属采用不同的热处理工艺，可获得不同的组织，从而具有不同的性能。钢铁是工业上应用最广的金属，而且钢铁显微组织也最为复杂，因此钢铁热处理工艺种类繁多。

整体热处理是对工件整体加热，然后以适当的速度冷却，以改变其整体力学性能的热处理工艺。钢铁整体热处理大致有退火、正火、淬火和回火四种基本工艺。

退火是将工件加热到适当温度，根据材料和工件尺寸采用不同的保温时间，然后进行缓慢冷却，目的是使金属内部组织达到或接近平衡状态，获得良好的工艺性能和使用性能，或者为进一步淬火作组织准备。正火是将工件加热到适宜的温度后在空气中冷却，正火的效果同退火相似，只是得到的组织更细，常用于改善材料的切削性能，也有时用于对一些要求不高的零件作为最终热处理。

淬火是将工件加热保温后，在水、油或其它无机盐、有机水溶液等淬冷介质中快速冷却。淬火后钢件变硬，但同时变脆。为了降低钢件的脆性，将淬火后的钢件在高于室温而低于650℃的某一适当温度进行长时间的保温，再进行冷却，这种工艺称为回火。退火、正火、淬火、回火是整体热处理中的“四把火”，其中的淬火与回火关系密切，常常配合使用，缺一不可。

“四把火”随着加热温度和冷却方式的不同，又演变出不同的热处理工艺。为了获得一定的强度和韧性，把淬火和高温回火结合起来的工艺，称为调质。某些合金淬火形成过饱和固溶体后，将其置于室温或稍高的适当温度下保持较长时间，以提高合金的硬度、强度或电性等。这样的热处理工艺称为时效处理。

把压力加工形变与热处理有效而紧密地结合起来进行，使工件获得很好的强度、韧性配合的方法称为形变热处理；在负压气氛或真空中进行的热处理称为真空热处理，它不仅能使工件不氧化，不脱碳，保持处理后工件表面光洁，提高工件的性能，还可以通入渗剂进行化学热处理。

表面热处理是只加热工件表层，以改变其表层力学性能的金属热处理工艺。为了只加热工件表层而不使过多的热量传入工件内部，使用的热源须具有高的能量密度，即在单位面积的工件上给予较大的热能，使工件表层或局部能短时或瞬时达到高温。表面热处理的主要方法有火焰淬火和感应加热热处理，常用的热源有氧乙炔或氧丙烷等火焰、感应电流、激光和电子束等。

化学热处理是通过改变工件表层化学成分、组织和性能的金属热处理工艺。化学热处理与表面热处理不同之处是后者改变了工件表层的化学成分。化学热处理是将工件放在含碳、氮或其它合金元素的介质(气体、液体、固体)中加热，保温较长时间，从而使工件表层渗入碳、氮、硼和铬等元素。渗入元素后，有时还要进行其它热处理工艺如淬火及回火。化学热处理的主要方法有渗碳、渗氮、渗金属。

热处理是机械零件和工模具制造过程中的重要工序之一。大体来说，它可以保证和提高工件的各种性能，如耐磨、耐腐蚀等。还可以改善毛坯的组织和应力状态，以利于进行各种冷、热加工。

例如白口铸铁经过长时间退火处理可以获得可锻铸铁，提高塑性；齿轮采用正确的热处理工艺，使用寿命可以比不经热处理的齿轮成倍或几十倍地提高；另外，价廉的碳钢通过渗入某些合金元素就具有某些价昂的合金钢性能，可以代替某些耐热钢、不锈钢；工模具则几乎全部需要经过热处理方可使用。

钢的分类

钢是以铁、碳为主要成分的合金，它的含碳量一般小于 2.11%。钢是经济建设中极为重要的金属材料。

钢按化学成分分为碳素钢（简称碳钢）与合金钢两大类。碳钢是由生铁冶炼获得的合金，除铁、碳为其主要成分外，还含有少量的锰、硅、硫、磷等杂质。碳钢具有一定的机械性能，又有良好的工艺性能，且价格低廉。因此，碳钢获得了广泛的应用。但随着现代工业与科学技术的迅速发展，碳钢的性能已不能完全满足需要，于是人们研制了各种合金钢。合金钢是在碳钢基础上，有目的地加入某些元素（称为合金元素）而得到的多元合金。与碳钢比，合金钢的性能有显著的提高，故应用日益广泛。

由于钢材品种繁多，为了便于生产、保管、选用与研究，必须对钢材加以分类。按钢材的用途、化学成分、质量的不同，可将钢分为许多类：

一. 按用途分类

按钢材的用途可分为结构钢、工具钢、特殊性能钢三大类。

结构钢：1. 用作各种机器零件的钢。它包括渗碳钢、调质钢、弹簧钢及滚动轴承钢。

2. 用作工程结构的钢。它包括碳素钢中的甲、乙、特类钢及普通低合金钢。

工具钢：用来制造各种工具的钢。根据工具用途不同可分为刃具钢、模具钢与量具钢。

特殊性能钢：是具有特殊物理化学性能的钢。可分为不锈钢、耐热钢、耐磨钢、磁钢等。

二. 按化学成分分类

按钢材的化学成分可分为碳素钢和合金钢两大类。

碳素钢：按含碳量又可分为低碳钢（含碳量 $\leq 0.25\%$ ）；中碳钢（ $0.25\% < \text{含碳量} < 0.6\%$ ）；高碳钢（含碳量 $\geq 0.6\%$ ）。

合金钢：按合金元素含量又可分为低合金钢（合金元素总含量 $\leq 5\%$ ）；中合金钢（合金元素总含量 $= 5\% - 10\%$ ）；高合金钢（合金元素总含量 $> 10\%$ ）。此外，根据钢中所含主要合金元素种类不同，也可分为锰钢、铬钢、铬镍钢、铬锰钛钢等。

三. 按质量分类

按钢材中有害杂质磷、硫的含量可分为普通钢（含磷量 $\leq 0.045\%$ 、含硫量 $\leq 0.055\%$ ；或磷、硫含量均 $\leq 0.050\%$ ）；优质钢（磷、硫含量均 $\leq 0.040\%$ ）；高级优质钢（含磷量 $\leq 0.035\%$ 、含硫量 $\leq 0.030\%$ ）。

此外，还有按冶炼炉的种类，将钢分为平炉钢（酸性平炉、碱性平炉），空气转炉钢（酸性转炉、碱性转炉、氧气顶吹转炉钢）与电炉钢。按冶炼时脱氧程度，将钢分为沸腾钢（脱氧不完全），镇静钢（脱氧比较完全）及半镇静钢。

钢厂在给钢的产品命名时，往往将用途、成分、质量这三种分类方法结合起来。如将钢称为普通碳素结构钢、优质碳素结构钢、碳素工具钢、高级优质碳素工具钢、合金结构钢、合金工具钢等。

金属材料的机械性能

金属材料的性能一般分为工艺性能和使用性能两类。所谓工艺性能是指机械零件在加工制造过程中，金属材料在所定的冷、热加工条件下表现出来的性能。金属材料工艺性能的好坏，决定了它在制造过程中加工成形的适应能力。由于加工条件不同，要求的工艺性能也就不同，如铸造性能、可焊性、可锻性、热处理性能、切削加工性等。所谓使用性能是指机械零件在使用条件下，金属材料表现出来的性能，它包括机械性能、物理性能、化学性能等。金属材料使用性能的好坏，决定了它的使用范围与使用寿命。

在机械制造业中，一般机械零件都是在常温、常压和非强烈腐蚀性介质中使用的，且在使用过程中各机械零件都将承受不同载荷的作用。金属材料在载荷作用下抵抗破坏的性能，称为机械性能（或称为力学性能）。

金属材料的机械性能是零件的设计和选材时的主要依据。外加载荷性质不同（例如拉伸、压缩、扭转、冲击、循环载荷等），对金属材料要求的机械性能也将不同。常用的机械性能包括：强度、塑性、硬度、冲击韧性、多次冲击抗力和疲劳极限等。下面将分别讨论各种机械性能。

1. 强度

强度是指金属材料在静荷作用下抵抗破坏（过量塑性变形或断裂）的性能。由于载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切等形式，所以强度也分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。各种强度间常有一定的联系，使用中一般较多以抗拉强度作为最基本的强度指针。

2. 塑性

塑性是指金属材料在载荷作用下，产生塑性变形（永久变形）而不破坏的能力。

3. 硬度

硬度是衡量金属材料软硬程度的指针。目前生产中测定硬度方法最常用的是压入硬度法，它是用一定几何形状的压头在一定载荷下压入被测试的金属表面，根据被压入程度来测定其硬度值。

常用的方法有布氏硬度（HB）、洛氏硬度（HRA、HRB、HRC）和维氏硬度（HV）等方法。

4. 疲劳

前面所讨论的强度、塑性、硬度都是金属在静载荷作用下的机械性能指针。实际上，许多机器零件都是在循环载荷下工作的，在这种条件下零件会产生疲劳。

5. 冲击韧性

以很大速度作用于机件上的载荷称为冲击载荷，金属在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力叫做冲击韧性。

退火——淬火——回火

一. 退火的种类

1. 完全退火和等温退火

完全退火又称重结晶退火，一般简称为退火，这种退火主要用于亚共析成分的各种碳钢和合金钢的铸，锻件及热轧型材，有时也用于焊接结构。一般常作为一些不重工件的最终热处理，或作为某些工件的预先热处理。

2. 球化退火

球化退火主要用于过共析的碳钢及合金工具钢（如制造刀具，量具，模具所用的钢种）。其主要目的在于降低硬度，改善切削加工性，并为以后淬火作做好准备。

3. 去应力退火

去应力退火又称低温退火（或高温回火），这种退火主要用来消除铸件，锻件，焊接件，热轧件，冷拉件等的残余应力。如果这些应力不予消除，将会引起钢件在一定时间以后，或在随后的切削加工过程中产生变形或裂纹。

二. 淬火时，最常用的冷却介质是盐水，水和油。盐水淬火的工件，容易得到高的硬度和光洁的表面，不容易产生淬不硬的软点，但却易使工件变形严重，甚至发生开裂。而用油作淬火介质只适用于过冷奥氏体的稳定性比较大的一些合金钢或小尺寸的碳钢工件的淬火。

三. 钢回火的目的

1. 降低脆性，消除或减少内应力，钢件淬火后存在很大内应力和脆性，如不及时回火往往会使钢件发生变形甚至开裂。

2. 获得工件所要求的机械性能，工件经淬火后硬度高而脆性大，为了满足各种工件的不同性能的要求，可以通过适当回火的配合来调整硬度，减小脆性，得到所需要的韧性，塑性。

3. 稳定工件尺寸

4. 对于退火难以软化的某些合金钢，在淬火（或正火）后常采用高温回火，使钢中碳化物适当聚集，将硬度降低，以利切削加工。

炉型的选择

炉型应依据不同的工艺要求及工件的类型来决定

1. 对于不能成批定型生产的，工件大小不相等的，种类较多的，要求工艺上具有通用性、多用性的，可选用箱式炉。

2. 加热长轴类及长的丝杆，管子等工件时，可选用深井式电炉。

3. 小批量的渗碳零件，可选用井式气体渗碳炉。

4. 对于大批量的汽车、拖拉机齿轮等零件的生产可选连续式渗碳生产线或箱式多用炉。

5. 对冲压件板材坯料的加热大批量生产时，最好选用滚动炉，辊底炉。

6. 对成批的定型零件，生产上可选用推杆式或传送带式电阻炉（推杆炉或铸带炉）

7. 小型机械零件如：螺钉，螺母等可选用振底式炉或网带式炉。

8. 钢球及滚柱热处理可选用内螺旋的回转管炉。

9. 有色金属锭坯在大批量生产时可用推杆式炉，而对有色金属小零件及材料可用空气循环加热炉。

加热缺陷及控制

一、过热现象

我们知道热处理过程中加热过热最易导致奥氏体晶粒的粗大，使零件的机械性能下降。

1. 一般过热：加热温度过高或在高温下保温时间过长，引起奥氏体晶粒粗化称为过热。粗大

的奥氏体晶粒会导致钢的强韧性降低，脆性转变温度升高，增加淬火时的变形开裂倾向。而导致过热的原因是炉温仪表失控或混料（常为不懂工艺发生的）。过热组织可经退火、正火或多次高温回火后，在正常情况下重新奥氏体化使晶粒细化。

2. 断口遗传：有过热组织的钢材，重新加热淬火后，虽能使奥氏体晶粒细化，但有时仍出现粗大颗粒状断口。产生断口遗传的理论争议较多，一般认为曾因加热温度过高而使 MnS 之类的杂物溶入奥氏体并富集于晶接口，而冷却时这些夹杂物又会沿晶接口析出，受冲击时易沿粗大奥氏体晶界断裂。

3. 粗大组织的遗传：有粗大马氏体、贝氏体、魏氏体组织的钢件重新奥氏体化时，以慢速加热到常规的淬火温度，甚至再低一些，其奥氏体晶粒仍然是粗大的，这种现象称为组织遗传性。要消除粗大组织的遗传性，可采用中间退火或多次高温回火处理。

二、过烧现象

加热温度过高，不仅引起奥氏体晶粒粗大，而且晶界局部出现氧化或熔化，导致晶界弱化，称为过烧。钢过烧后性能严重恶化，淬火时形成龟裂。过烧组织无法恢复，只能报废。因此在工作中要避免过烧的发生。

三、脱碳和氧化

钢在加热时，表层的碳与介质（或气氛）中的氧、氢、二氧化碳及水蒸气等发生反应，降低了表层碳浓度称为脱碳，脱碳钢淬火后表面硬度、疲劳强度及耐磨性降低，而且表面形成残余拉应力易形成表面网状裂纹。

加热时，钢表层的铁及合金元素与介质（或气氛）中的氧、二氧化碳、水蒸气等发生反应生成氧化物膜的现象称为氧化。高温（一般 570 度以上）工件氧化后尺寸精度和表面光洁度恶化，具有氧化膜的淬透性差的钢件易出现淬火软点。

为了防止氧化和减少脱碳的措施有：工件表面涂油，用不锈钢箔包装密封加热、采用盐浴炉加热、采用保护气氛加热（如净化后的惰性气体、控制炉内碳势）、火焰燃烧炉（使炉气呈还原性）

四、氢脆现象

高强度钢在富氢气氛中加热时出现塑性和韧性降低的现象称为氢脆。出现氢脆的工件通过除氢处理（如回火、时效等）也能消除氢脆，采用真空、低氢气氛或惰性气氛加热可避免氢脆。

几种常见热处理概念

1. 正火：将钢材或钢件加热到临界点 AC3 或 ACM 以上的适当温度保持一定时间在空气中冷却，得到珠光体类组织的热处理工艺。
2. 退火 annealing：将亚共析钢工件加热至 AC3 以上 20—40 度，保温一段时间后，随炉缓慢冷却（或埋在砂中或石灰中冷却）至 500 度以下在空气中冷却的热处理工艺
3. 固溶热处理：将合金加热至高温单相区恒温保持，使过剩相充分溶解到固溶体中，然后快速冷却，以得到过饱和固溶体的热处理工艺
4. 时效：合金经固溶热处理或冷塑性形变后，在室温放置或稍高于室温保持时，其性能随时间而变化的现象。
5. 固溶处理：使合金中各种相充分溶解，强化固溶体并提高韧性及抗蚀性能，消除应力与软化，以便继续加工成型
6. 时效处理：在强化相析出的温度加热并保温，使强化相沉淀析出，得以硬化，提高强度
7. 淬火：将钢奥氏体化后以适当的冷却速度冷却，使工件在横截面内全部或一定的范围内发生马氏体等不稳定组织结构转变的热处理工艺
8. 回火：将经过淬火的工件加热到临界点 AC1 以下的适当温度保持一定时间，随后用符合要求的方法冷却，以获得所需要的组织和性能的热处理工艺
9. 钢的碳氮共渗：碳氮共渗是向钢的表层同时渗入碳和氮的过程。习惯上碳氮共渗又称为

氰化，目前以中温气体碳氮共渗和低温气体碳氮共渗（即气体软氮化）应用较为广泛。中温气体碳氮共渗的主要目的是提高钢的硬度，耐磨性和疲劳强度。低温气体碳氮共渗以渗氮为主，其主要目的是提高钢的耐磨性和抗咬合性。

10. 调质处理 quenching and tempering: 一般习惯将淬火加高温回火相结合的热处理称为调质处理。调质处理广泛应用于各种重要的结构零件，特别是那些在交变负荷下工作的连杆、螺栓、齿轮及轴类等。调质处理后得到回火索氏体组织，它的机械性能均比相同硬度的正火索氏体组织为优。它的硬度取决于高温回火温度并与钢的回火稳定性和工件截面尺寸有关，一般在 HB200—350 之间。

11. 钎焊：用钎料将两种工件粘合在一起的热处理工艺
回火的种类及应用

根据工件性能要求的不同，按其回火温度的不同，可将回火分为以下几种：

（一）低温回火（150—250 度）

低温回火所得组织为回火马氏体。其目的是在保持淬火钢的高硬度和高耐磨性的前提下，降低其淬火内应力和脆性，以免使用时崩裂或过早损坏。它主要用于各种高碳的切削刀具，量具，冷冲模具，滚动轴承以及渗碳件等，回火后硬度一般为 HRC58—64。

（二）中温回火（350—500 度）

中温回火所得组织为回火屈氏体。其目的是获得高的屈服强度，弹性极限和较高的韧性。因此，它主要用于各种弹簧和热作模具的处理，回火后硬度一般为 HRC35—50。

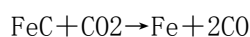
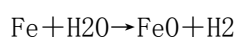
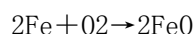
（三）高温回火（500—650 度）

高温回火所得组织为回火索氏体。习惯上将淬火加高温回火相结合的热处理称为调质处理，其目的是获得强度，硬度和塑性，韧性都较好的综合机械性能。因此，广泛用于汽车，拖拉机，机床等的重要结构零件，如连杆，螺栓，齿轮及轴类。回火后硬度一般为 HB200—330。

气氛与金属的化学反应

一. 气氛与钢铁的化学反应

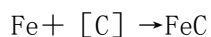
1. 氧化



2. 还原



3. 渗碳



4. 渗氮



二. 各种气氛对金属的作用

氮气：在 ≥ 1000 度时会与 Cr, CO, Al, Ti 反应

氢气：可使铜，镍，铁，钨还原。当氢气中的水含量达到百分之 0.2—0.3 时，会使钢脱碳
水： ≥ 800 度时，使铁、钢氧化脱碳，与铜不反应

一氧化碳：其还原性与氢气相似，可使钢渗碳

三. 各类气氛对电阻组件的影响

镍铬丝，铁铬铝：含硫气氛对电阻丝有害

钢的氮化及碳氮共渗

钢的氮化（气体氮化）

概念：氮化是向钢的表面层渗入氮原子的过程，其目的是提高表面硬度和耐磨性，以及提高疲劳强度和抗腐蚀性。

它是利用氨气在加热时分解出活性氮原子，被钢吸收后在其表面形成氮化层，同时向心部扩散。

氮化通常利用专用设备或井式渗碳炉来进行。适用于各种高速传动精密齿轮、机床主轴（如镗杆、磨床主轴），高速柴油机曲轴、阀门等。

氮化工件工艺路线：锻造—退火—粗加工—调质—精加工—除应力—粗磨—氮化—精磨或研磨。

由于氮化层薄，并且较脆，因此要求有较高强度的心部组织，所以要先进行调质热处理，获得回火索氏体，提高心部机械性能和氮化层质量。

钢在氮化后，不再需要进行淬火便具有很高的表面硬度（大于 HV850）及耐磨性。

氮化处理温度低，变形很小，它与渗碳、感应表面淬火相比，变形小得多

钢的碳氮共渗：碳氮共渗是向钢的表层同时渗入碳和氮的过程，习惯上碳氮共渗又称作氰化。目前以中温气体碳氮共渗和低温气体碳氮共渗（即气体软氮化）应用较广。中温气体碳氮共渗的主要目的是提高钢的硬度，耐磨性和疲劳强度，低温气体碳氮共渗以渗氮为主，其主要目的是提高钢的耐磨性和抗咬合性。

铍青铜的热处理

铍青铜是一种用途极广的沉淀硬化型合金。经固溶及时效处理后，强度可达 1250–1500MPa (1250–1500 公斤)。其热处理特点是：固溶处理后具有良好的塑性，可进行冷加工变形。但再进行时效处理后，却具有极好的弹性极限，同时硬度、强度也得到提高。

（1）铍青铜的固溶处理

一般固溶处理的加热温度在 780–820℃ 之间，对用作弹性组件的材料，采用 760–780℃，主要是防止晶粒粗大影响强度。固溶处理炉温均匀度应严格控制在 5℃。保温时间一般可按 1 小时/25mm 计算，铍青铜在空气或氧化性气氛中进行固溶加热处理时，表面会形成氧化膜。虽然对时效强化后的力学性能影响不大，但会影响其冷加工时工模具的使用寿命。为避免氧化应在真空炉或氨分解、惰性气体、还原性气氛（如氢气、一氧化碳等）中加热，从而获得光亮的热处理效果。此外，还要注意尽量缩短转移时间（此淬水时），否则会影响时效后的机械性能。薄形材料不得超过 3 秒，一般零件不超过 5 秒。淬火介质一般采用水（无加热的要求），当然形状复杂的零件为了避免变形也可采用油。

（2）铍青铜的时效处理

铍青铜的时效温度与 Be 的含量有关，含 Be 小于 2.1% 的合金均宜进行时效处理。对于 Be 大于 1.7% 的合金，最佳时效温度为 300–330℃，保温时间 1–3 小时（根据零件形状及厚度）。Be 低于 0.5% 的高导电性电极合金，由于熔点升高，最佳时效温度为 450–480℃，保温时间 1–3 小时。近年来还发展出了双级和多级时效，即先在高温短时效，而后在低温下长时间保温时效，这样做的优点是性能提高但变形量减小。为了提高铍青铜时效后的尺寸精度，可采用夹具夹持进行时效，有时还可采用两段分开时效处理。

（3）铍青铜的去应力处理

铍青铜去应力退火温度为 150–200℃，保温时间 1–1.5 小时，可用于消除因金属切削加工、校直处理、冷成形等产生的残余应力，稳定零件在长期使用时的形状及尺寸精度。

热处理应力及其影响

热处理残余力是指工件经热处理后最终残存下来的应力，对工件的形状、尺寸和性能都有极为重要的影响。当它超过材料的屈服强度时，便引起工件的变形，超过材料的

强度极限时就会使工件开裂,这是它有害的一面,应当减少和消除。但在一定条件下控制应力使之合理分布,就可以提高零件的机械性能和使用寿命,变有害为有利。分析钢在热处理过程中应力的分布和变化规律,使之合理分布对提高产品质量有着深远的实际意义。例如关于表层残余压应力的合理分布对零件使用寿命的影响问题已经引起了人们的广泛重视。

一、钢的热处理应力

工件在加热和冷却过程中,由于表层和心部的冷却速度和时间的不一致,形成温差,就会导致体积膨胀和收缩不均而产生应力,即热应力。在热应力的作用下,由于表层开始温度低于心部,收缩也大于心部而使心部受拉,当冷却结束时,由于心部最后冷却体积收缩不能自由进行而使表层受压心部受拉。即在热应力的作用下最终使工件表层受压而心部受拉。这种现象受到冷却速度,材料成分和热处理工艺等因素的影响。当冷却速度愈快,含碳量和合金成分愈高,冷却过程中在热应力作用下产生的不均匀塑性变形愈大,最后形成的残余应力就愈大。另一方面钢在热处理过程中由于组织的变化即奥氏体向马氏体转变时,因比容的增大会伴随工件体积的膨胀,工件各部位先后相变,造成体积长大不一致而产生组织应力。组织应力变化的最终结果是表层受拉应力,心部受压应力,恰好与热应力相反。组织应力的大小与工件在马氏体相变区的冷却速度,形状,材料的化学成分等因素有关。

实践证明,任何工件在热处理过程中,只要有相变,热应力和组织应力都会发生;只不过热应力在组织转变以前就已经产生了,而组织应力则是在组织转变过程中产生的,在整个冷却过程中,热应力与组织应力综合作用的结果,就是工件中实际存在的应力。这两种应力综合作用的结果是十分复杂的,受着许多因素的影响,如成分、形状、热处理工艺等。就其发展过程来说只有两种类型,即热应力和组织应力,作用方向相反时二者抵消,作用方向相同时二者相互迭加。不管是相互抵消还是相互迭加,两个应力应有一个占主导因素,热应力占主导地位时的作用结果是工件心部受拉,表面受压;组织应力占主导地位时的作用结果是工件心部受压表面受拉。

二、热处理应力对淬火裂纹的影响

存在于淬火件不同部位上能引起应力集中的因素(包括冶金缺陷在内),对淬火裂纹的产生都有促进作用,但只有在拉应力场内(尤其是在最大拉应力下)才会表现出来;若在压应力场内并无促裂作用。

淬火冷却速度是一个能影响淬火质量并决定残余应力的重要因素,也是一个能对淬火裂纹赋予重要乃至决定性影响的因素。为了达到淬火的目的,通常必须加速零件在高温段内的冷却速度,并使之超过钢的临界淬火冷却速度才能得到马氏体组织。就残余应力而论,这样做由于能增加抵消组织应力作用的热应力值,故能减少工件表面上的拉应力而达到抑制纵裂的目的。其效果将随高温冷却速度的加快而增大。而且,在能淬透的情况下,截面尺寸越大的工件,虽然实际冷却速度更缓,开裂的危险性却反而愈大。这一切都是由于这类钢的热应力随尺寸的增大实际冷却速度减慢,热应力减小;组织应力随尺寸的增大而增加,最后形成以组织应力为主的拉应力作用在工件表面的作用特点造成的。并与冷却愈慢应力愈小的传统观念大相径庭。对这类钢件而言,在正常条件下淬火的高淬透性钢件中只能形成纵裂。避免淬裂的可靠原则是设法尽量减小截面内外马氏体转变的不等时性。仅仅实行马氏体转变区内的缓冷却不足以预防纵裂的形成。一般情况下只能产生在非淬透性件中的弧裂,虽以整体快速冷却为必要的形成条件,可是它的真正形成原因,却在快速冷却(包括马氏体转变区内)本身,而是淬火件局部位置(由几何结构决定),在高温临界温度区内的冷却速度显著减缓,因而没有淬硬所致;产生在大型非淬透性件中的横断和纵劈,是由以热应力为主要成份的残余拉应力作用在淬火件中心,而在淬火件末淬硬的截面中心处,首先形成裂纹并由内往外扩展而造成的。为了避免这类裂纹产生,往往使用水—油双液淬火工艺。在此工艺中实施高温段内的快速冷却,目的仅仅在于确保外层金属得到马氏体组织;而从内应力的角度来

看,这时快冷有害无益。其次,冷却后期缓冷的目的,主要不是为了降低马氏体相变的膨胀速度和组织应力值,而在于尽量减小截面温差和截面中心部位金属的收缩速度,从而达到减小应力值和最终抑制淬裂的目的。

三、残余压应力对工件的影响

渗碳表面强化作为提高工件的疲劳强度的方法应用得很广泛的原因。一方面是由于它能有效的增加工件表面的强度和硬度,提高工件的耐磨性,另一方面是渗碳能有效的改善工件的应力分布,在工件表面层获得较大的残余压应力,提高工件的疲劳强度。如果在渗碳后再进行等温淬火将会增加表层残余压应力,使疲劳强度得到进一步的提高。有人对 35SiMn2MoV 钢渗碳后进行等温淬火与渗碳后淬火低温回火的残余应力进行过测试其

热处理工艺

残余应力值 (kg/mm²)

渗碳后 880-900 度盐浴加热, 260 度等温 40 分钟

-65

渗碳后 880-900 度盐浴加热淬火, 260 度等温 90 分钟

-18

渗碳后 880-900 度盐浴加热, 260 度等温 40 分钟, 260 度回火 90 分钟

-38

表 1. 35SiMn2MoV 钢渗碳等温淬火与渗碳低温回火后的残余应力值

从表 1 的测试结果可以看出等温淬火比通常的淬火低温回火工艺具有更高的表面残余压应力。等温淬火后即使进行低温回火,其表面残余压应力,也比淬火后低温回火高。因此可以得出这样一个结论,即渗碳后等温淬火比通常的渗碳淬火低温回火获得的表面残余压应力更高,从表面层残余压应力对疲劳抗力的有利影响的观点来看,渗碳等温淬火工艺是提高渗碳件疲劳强度的有效方法。渗碳淬火工艺为什么能获得表层残余压应力?渗碳等温淬火为什么能获得更大的表层残余压应力?其主要原因有两个:一个原因是表层高碳马氏体比容比心部低碳马氏体的比容大,淬火后表层体积膨胀大,而心部低碳马氏体体积膨胀小,制约了表层的自由膨胀,造成表层受压心部受拉的应力状态。而另一个更重要的原因是高碳过冷奥氏体向马氏体转变的开始转变温度 (M_s),比心部含碳量低的过冷奥氏体向马氏体转变的开始温度 (M_s) 低。这就是说在淬火过程中往往是心部首先产生马氏体转变引起心部体积膨胀,并获得强化,而表面还未冷却到其对应的马氏体开始转变点 (M_s),故仍处于过冷奥氏体状态,具有良好的塑性,不会对心部马氏体转变的体积膨胀起严重的压制作用。随着淬火冷却温度的不断下降使表层温度降到该处的 (M_s) 点以下,表层产生马氏体转变,引起表层体积的膨胀。但心部此时早已转变为马氏体而强化,所以心部对表层的体积膨胀将会起很大的压制作用,使表层获得残余压应力。而在渗碳后进行等温淬火时,当等温温度在渗碳层的马氏体开始转变温度 (M_s) 以上,心部的马氏体开始转变温度 (M_s) 点以下的适当温度等温淬火,比连续冷却淬火更能保证这种转变的先后顺序的特点(即保证表层马氏体转变仅仅产生于等温后的冷却过程中)。当然渗碳后等温淬火的等温温度和等温时间对表层残余应力的大小有很大的影响。有人对 35SiMn2MoV 钢试样渗碳后在 260℃ 和 320℃ 等温 40 分钟后的表面残余应力进行过测试,其结果如表 2。由表 2 可知在 260℃ 等温比在 320℃ 等温的表面残余应力要高出一倍多

可见表面残余应力状态对渗碳等温淬火的等温温度是很敏感的。不仅等温温度对表面残余压应力状态有影响,而且等温时间也有一定的影响。有人对 35SiMn2V 钢在 310℃ 等温 2 分钟, 10

分钟, 90 分钟的残余应力进行过测试。2 分钟后残余压应力为-20kg/mm, 10 分钟后为-60kg/mm, 60 分钟后为-80kg/mm, 60 分钟后再延长等温时间残余应力变化不大。

从上面的讨论表明, 渗碳层与心部马氏体转变的先后顺序对表层残余应力的大小有重要影响。渗碳后的等温淬火对进一步提高零件的疲劳寿命具有普遍意义。此外能降低表层马氏体开始转变温度 (M_s) 点的表面化学热处理如渗碳、氮化、氰化等都为造成表层残余压应力提供了条件, 如高碳钢的氮化—淬火工艺, 由于表层, γ 氮含量的提高而降低了表层马氏体开始转变点 (M_s), 淬火后获得了较高的表层残余压应力使疲劳寿命得到提高。又如氰化工艺往往比渗碳具有更高的疲劳强度和使用寿命, 也是因氮含量的增加可获得比渗碳更高的表面残余压应力之故。此外, γ 从获得表层残余压应力的合理分布的观点来看, 单一的表面强化工艺不容易获得理想的表层残余压应力分布, 而复合的表面强化工艺则可以有效的改善表层残余应力的分布。如渗碳淬火的残余应力一般在表面压应力较低, 最大压应力则出现在离表面一定深度处, 而且残余压力层较厚。氮化后的表面残余压应力很高, 但残余压应力层很薄, 往里急剧下降。如果采用渗碳— γ 氮化复合强化工艺, 则可获得更合理的应力分布状态。 γ 因此表面复合强化工艺, 如渗碳—氮化, 渗碳— γ 高频淬火等, 都是值得重视的方向。

根据上述讨论可得出以下结论:

- 1、热处理过程中产生的应力是不可避免的, 而且往往是有害的 γ 。但我们可以控制热处理工艺尽量使应力分布合理, 就可将其有害程度降低到最低限度, 甚至变有害为有利。
- 2、当热应力占主导地位时应力分布为心部受拉表面受压, 当组织应力占主导地时应力分布为心部受压表面受拉。
- 3、在高淬透性钢件中易形成纵裂, 在非淬透性工件中往往形成弧裂, 在大型非淬透工件中容易形成横断和纵劈。
- 4、渗碳使表层马氏体开始转变温度 (M_s) 点下降, 可导至淬火时马氏体转变顺序颠倒, 心部首先发生马氏体转变而后才波及到表面, 可获得表层残余压应力而提高抗疲劳强度。
- 5、渗碳后进行等温淬火可保证心部马氏体转变充分进行以后, 表层组织转变才进行。 γ 使工件获得比直接淬火更大的表层残余压应力, 可进一步提高渗碳件的疲劳强度。
- 6、复合表面强化工艺可使表层残余压应力分布更合理, 可明显提高工件的疲劳强度