
50Si₂Mn 弹簧钢的热处理工艺

目录

- 1 选材论证
 - 1.1 弹簧刚定义
 - 1.2 弹簧钢分类
 - 1.3 截面硬度分部曲线
- 2 材料选择
 - 2.1 给定条件
 - 2.2 技术要求
 - 2.3 材料的选择
 - 2.4 材料合金元素的分析
- 3 设计说明书
 - 3.1 工艺流程
 - 3.2 原材料检验
 - 3.3 预备热处理
 - 3.4 淬火加中温回火
 - 4.5 去应力退火
 - 4.6 交验
 - 4.7 工装图
- 4 技术文件
 - 4.1 真空炉设备的简介及操作规程
 - 4.2 工艺守则
 - 4.3 金相组织检验规程
 - 4.4 常用炉型的选择
- 5 参考文献

摘要

通用合金弹簧钢是用途最广、最重要的弹簧材料.分析了标准合金弹簧钢的合金化特点及常用合金系列.标准合金弹簧钢使用的合金元素不够广泛,合金系列比较简单,未能充分利用多元合金化的效应.分析和研究了弹簧钢合金化的最新发展趋势.其特点是在更广泛和深入地研究合金元素作用、合金系列及合金化理论的基础上,扩大了合金元素的使用范围,特别是使用了很多以前未曾用过的微量合金元素,发展了大量多元(甚至七元或更多)合金系列,充分利用合金元素的复合合金化效果,明显改善了弹簧钢的性能

关键词： 弹簧 合金钢 热处理

1 选材论证

1.1 弹簧钢定义：

弹簧钢是指由于在淬火和回火状态下的弹性，而专门用于制造弹簧和弹性元件的钢。钢的弹性取决于其弹性变形的能力，即在规定的范围之内，弹性变形的能力使其承受一定的载荷，在载荷去除之后不出现永久变形。

弹簧钢应具有优良的综合性能，如力学性能（特别是弹性极限、弹性极限、屈强比）、抗弹减性能(即抗弹性减退性能，又称抗松弛性能)、疲劳性能、淬透性、物理化学性能(耐热、耐低温、抗氧化、耐腐蚀等)。为了满足上述性能要求，弹簧钢具有优良的冶金质量(高的纯洁度和均匀性)、良好的表面质量(严格控制表面缺陷和脱碳)、精确的外形和尺寸。

根据 GB/T 13304《钢分类》标准，按照基本性能及使用特性一，弹簧钢属于机械结构用钢；按照质量等级，属于特殊质量钢，即在生产过程中需要特别严格控制质量和性能的钢。按照我国习惯，弹簧钢属于特殊钢，制作弹簧钢的时候技术要求比较高，技术的过硬直接决定品质的高低

1.2 弹簧钢分类

1.2.1 按照化学成分分类

根据 GB/T 13304 标准, 弹簧钢按照其化学成分分为非合金弹簧钢(碳素弹簧钢)和合金弹簧钢。

1 碳素弹簧钢

碳素弹簧钢的碳含量(质量分数)一般在 0.62%~0.90%。按照其锰含量又分为一般锰含量(质量分数) (0.50%~0.80%)如 65、70、85 和较高锰含量(质量分数) (0.90~1.20%), 如 65Mn 两类。

2.合金弹簧钢

合金弹簧钢是在碳素钢的基础上, 通过适当加入一种或几种合金元素来提高钢的力学性能、淬透性和其他性能, 以满足制造各种弹簧所需性能的钢。

合金弹簧钢的基本组成系列有, 硅锰弹簧钢、硅铬弹簧钢、铬锰弹簧钢、铬钒弹簧钢、钨铬钒弹簧钢等。在这些系列的基础上, 有一些牌号为了提高其某些方面的性能而加入了钼、钒或硼等合金元素。

此外, 还从其他钢类, 如优质碳素金钩钢、碳素工具钢、高速工具钢、不锈钢, 选择一些牌号作为弹簧用钢。

1.2.2 按照生产加工方法分类

1. 热轧 (锻) 钢材包括热轧轧圆钢、方钢、扁钢、钢板, 锻制圆钢、方钢。

2. 冷拉 (轧) 钢材 包括钢丝、钢带、冷拉材 (冷拉圆钢)。

1.2.3 按照钢材交货状态分类

1. 热轧 (锻) 钢材

A.以热轧 (锻) 状态交货 钢材经热成形制成弹簧, 然后进行淬火和回火处理。

B.以退火状态交货 钢材经冷成形制成弹簧, 然后进行淬火和回火处理。

2. 冷拉 (轧) 钢材

A. 钢丝

① 铅浴等温退火冷拉钢丝(又称派登脱处理冷拉钢丝) 钢丝制成弹簧后只需进行低温回火, 以消除应力。

② 油淬火和回火钢丝 冷拉成所需尺寸后, 进行连续加热、连续油淬火和铅回火。钢丝制成弹簧后只需进行底温火, 以消除应力。

③ 冷拉钢丝 (即不经淬火和回火处理的钢丝)

a. 以冷拉状态交货。

b. 以退火、正火或回火处理状态交货。

以上两种状态交货的钢丝制成弹簧后均需进行淬火和回火处理。

B. 钢带

① 冷轧状态交货 制成弹簧后需进行低温回火, 以消除应力。

② 淬火和回火状态交货 制成弹簧后需进行低温回火, 以消除应力。

③ 退火状态交货 制成弹簧后需进行淬火和回火处理

C. 冷拉钢材

以退火状态交货 钢材经冷成形制成弹簧, 然后进行淬火和回火处理。

1.2.4 其他分类方法

除以上所述外, 还有一些其他分类方法, 例如:

按交货条件要求不同可分为按化学成分(力学性能)交货和按淬透性交货。

按弹簧工作条件可分为承受静载荷弹簧钢、承受冲击载荷弹簧钢、耐高(低)温弹簧和耐腐蚀弹簧钢等。

性能要求:

1 力学性能方面:

由于弹簧是在弹性范围内工作, 不允许产生永久变形。弹性好坏可用应变能或弹性比功(U)表示, 根据应力应变曲线

$U \propto \frac{\sigma^2}{E}$ 或 $U' \propto \frac{\tau^2}{G}$ ，根据工件的硬度要求，查阅弹簧热处理工艺手册，可以得到牌号为 65，85，55Si₂Mn，55Si₂MnB，55CrMn，60Si2Mn 等都能符合要求[1]。

进一步查阅手册，分析各种钢的主要用途。

表 1—1

牌号	性能特点	用途举例
60	经热处理或冷作硬化后具有较高硬度与弹性，冷变形苏醒地，淬透性不好，承受动载和疲劳载荷的能力低，一般采用油淬，大截面部件采用水淬，油淬或正火处理。	应用广泛，多用于工作温度不高、尺寸较小的弹簧，或不太重要的较大尺寸弹簧，如汽车。拖拉机、铁道车辆及一般机械用的弹簧等。
85	具有很高的强度、硬度和去伏笔，但淬透性差，耐热性不好，承受动载荷疲劳载荷的能力差。	用于火车、汽车、拖拉机等变形弹簧，圆形螺旋弹簧及一般机械用弹簧等。
55Si ₂ Mn 55Si ₂ MnB	有较高的强度和弹性极限，较高的抗松弛能力，抗回火稳定性好，脱碳倾向大。 55Si ₂ MnB因含硼，淬透性明显改善	用于高应力、高交变条件和条件下工作的较大尺寸的螺旋弹簧、减震弹簧、碟形簧、汽封簧，还用于250℃以下工作的耐热弹簧。
55CrMn	有较高的强韧性，淬透性好，	用作重载荷、高应力条件

	热加工性能、抗脱碳性能亦好，过热敏感性比锰钢低而比硅锰钢高，对回火脆性较敏感，焊接性差。	下工作的大型弹簧，如汽车、拖拉机、机车的大截面弹簧，直径较大的螺旋弹簧等。
60Si2Mn	由于硅含量高，其强度和弹性极限均比55Si2Mn高，抗回火稳定性好，淬透性不高，易脱碳和石墨化。	用途很广，主要用在汽车，机车，拖拉机的减震板簧，螺旋弹簧，气缸安全阀簧，止回阀簧，也用于制作承受交变载荷及高应力下工作的重要弹簧、抗磨损弹簧。

综合性能要求和经济性考虑，初选定 50Si₂Mn 钢为使用钢材，所用材料为轧制态的 50Si₂Mn 商品钢。

50Si₂Mn 的元素含量及临界温度

表 1—2

元素含量 %				临界温度 °C		
C	Si	Mn	Cr	Ms	Ac ₁	Ac ₃
0.63	2.00	0.90	0.15	265	755	810

淬透性的校核：

淬透性：指钢在淬火时能够获得 M 的能力，它是钢材本身的一种属性。它主要与钢的过冷 A 的稳定性与临界淬火冷却速度有关。

表示方法：U 曲线法，临界直径法和顶端淬火法。

我采用的是^[1]根据淬透性曲线确定钢的临界淬透直径：借助于三个图①碳含量与半马氏体区硬度的关系图；②钢的淬透性曲

线；③确定淬透性的线解图。

先根据 65Si2Mn 的含碳量，得到其半马氏体硬度，然后通过 65 的淬透性曲线得到其距水冷端距离，再通过圆棒直径及截面上的位置与端淬试样上至水冷短距离的关系得到 65Si2Mn 的临界淬透半径。

表 1—3

含碳量	硬度/HRC	距水冷端距离	临界半径
0.54%~0.63%	42~45	6mm	22mm

50Si₂Mn 的距水端距离由图 2-1 和图 2-2 确定，使用热处理手册[2]得到临界半径尺寸，由查阅热处理技术数据手册[3]得知，50Si₂Mn 的有关参数如下表所示：

表 1—4

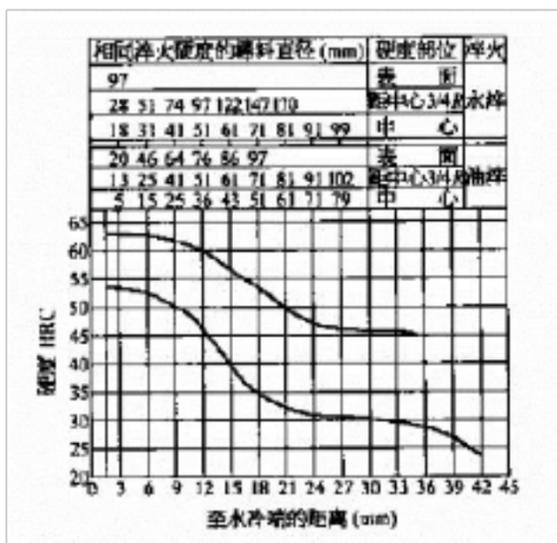


图 1—1

强度级别

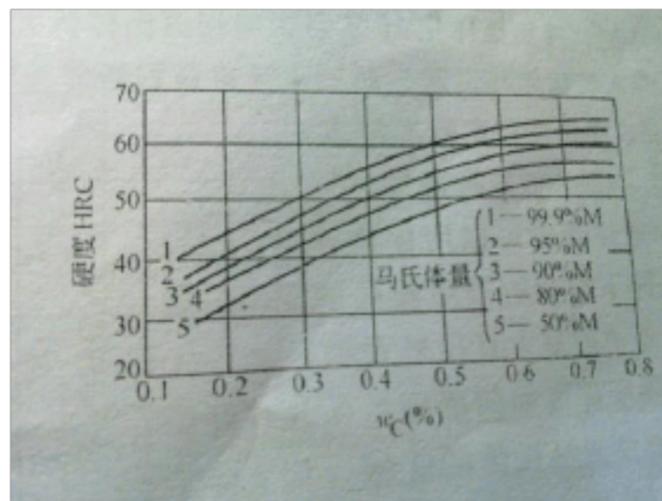


图 1—2

σ_b /Mpa

硬度/HRC

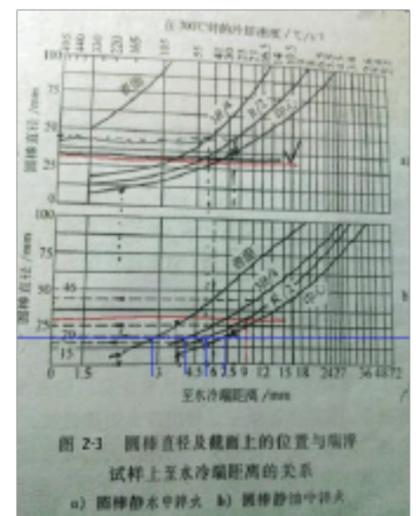


图 1—3

推荐的回火温度/

°C

II

1610~1900

48~55

430~500

由上表可知，所选材料完全可以满足设计要求，所以选材是正确的。

由弹簧钢的热处理工艺规范查得：

表 1—5

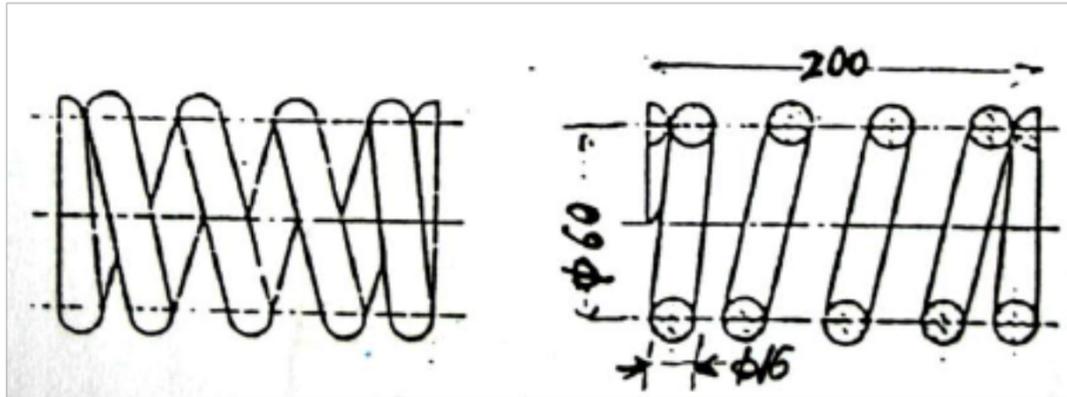
钢号	热加工温度		退火			正火					
	加热	始锻 终锻	温度 /°C	冷 却 方 式	硬度 /HRW	温度/ °C	冷 却 方 式	硬度 /HRW			
60Si2Mn	1080~120	1020~1080	750	炉冷	≤22	830~860	空冷	≤30			
		850~950									
	高温回火		淬火								
	温度/°C	硬度/H RW	温度/°C			冷却剂		硬度/HR C			
	640~680		870			油		》 61			
	回火										
	各种不同温度回火后的硬度值HRC										
	150	200	300	400	500	550	600	650	常用回 火温度 范围/ °C	冷却 剂	硬度H RC
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
	61	60	56	51	43	38	33	29	430~480	水, 空冷	45~50

由于 50Si₂Mn 是高合金钢,用水介质淬火时,容易发生开裂,所以采用油做淬火介质,这一点在表 1—5 也得到了充分论证。

2 材料选择

2.1 给定条件

零件名称： 弹簧 材料： 50Si2Mn 净重:1.85Kg 批
量： 大批量
零件简图：



2.2 技术要求：

热处理态及硬度： HRC42-45

变形要求： $\leq 1\%$

组织： 马氏体+回火托氏体

其它： 能承受

极限载荷 10000N，单圈刚度 $\gg = 1500\text{N/mm}$ ，工作极限载荷下的单圈变形量 $\ll = 6\text{mm}$ ，许用应力 740MPa

2.2.1 材料的选择

弹簧选材的原则是：首先满足功能要求，其次是强度要求，最后才考虑经济性。

碳素弹簧钢是弹簧钢中用途广泛，用量最大的钢类。钢中含 0.60%~0.90% 的碳和 0.3%~1.20% 的锰，不再添加其它合金元素，使用成本相对较低。碳素弹簧钢丝经适当的加工或热处理，可以获得很高的抗拉强度，足够的韧性和良好的疲劳寿命。但碳素钢丝的淬透性低，抗松弛性能和耐蚀性能差，弹性模量的温度系数较大(高达 $300 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)，适用于制造截面较小，工作温度较低($120^\circ\text{C} >$)的弹簧。

合金弹簧钢一般含 0.45%~0.70% 的碳和一定量的 Si, Mn, Cr, V, W 及 B 等合金元素。合金元素的加入改善弹簧钢的抗松弛性能，提高钢的韧性，同时显著提高钢的淬透性和使用温度，适用于制造较大截面，较高温度下使用的弹簧。

2.3 材料的合金元素分析

2.31 50Si₂Mn 的成分

钢号	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
					≤	≤	≤
50Si2Mn	0.56~0.64	1.50~2.00	0.60~0.90	0.70~1.00	0.3	0.04	0.04

C: 每种合金元素形成碳化物时都要有一定数量的碳与之化合, 含碳量低会使部分合金元素失去析出硬化的机会; 含碳量过高, 多余的碳会和铁形成化合物或其他稳定性差的碳化物, 从而降低钢的可加工性及韧性。

W: 钨是提高高速钢回火稳定性和耐热性的主要元素。在马氏体中, 钨原子和碳原子的结合力很大, 提高了马氏体在受热时的分解稳定性, 使钢在高达 550~600℃ 时仍能保持高的硬度。钨的碳化物在高温加热时有力的起到阻止晶粒长大的作用。高速钢淬火后在 560℃ 回火时, 碳化物析出并作均匀弥散分布; 钢中残余奥氏体在回火后冷却时转为马氏体, 将产生二次硬化作用。这些都能进一步提高钢的耐磨性和切削性能。

Cr: 铬可提高钢的淬透性和回火稳定性, 促进 W、V 等碳化物的析出硬化。V: 钒也是提高高速钢回火稳定性和耐热性的元素。钒的碳化物硬度高, 晶粒细, 有较强的抗集聚能力, 随着钒含量增加, 钢的耐磨性大幅度提高, 但可磨削性显著降低, 增加了刃磨困难。为此钒的含量一般不超过 3%。

Si: 有助于提高钢的耐热性和热硬性, 但韧性较差。

Al: 铝的作用和钴相似, 并有容易形成致密氧化膜而起着防止沾刀的作用。

S、N: 加入少量的硫, 可以得到易切削的高速钢; 加入少量的氮, 可以增加钢的红硬性, 提高刀具的切削性能。

3 设计说明书

3.1 工艺流程

原材料检查——前期预处理——下料（剪断）——料头锻扁——加热——卷绕成型——淬火（淬火介质为油）——中温回火（带芯棒）——初步检验——整形——去应力退火（带芯棒）——检验——喷砂——立定处理——断面加工——检验——表面防腐处理——入库

3.2 原材料检验

3.2.1 50Si₂Mn 的成分

钢号	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
					≤	≤	≤
50Si2Mn	0.56~0.64	1.50~2.00	0.60~0.90	0.70~1.00	0.3	0.04	0.04
n	64	00	90	00	5	0	0

3.2.2 初步检验

供货商提供的质量证明书为原件，应清晰易辨，不得涂改，生产厂家的质量检验公章、合格章应清楚，不得被其他文字、印章遮盖，供货商在空白处应加盖公章；如供货商提供的质量证明书为复印件，其要求同原件，供货商并注明原版质量证明书存放处；否则作退货处理。

原材料的批次号与质量证明书上的批次号必须一致，如不一致作退货处理；

原材料规格型号、材质、与采购计划必须一致，如不一致作退货处理；

原材料数量、重量与采购计划须一致，如不一致需作进一步处理，少的需追加，多的呈报主管副总经理批示。

原材料价格与采购计划须一致，如不一致需作进一步协商处理，并呈报主管副总经理批示。

原材料的表面不得有裂纹、折叠、结疤和重皮，表面不得有严重锈蚀、麻点和划痕，无明显变形。检验合格后，填写记录，开出原材料检验委托单，并附质量证明书、采购计划，由质检部门进行抽检，；如不合格作退货处理；

3.2.3 质量部检验

钢材的批次号与质量证明书上的批次号是否一致；品种、规格、性能等应符合现行国家相关标准和设计要求；如不相符作退货处理；符合的，通知作外观检验。

外观检验：

钢材外观检验：表面不得有裂纹、折叠、结疤、夹渣和重皮；表面有锈蚀、麻点和划痕时，其深度不得大于该钢材负允许偏差值的 1/2，且钢材表面局部缺陷，累计大于该钢材面积的 1% ，应作退货处理。钢材端边或断口处不应有分层、夹渣等缺陷。

检验方法：采用目测、卡尺、钢直尺、拉线、钢卷尺检查

检验数量：外露部分全数检查 ，必要时拆包抽检。

参照标准：GB/T2975 《钢材力学及工艺性能试验取样位置及试样制备》 。

钢材外形尺寸检验：长度、宽度、厚度的允许偏差应符合现行国家相关标准；

检验方法：用卡尺、钢卷尺、角尺、直尺、测厚仪等检测

检验数量：每一品种、规格的钢材抽查不少于 5 件；

如外观检验不合格，理、化检验不必进行检测。

3.2.4 精度要求及检验方法

随机抽取 3 根棒状原料，用锯片沿轴向和纵向各切取 3 块试样，在切取试样的同时采用水冷却，以防温度升高引起材料显微组织变化。首先低倍检查试样是否存在宏观缺陷，要求精度

项目	中心	一般疏	偏析
----	----	-----	----

	疏松	松	
精度	≤2.5	≤1.5	≤2

表 4-5

低倍检验方法：

采用热浸蚀方法，将钢板切片置于热酸中腐蚀之后再检验。使用 50% 盐酸水溶液为腐蚀剂。将酸液加热到 70 °C 后，把样品放入酸液溶液中并保温，待显示出缺陷后取出放入中和槽，然后再取出并用水将检验面上的酸液冲洗干净并吹干后用低倍显微镜进行检验，检验内容包括疏松、缩孔、偏析、白点、夹杂、裂纹。

3.2.4.1 疏松

疏松是钢不致密的表现，多出现于钢锭的上部，在化学成分上疏松点的碳、硫、磷含量比集体偏高。根据疏松在横断面上的分布位置，将疏松分为一般疏松和中心疏松。

(1) 一般疏松。钢材横截面上组织不致密，腐蚀后整个截面上呈分散的小孔隙和暗黑色小圆点。

(2) 中心疏松。钢材横截面上轴心区域组织不致密，腐蚀后有聚集的小孔隙、凹陷的暗黑点和中心变黑的现象。

3.2.4.2 缩孔

在钢材横截面的轴心区域，浸蚀后显现出不规则的皱折缝隙或空洞，周围集聚严重的疏松、偏析和非金属夹杂物。由于热加工的影响，缩孔的位置常常造成偏心。在钢材的纵向截面上，缩孔表现为非结晶构造的条带和疏松，有时存在杂质。正常情况下，钢锭在切除冒口时即可将冒口切去，但若缩孔较深或产生二次缩孔，以及钢锭切头量过少使缩孔未能切净，钢中仍会存在部分缩孔，或因此引起的二次裂纹，称为缩孔残余。

3.2.4.3 偏析

偏析是指钢中化学成分分布不均匀的现象。在化学成分上，偏析带上的碳、硫、磷以及其它杂质的含量较基体较高，其中以碳的增高为最显著。经浸蚀后可能见到的偏析主要有方框形偏析、中心偏析和点状偏析。

(1) 方框形偏析。在钢材的横截面上，腐蚀后显现出由致密的暗黑色小点组成的颜色较深的方框形，方框以内的组织较外部不致密。由于热加工变形的影响，方框有时变成不规则的“◇”形、“×”形乃至任意形状。

(2) 中心偏析。在钢材横截面的中心部位，腐蚀后显现出形状不规则的深暗色斑点。

(3) 点状偏析。在钢材的横截面上，腐蚀后显现出分散的、不同形状、不同大小、略有低陷的暗黑色斑点，在钢材的纵断面上呈暗色条带，严重时往往伴有气泡出现。

3.2.4.4 夹杂

钢中的夹杂分为三类：金属夹杂、非金属夹杂和翻皮。

(1) 金属夹杂。在钢材的横截面上，浸蚀后显现出边界清晰、与基体金属颜色明显不同的异形金属块。

(2) 非金属夹杂。在钢材的横截面上，浸蚀后表现为有一定深度又不规则的小空洞，有时可见到白色或其它颜色的夹杂颗粒，分布无一定规律。

(3) 翻皮。在钢材横截面上，浸蚀后可见到亮白色或暗色的、弯曲且不规则的细长带，缺陷内部及周围常常有非金属夹杂和气孔。在纵向截面上，显示为不同颜色的非结晶构造的条纹。，严重时呈层状。

3.2.4.5 白点

在钢材的横截面上，浸蚀后可见到直的、弯曲的或锯齿形的

细长裂纹，位置多在 $1/3\sim 1/2$ 半径（或壁厚）处，也有的处于中心位置。白点的位置与钢材及锻件的冷却条件有关，冷却越快白点越接近表面，冷却缓慢则白点趋向中心。冷却快形成的白点数量多长度短，冷却慢形成的白点数量少长度较长。在纵向断口上，白点多显示为圆形或椭圆形的银白色斑点，直径从零点几毫米至十几毫米乃至几十毫米。

3.2.4.6 裂纹

（1）轴心晶间裂纹。轴心晶间裂纹是钢锭凝固结晶时产生的热裂纹，在热轧和锻压时未能焊合而遗留在成材中，在钢材横截面的中心区域，浸蚀后显示为蜘蛛网状裂纹。

（2）发纹。发纹是钢中夹杂和气孔等缺陷在加工时延伸而形成的，它表现为沿钢材的加工方向的类似头发丝粗细的裂纹。

3.2.4.7 磷、硫元素偏析的检验

正常情况下，钢中都含有微量的硫和磷，其分布也是不均匀的。但若硫化物和磷化物偏析严重，会引起钢的热脆性和冷脆性。采用印痕法检验磷化物和硫化物的分布状况。

验收结论：符合标准收货，不符合，退货

3.3 预备热处理

3.3.1 选用工艺

选用工艺为正火，正火是将钢加热到 A_{c_3} 或 $A_{C_{cm}}$ 以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$ 并保温一定时间，然后出炉在空气中冷却的热处理工艺。与完全退火相比，二者的加热温度及保温时间相同，但正火冷却速度较快，转变温度较低，发生伪共析转变。

3.3.2 正火的目的

1. 低碳钢正火的目的之一是为了提高切削性能。但是对有

些含碳量低于 0.20% 的钢，即使按通常正火温度正火后，自由铁素体量仍过多，硬度过低，切削性能仍较差。为了适当提高硬度，应提高加热温度(可比 A_{c3} 高 100°C)，以增大过冷奥氏体的稳定性，而且应该增大冷却速度，以获得较细的珠光体和分散度较大的铁素体。

2. 中碳钢的正火应该根据钢的成分及工件尺寸来确定冷却方式。含碳量较高，含有合金元素，可采用较缓慢冷却速度，如在静止空气中或成堆堆放冷却，反之则采用较快冷却速度。

3. 过共析钢正火，一般是为消除网状碳化物，故加热时必须保证碳化物全部溶入奥氏体中。为了抑制自由碳化物的析出，使其获得伪共析组织，必须采用较大冷却速度，如鼓风冷却、喷雾冷却，甚至油冷或水冷至 A_{r1} 点以下的温度取出空冷。

4. 双重正火。有些锻件的过热组织或铸件粗大铸造组织，一次正火不能达到细化组织的目的，为此采用二次正火，始可获得良好结果。第一次正火在高于 A_{c3} 点以上 $150\text{—}200^{\circ}\text{C}$ 的温度加热，以扩散办法消除粗大组织，使成分均匀；第二次正火以普通条件进行，其目的是细化组织。

我们选择的是一次正火热处理，在上述的目的中，我们的目的是消除原料中的残余的应力以及消除网状碳化物。

3.3.3 正火作用

正火冷却速度较退火快些，所得到的组织较细，对于亚共析钢主要是细化晶粒，均匀组织，提高机械性能；对于力学性能要求不高的普通结构零件，正火可作为最终热处理；对于低中碳结构钢，主要是提高硬度，改善切削加工性能，高碳钢则应采用退火；对于过共析钢，有利于球化退火，为淬火作组织准备。

3.3.4 正火工艺规范示意图：

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/957135141016006045>