

毕业设计（论文）

——40Cr 钢的热处理及分析

专 业：金属材料与热处理技术

班 级：金材二班

姓 名：向星

学 号：0903140205

指导教师： 苏光浩

武汉工程职业技术学院

二零一二年二月

摘 要

随着中国经济的高速发展对模具工业提出了越来越高的要求，因而模具材料选择及其热处理工艺的选择已在模具制造业中引起广泛的重视。模具热处理是保证模具性能的重要工艺过程。它对模具的制造精度，模具的强度，模具的制造成本，模具的工作寿命有着直接的影响。本文在分析模具材料和40Cr钢热处理及金相实验基础上，根据模具的选材条件、试样的材料性质，以及40Cr的热处理工艺和金相组织综合分析，根据实际制订出合理的热处理工艺，并根据实验得出数据进行分析。这样，能使模具达到良好的使用性能和寿命要求的。同时，满足经济性要求，降低成本。

关键词：模具材料；热处理；热处理工艺；金相组织；

目 录

前 言	3
第一章 绪论	4
1.1 模具制造概况	4
1.2 我国模具的发展与现状	4
1.3 模具选材	5
1.4 合金元素对钢性能的影响	7
1.5 实验目的及意义	9
1.6 研究方案技术路线	10
第二章 40Cr 钢的热处理研究分析	11
2.1 钢的热处理概况	11
2.2 40Cr 钢的热处理	12
2.2.1 40Cr 钢特性	13
2.2.2 40Cr 钢的物理性能	14
2.2.3 40Cr 钢的化学成分	14
2.2.4 40Cr 钢的调质处理	15
2.2.5 40Gr 热处理实验过程	15
2.3 热处理实验小结	24
第三章 实验总结	31
4.1 热处理实验总结	31

4.2 合金元素对钢的影响分析	34
谢 词	37
参考文献	38

前 言

在国家推动经济体制改革、市场经济和国际接轨的形势下，我国模具制造企业和热处理企业像雨后春笋般的涌现。而模具制造、热处理技术和使用水平的高低是衡量一个国家工业水平的标志，它在基础工业中占有重要地位。

在模具制造中，能否合理的选用模具材料是模具制造的关键问题。模具材料是模具制造业的物质基础，而材料的热处理则是模具制造的技术基础之一，正确和先进的热处理技术，可以充分发挥模具材料的潜力，可以延长模具的使用寿命，保证模具和机械设备的高精度。随着科学技术的飞速发展，热处理技术也有了飞速的发展，如真空热处理，离子热处理，激光热处理，电子束热处理，气相沉积强化，强韧化热处理，各种复合热处理等，大大提高了模具的质量和模具的使用寿命。

为了更好的理解和掌握模具材料的热处理，进一步熟悉常用热处理方法及其工艺，本书严格按照 40Cr 钢的热处理实验及金相实验真实数据编写，参照《工程材料实验指导书》，《模具材料及热处理手册》等书，重点针对钢的热处理（正火、淬火、回火）实验和钢的磨片实验，微观组织观察照相研究分析得出实验结论。

本文重点介绍模具制造概况、模具制造的现状、我国模具制造技术的发展，模具制造展望、模具选材、合金元素对钢性能的影响、钢的热处理工艺、40Cr

钢的性能、40Cr 钢的热处理工艺及分析、40Cr 钢的金相试样制备及微观观察分析研究。

限于学生水平和掌握的技术资料，本书中难免有不足和错漏之处，敬请各位老师读者批评指正。

向星

2012 年 2 月

第一章 绪论

1.1 模具制造概况

在现代机械制造业中，模具工业已成为国民经济中一个非常重要的行业，它已成为衡量一个国家产品制造水平高低的一个重要标志。模具技术水平的高低，是衡量制造业水平高低的重要标志。在日本，模具被称为“进入富裕社会的原动力”；在德国，模具则被称为“金属加工业中的帝王”。模具所形成的最终商品的产值是模具自身产值的上百倍。用模具生产制件所表现出来的高精度、高复杂程度、高一致性、高生产率和低消耗，是其他加工制造方法所不能比拟的。因而，模具又被称为“效益放大器”。有人还把模具比作“印钞机”。随着我国加入 WTO，我国模具工业的发展将面临新的机遇和挑战。

1.2 我国模具的发展与现状

1.2.1 我国模具的发展

我国考古发现，早在 2000 多年前，我国已有冲压模具被用于制造铜器，证明了中国古代冲压成型和冲压模具方面的成就就在世界领先。1953 年，长春第一汽车制造厂在中国首次建立了冲模车间，该厂于 1958 年开始制造汽车覆盖件模具。我国于 20 世纪 60 年代开始生产精冲模具。在走过了温长的发展道路之后，

目前我国已形成了 300 多亿元（未包括港、澳、台的统计数字，下同。）各类冲压模具的生产能力。

1.2.2 我国模具制造业现状概况

中国经济的高速发展对模具工业提出了越来越高的要求，也为其发展提供了巨大的动力。近 10 年来，中国模具工业的一直以每年 15% 左右的增长速度快速发展。目前，中国约有模具生产厂点 2 万余家，从业人员有 50 多万人，全年模具产值达 534 亿元人民币。近年来，模具行业结构调整步伐加快，主要表现为大型、精密、复杂、长寿命模具和模具标准件发展速度高于行业的总体发展速度；塑料模和压铸模比例增大；面向市场的专业模具厂家数量及能力增加较快。随着经济体制改革的不断深入，“三资”及民营企业的发展很快。

中国模具工业的发展在地域分布上存在不平衡性，东南沿海地区发展快于中西部地区，南方的发展快于北方。模具生产最集中的地区在珠江三角和长江三角地区，其模具产值约占全国产值的三分之二以上。

1.3 模具选材

1.3.1 满足工作条件要求

1. 耐磨性：坯料在模具型腔中塑性变性时，沿型腔表面既流动又滑动，使型腔表面与坯料间产生剧烈的摩擦，从而导致模具因磨损而失效。所以材料的耐磨性是模具最基本、最重要的性能之一。硬度是影响耐磨性的主要因素。一般情况下，模具零件的硬度越高，磨损量越小，耐磨性也越好。另外，耐磨性还与材料中碳化物的种类、数量、形态、大小及分布有关。

2. 强韧性：模具的工作条件大多十分恶劣，有些常承受较大的冲击负荷，从而导致脆性断裂。为防止模具零件在工作时突然脆断，模具要具有较高的强度和韧性。模具的韧性主要取决于材料的含碳量、晶粒度及组织状态。

3. 疲劳断裂性能：模具工作过程中，在循环应力的长期作用下，往往导致疲劳断裂。其形式有小能量多次冲击疲劳断裂、拉伸疲劳断裂接触疲劳断裂及弯曲疲劳断裂。

4. 高温性能：当模具的工作温度较高时，会使硬度和强度下降，导致模具早期磨损或产生塑性变形而失效。因此，模具材料应具有较高的抗回火稳定性，以保证模具在工作温度下，具有较高的硬度和强度。

5. 耐冷热疲劳性能：有些模具在工作过程中处于反复加热和冷却的状态，使型腔表面受拉、压力变应力的作用，引起表面龟裂和剥落，增大摩擦力，阻碍塑性变形，降低了尺寸精度，从而导致模具失效。冷热疲劳是热作模具失效的主要形式之一，这类模具应具有较高的耐冷热疲劳性能。

6. 耐蚀性：有些模具如塑料模在工作时，由于塑料中存在氯、氟等元素，受热后分解析出 HCl、HF 等强侵蚀性气体，侵蚀模具型腔表面，加大其表面粗糙度，加剧磨损失效。

1.3.2 满足工艺性能要求

模具的制造一般都要经过锻造、切削加工、热处理等几道工序。为保证模具的制造质量，降低生产成本，其材料应具有良好的可锻性、切削加工性、淬硬性、淬透性及可磨削性；还应具有小的氧化、脱碳敏感性和淬火变形开裂倾向。

1. 可锻性：具有较低的热锻变形抗力，塑性好，锻造温度范围宽，锻裂冷裂及析出网状碳化物倾向低。

2. 退火工艺性：球化退火温度范围宽，退火硬度低且波动范围小，球化率高。

3. 切削加工性：切削用量大，刀具损耗低，加工表面粗糙度低。

4. 氧化、脱碳敏感性：高温加热时抗氧化性能好，脱碳速度慢，对加热介质不敏感，产生麻点倾向小。

5. 淬硬性：淬火后具有均匀而高的表面硬度。

6. 淬透性：淬火后能获得较深的淬硬层，采用缓和的淬火介质就能淬硬。

7. 淬火变形开裂倾向：常规淬火体积变化小，形状翘曲、畸变轻微，异常变形倾向低。常规淬火开裂敏感性低，对淬火温度及工件形状不敏感。

8. 可磨削性：砂轮相对损耗小，无烧伤极限磨削用量大，对砂轮质量及冷却条件不敏感，不易发生磨伤及磨削裂纹。

1.3.3 满足经济性要求

在给模具选材时，必须考虑经济性这一原则，尽可能地降低制造成本。因此，

在满足使用性能的前提下，首先选用价格较低的，能用碳钢就不用合金钢，能用国产材料就不用进口材料。另外，在选材时还应考虑市场的生产和供应情况，所选钢种应尽量少而集中，易购买。

1.4、合金元素对钢性能的影响

在现代工业生产中，含合金元素的钢已被广泛的采用，这是因为他们不但有较好的物理、化学性质，更重要的是它的机械性能也大为改善，特别是强度、韧度等有显著的增加。而且它具有优越的热处理性能；同时，热处理能十分显著的改善和加强他的机械性能。因此，我们必须详细的了解各个合金元素对钢在热处理时的影响。

现将本实验试样 40Cr（化学成分见下表 1-1）各个元素对钢在热处理时的影响分述如下：

40Cr 钢的化学成分（GB/T3077-1999） ω /%

C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu
0.37~	0.17~	0.50~	0.80~	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.25	≤ 0.03
0.45	0.37	0.80	1.10	0	0		0

表 1-1 40Cr 钢的化学成分

（一）碳（C）的影响

从铁碳平衡图中，我们能清楚的看到，钢随着含碳量的增加，钢的基本组织不同，而且在加热与冷却时，组织转变的温度也不相同。纯铁在加热与冷却过程中，仅发生晶格的变化（同素异形转变）。所以热处理时其机械性能几乎不发生影响。但是随着含碳量的增加，热处理将发生显著地作用。如亚共析钢随着含金量的增高，淬火后强度、硬度都有显著提高；同时含碳量的多少也确定了钢的热处理工艺。例如亚共析钢随着含碳量的增加，它的 A3 逐渐降低，因而退火、正火、淬

火的加热温度都随之降低。而过共析钢的正火温度随着含碳量的增高而增高，但淬火温度都是在 A_{c1} 以上 30-50 摄氏度。而且随着钢中含碳量的增加，淬透性也有所提高，工件淬火后引起的变形也就越大，增加淬火时的困难；同时含碳量增加，使马氏体点下降残余奥氏体的数量增加。如低碳钢淬火后几乎不含残余奥氏体，而高碳钢则含大量残余奥氏体。

（二） 铬（Cr）的影响

铬为碳化物形成元素。它能显著提高强度、硬度和耐磨性，但同时降低塑性和韧性；阻止晶粒长大，增加钢的淬透性，降低钢的临界冷却速度。因而，使钢在热处理时，退火、正火、淬火的加热温度有所提高。并使它在油中便能淬硬。但他降低了钢的马氏体点，因而增加了钢残余奥氏体量。使钢的奥氏体不稳定区域变为 700-500℃ 和 400-250℃。提高了钢的硬度和强度，增加了钢在高温回火时强度降低的抗力。

（三） 镍（Ni）的影响

Ni 能强化铁素体，降低钢的 A_{c1} 和 A_{c3} 点，从而使热处理时的退火、正火、淬火的加热温度有所降低。增加了奥氏体的稳定性，降低了钢的临界冷却速度，对钢的淬透性略有增加；但它降低了钢的马氏体点，增加了钢的残余奥氏体量。对钢的强度和硬度有所提高，但阻止晶粒长大的作用不明显。

（四） 硅（Si）的影响

Si 能升高 A_{c1} 和 A_{c3} 点，从而使热处理时的退火、正火、淬火的加热温度增高。能增加奥氏体的稳定性，降低临界冷却速度，增加钢的淬透性很多，故能使 Si 合金钢在油中淬硬。对钢的马氏体区域有什么影响，增加残余奥氏体数量不多。对钢的强度、硬度增加不多，但却增加了钢的回火脆性和过热与脱碳的敏感性。

（五） 锰（Mn）的影响

Mn 为碳化物形成元素。他降低钢的 A_{c1} 和 A_{c3} 而使钢在热处理时的温度有所降低。增加奥氏体的稳定性，降低钢的临界冷却速度，同时增加钢的淬透性，但它使残余奥氏体量增加。可以减少钢在淬火时的变形和增加钢的强度和硬度。使钢的回火脆性与晶粒长大的作用增大。

（六） 硫（S）的影响

硫在通常情况下也是有害元素。使钢产生热脆性，降低钢的延展性和韧性，在锻造和轧制时造成裂纹。硫对焊接性能也不利，降低耐腐蚀性。所以通常要求硫含量小于 0.055%，优质钢要求小于 0.040%。在钢中加入 0.08—0.20% 的硫，可以改善切削加工性，通常称易切削钢。

(七) 铜(Cu)和硼(B)的影响

(1) 铜在合金钢中，使钢的 Ac₃ 下降，即使热处理的加热度降低；铜还能增加钢的淬透性和增加钢的强度。

硼为钢中的微量元素，一般仅在 0.001—0.005% 之间，它能增加钢的淬透性，提高钢的热处理温度，而且能提高钢的强度与硬度。

1.5 实验目的及意义

1.5.1、实验目的

- 1、熟悉钢的常用热处理方法及工艺要点；
- 2、掌握使用热处理的各种器材仪器；
- 3、在淬火温度及变量相同的情况下回火温度对硬度的影响；
- 4、认识合金元素对钢的热处理的影响；
- 5、了解金相试样的制备过程及方法，学会正确使用显微镜观察试样的显微组织；
- 6、通过金相试样制备、显微观察得出微观组织；对组织进行分析研究。

1.5.2、实验意义

1.5.2.1、热处理实验的意义

热处理是将材料在固态下采用适当的方式进行加热，保温和冷却以获得所需组织结构与性能的工艺方法。

- 1、通过适当的热处理能显著提高钢的力学性能，以满足零件的使用要求和延长零件的使用寿命；
- 2、通过热处理能改善钢的加工工艺性能(如切削加工性能、冲压性能等)，以提高生产率和加工质量；
- 3、通过热处理还能消除钢在加工（如铸造、焊接、切削、冷变形等）过程

中产生的残余应力，以稳定零件的形状和尺寸。

此外，有时还采用表面强化技术，以进一步提高钢的表面硬度和耐磨寿命。

1.5.2.2、磨片实验的意义

我们研究金属材料的力学性能就是在研究其内部组织，金属材料的微观组织决定了材料的各种性能，改变金属材料的化学成分或通过各种热处理工艺方法，能改变金属材料的组织结构，从而达到改变其性能的目的。

因此，了解金属材料的组织结构及其变化规律对于掌握金属材料及其性能有着必要的意义。

1.6 研究方案技术路线

通过对实验材料（40Cr 钢）进行分析研究，得出实验方案（如图1-2）

试样：40Cr 钢

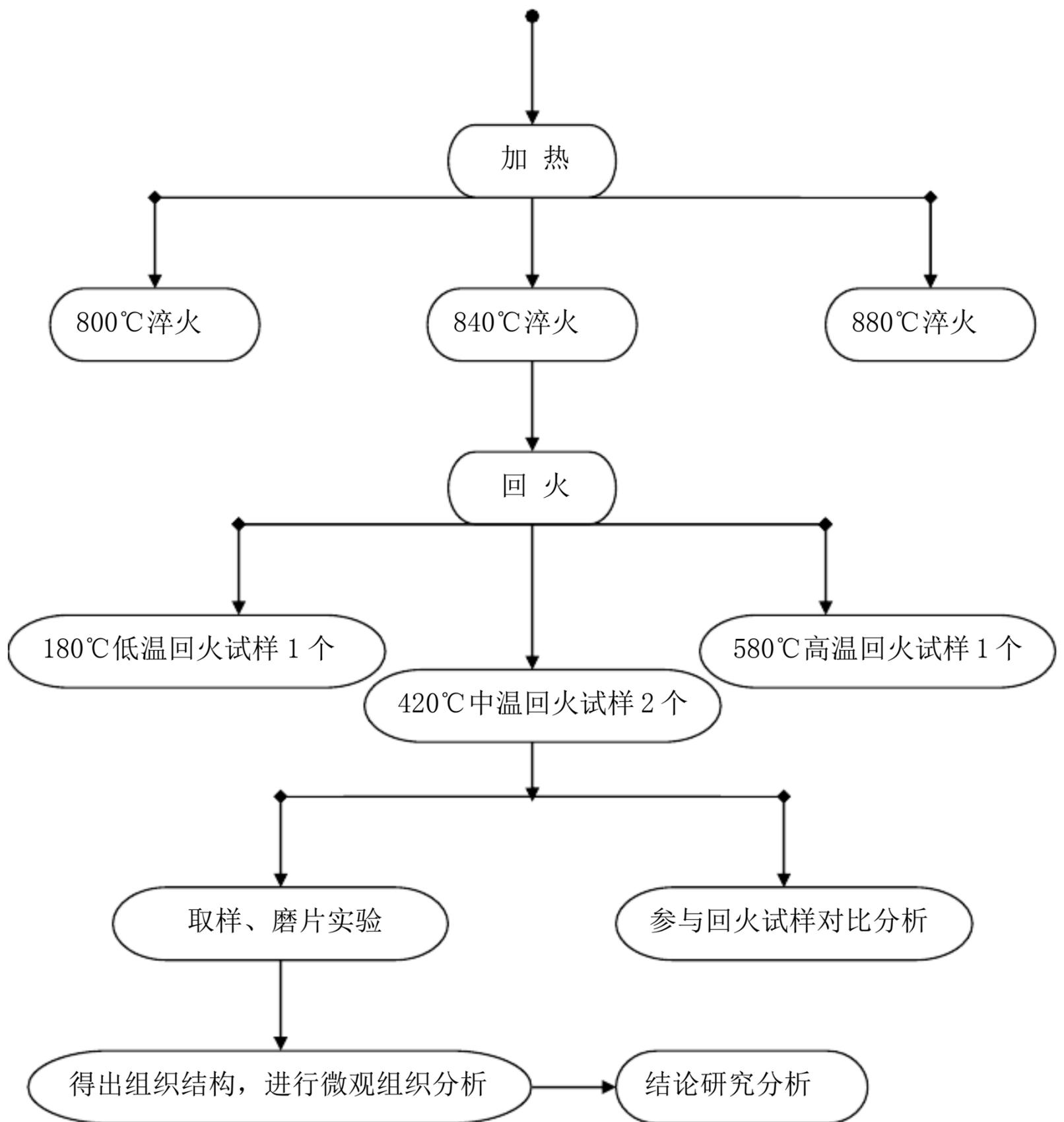


图 1-2 研究技术图

本研究报告严格按照此技术图进行实验，并对实验结果进行分析总结。

第二章 40Cr 钢的热处理研究分析

2.1. 钢的热处理概况

热处理是将材料在固态下采用适当的方式进行加热,保温和冷却以获得所需组织结构与性能的工艺.

2.1.1 退火与正火

钢的退火与正火是应用非常广泛的热处理工艺,例如各类铸、锻、焊生产的毛坯或半成品的预备热处理,目的在于消除冶金及热加工过程中产生的某些缺陷,改善组织和工艺性能,为以后的机加工及最终热处理做好组织与性能准备。对于某些性能要求不高的机械零件,经退火或正火后可直接使用。此时,退火或正火也就成为最终热处理。

退火:把钢加热到临界点 A_{c1} 以上或以下的一定温度,保温一段时间,随后在炉中或埋入炉中或导热性较差的介质中,使其缓慢冷却以获得接近平衡状态的稳定的组织。目的:(1)降低钢的硬度,改善切削加工性;(2)提高钢的塑韧性,便于成形加工;(3)细化晶粒(4)消除工件内的残余应力。

正火:将钢加热到 A_{c3} 或 A_{cm} 以上 $30-50^{\circ}\text{C}$,适当保温后,从炉中取出在静止的空气中冷却至室温。目的:(1)细化晶粒,消除缺陷(2)调整钢的硬度(3)消除内应力既可做为中间热处理,也可用作最终热处理。

2.1.2 淬火与回火

淬火:淬火是将钢奥氏体化后以大于 V_k 的速度冷却,已获得高硬度的马氏体(或下贝氏体)组织的热处理工艺。

目的:主要是获得马氏体,提高钢的硬度和耐磨性。

两个概念:淬透性,淬硬性淬火后强度和硬度有了较大提高,但塑性和韧性却显著降低,此外,淬火工件内部有较大内应力,如不及时处理,

会进一步变形至开裂,为此,淬火后要及时回火。

回火：将淬火后的钢加热到 A_{c1} 线以下的某一温度，在该温度下保温一定时间（1-2 小时），然后取出在空气或油等介质中冷却。回火通常作钢件热处理的最后一道工序，因此，把淬火和回火的联合工艺称为最终热处理。目的：（1）降低脆性，减少内应力，防止变形开裂（2）调整钢件的机械性能（3）稳定组织，保证工件尺寸、形状稳定。回火一般分为低温、中温、高温回火。

低温回火：加热到 $150-250^{\circ}\text{C}$ ，保温 1-3 小时后空冷，得到回火马氏体。（保证高硬度，如刀具、量具）

中温回火：加热到 $350-450^{\circ}\text{C}$ ，保温后空冷，得到回火屈氏体。（高弹性极限，有一定韧度和硬度，如弹簧）

高温回火：加热到 $500-650^{\circ}\text{C}$ ，保温后空冷，得到回火索氏体。（有一定强度和硬度，又有良好的塑性和韧性，如曲轴，齿轮）

淬火+高温回火=调质处理

2.2 40Cr 钢的热处理实验

实验试样：40Cr

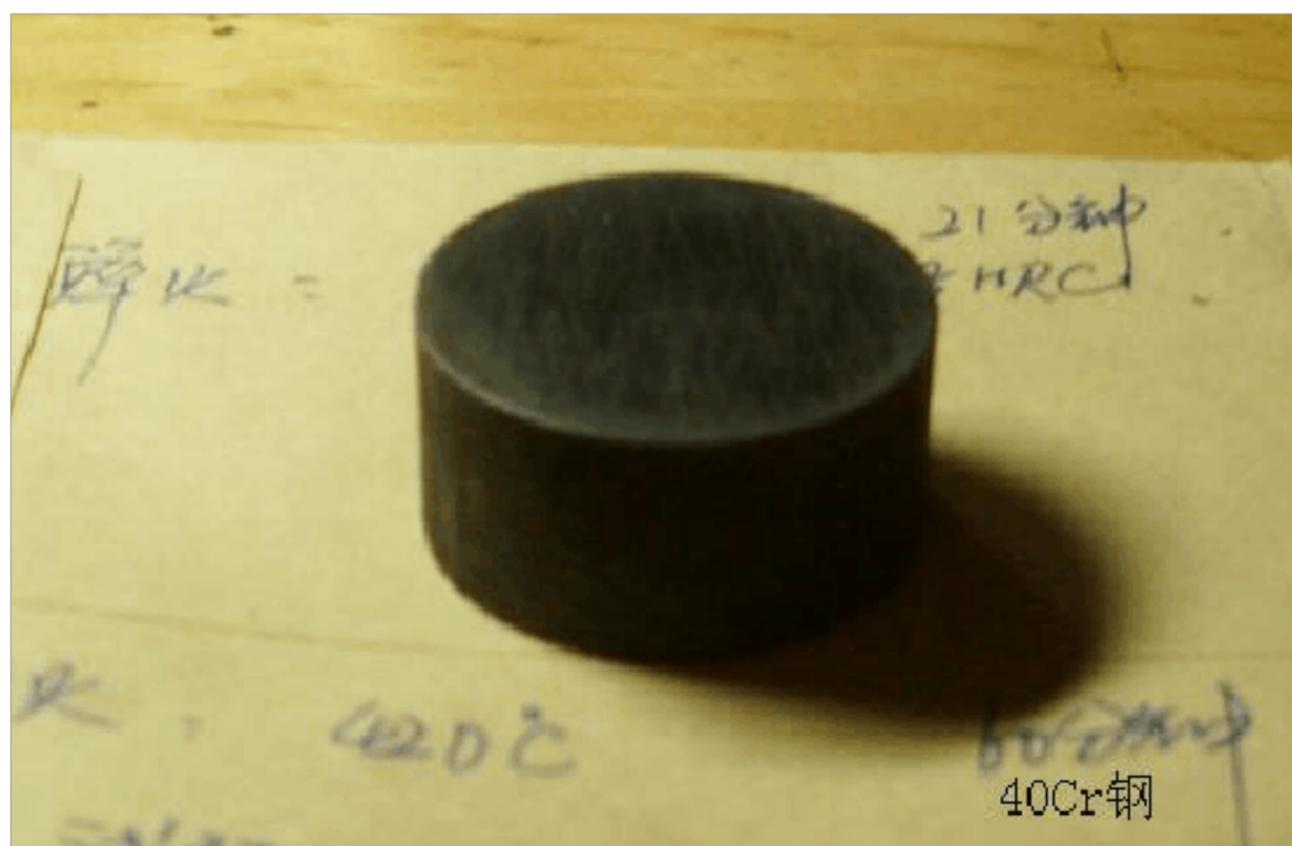


图 2-1 40Cr

直径 30mm、高为 15mm 的圆柱坯料 5 个

2.2.1. 40Cr 钢特性

40Cr 钢是最常用的合金调质钢，抗拉强度，屈服强度及淬透性均比 40 钢高，临界淬透直径；油中约为 15-40 mm，水中约为 28-60 mm。断面尺寸在 <50mm 时，油淬无自由铁素体析出，故有较高的疲劳强度，当含碳量下降时，经淬火和回火后，除能获得较高的强度外，还有良好的韧性，水淬时，形状复杂的零件容易形成开裂，在 450-680℃回火时，有第二类回火脆性倾向，但可随着截面尺寸的减少而减弱，白点敏感性较大，所以锻后宜缓冷，冷变塑性中等，冷顶锻前最予以球化处理，正火或调质后，可削性很好，退火后可削性也较好；钢的焊接性较差，有开裂倾向，所以焊前需预热到 100-150℃；一般经调质处理使用。用途：适用于制造中等载荷和中等速度工作的零件，如汽车的转向节，后半轴及机床正的齿轮，轴，蜗杆，花键轴等，经淬火及中温回火后可用于制造高载荷，冲击及中速工作的零件，如齿轮，主轴，油泵转子，套环等，也可用于制造各种扳手，经淬火及低温回火后，可用于制造重载荷，低冲击及要求有耐磨性，截面尺寸（厚度）<25mm 的零件，如蜗杆，主轴，套环等，经调质并高频表面淬火后，可制作要求较高的表面硬度及耐磨性而无很大冲击的零件，如齿轮，套筒，轴，销子，连杆，进汽阀等，此外，还适用于进行碳氮共渗处理制造各种传动零件，如直径较大和低温韧性好的齿轮和轴等。

因此，本实验试样直径 30mm、高为 15mm 的圆柱坯料在下面的淬火中能够被淬透。

2.2.2. 40Cr 钢的物理性能

40Cr 钢的弹性模量和切变模量

弹性模量 E (20℃)	/MPa	200000~211700
切变模量 G (20℃)		80800

表 2-2

40Cr 钢的线（膨）胀系数

温度/°C	20~200	20~300	20~400	20~500	20~600	20~700	备注
线（膨） 胀系数 /C ⁻¹	(11.9~ 12.0) ×10 ⁻⁶	(13.3~ 13.4) × 10 ⁻⁶	(14.3~ 14.4) × 10 ⁻⁶	(15.0~ 15.1) × 10 ⁻⁶	(15.3~ 15.4) × 10 ⁻⁶	(15.4~ 15.5) × 10 ⁻⁶	1 2

表 2-3

1 用钢成分（%）：0.37C, 0.30Si, 0.66Mn, 0.95Cr, 0.18Ni, 0.016P, 0.028S;

2 用钢成分（%）：0.42C, 0.29Si, 0.69Mn, 0.87Cr, 0.14Ni, 0.010P, 0.013S。

40Cr 钢的热导率

温度/°C	100	200	300	400	500	600
热导率 λ /W · (m · K) ⁻¹	32.6	30.9	29.3	28.0	26.7	25.5

表 2-4

2.2.3. 40Cr 钢的化学成分

40Cr 钢的化学成分（GB/T3077-1999） ω /%

C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu
0.37~ 0.45	0.17~ 0.37	0.50~ 0.80	0.80~ 1.10	≤0.03 0	≤0.03 0	≤0.25	≤0.03 0

表 2-5

2.2.4. 40Cr 钢的调质处理

Cr 能增加钢的淬透性，提高钢的强度和回火稳定性，具有优良的机械性能。截面尺寸大或重要的调质工件，应采用 Cr 钢。但 Cr 钢有第二类回火脆性。

40Cr 工件调质的淬回火，各种参数工艺卡片都有规定，我们在实际操作中体会是：

（一）40Cr 工件淬火后应采用油冷，40Cr 钢的淬透性较好，在油中冷却能淬硬，而且工件的变形、开裂倾向小。但是小型企业在供油紧张的情况下，对形状不复杂的工件，可以在水中淬火，并未发现开裂，只是操作者要凭经验严格掌握入水、出水的温度。

（二）40Cr 工件调质后硬度仍然偏高，第二次回火温度就要增加 20~50℃，不然，硬度降低困难。

（三）40Cr 工件高温回火后，形状复杂的在油中冷却，简单的在水中冷却，目的是避免第二类回火脆性的影响。回火快冷后的工件，必要时再施以消除应力处理。

2.2.5. 40Gr 热处理实验过程

常用仪器设备：温度计、加热炉、箱式电阻加热炉、冷却槽、夹钳、洛氏硬度计、金相砂纸、放大镜与游标卡尺

试样：直径 30mm、高为 15mm 的圆柱坯料

2.2.5.1、实验目的

- 1、熟悉钢的常用热处理方法及工艺要点；
- 2、掌握使用热处理的各种器材仪器；
- 3、在淬火温度及变量相同的情况下回火温度对硬度的影响；
- 4、了解钢普通热处理(淬火、回火)的操作方法。分析钢在热处理时含碳量、加热温度、冷却速度及回火温度等主要因素对钢热处理后组织与性能的影响。

2.2.5.2、淬火工艺

淬火是将钢奥氏体化后以大于 V_k 的速度冷却，已获得高硬度的马氏体（或下贝氏体）组织的热处理工艺。

钢的淬硬性是指淬火钢获得高硬度或马氏体硬度的能力。钢的淬硬性与其合金元素无关，而主要取决于 W_c 。

1、实验方法与步骤

- (1) 先对试样进行倒角，表面的一些初步处理。
- (2) 根据处理条件不同，进行分组试验。
- (3) 只有第 2 组的试样要参与回火实验，其余的不参与。
- (4) 加热保温时间的确定

根据试样的有效厚度 (D) 计算加热保温时间 (τ)

由公式： $\tau = \alpha kD$ 计算得： 保温时间为 $D=21\text{min}$

式中： τ ----- 加热保温时间，min；

α ----- 加热系数，min/mm；

k ----- 工件的装炉方式修正系数；

D ----- 工件的有效厚度，mm；

加热保温时间根据以上公式计算得出为 21 分钟。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/416202024022010053>