

# 热处理工艺对齿轮性能的改变分析

朱建军

靖江市产品质量综合检验检测中心 江苏 靖江 214500

**【摘要】**经由不同热处理工艺，不同材料的齿轮能够通过热处理实现最佳使用性能。具体到齿轮制造环节，齿轮性能主要取决于热处理工艺的成熟度。本文重点分析热处理工艺与齿轮性能之间的关联性，剖析热处理工艺对齿轮性能带来的改变。

**【关键词】**热处理工艺；齿轮；性能；改变

## 1 齿轮性能变化的主要影响因素

在制造齿轮时主要参考及依循的标准是材料类型及加工条件。制约影响齿轮性能及周期寿命的因素是齿轮制作的材料，齿轮如经过高速运转或传动，齿轮表面会出现疲劳点蚀现象<sup>[1]</sup>。因此，齿轮在齿面上应具备较高硬度且齿轮材料具备较厚的硬层。如齿轮传动带有极强的冲击荷载，为避免轮齿出现断折，齿轮材料要有极好韧性。如齿轮传动处于低速运行且负荷极大荷载，齿轮易折断且较易有磨损，此时应保证齿轮材料有极高硬度表现。具体而言，影响齿轮性能变化的因素主要有以下几方面：

第一，综合机械性能表现。实践中，金相组织材料如发挥其可切削性，通常需要45钢热处理或正火调质。由于45钢不具备过强的淬透性，在淬火过程中较易因工艺及表面粗糙度过高而导致出现变形，因此基于齿面的处理需要沿用HRC52-58标准，对齿面进行表面淬火处理，以确保齿轮能够适用于高精度的机床作业过程。

第二，齿轮采用的材料可确定使用40Cr型号，此型号能够凭借铬合金的加入使金属达到晶粒细化的效果。相比于以上采用的45钢，其在强度提升及淬透性改善上大有改进之地，能够大幅降低齿轮淬火变形几率。

第三，选用低碳合金钢，凭借其切削性能突出的优势，可以降低渗碳工件变形概率，同步提高齿轮的抗弯曲疲劳强度及齿面硬度。例如，18CrMnTi钢，一方面其具备更少的奥氏体量数值，另一方面其在淬火硬度上可以实现HRC56-62级别。该低碳合金钢所制作的齿轮主要应用于荷载力较大的设备，如拖拉机及机动汽车等。

第四，氮化钢性能。氮化钢，如38CrMoALA型号钢齿轮，通过氮化处理作业后，齿轮相比其他型号材质的渗碳淬火齿轮，在抗腐蚀性及耐磨性方面具备更强的比较优势。一方面其磨齿几率低，另一方面其变形不大，

能够用于高速传动过程中的齿轮作业。

第五，齿形及齿向修形。首先，采用剃齿刀进行修形，剃齿刀节圆部分处于修凹状态，弥补因剃齿工艺带来的齿形中凹缺陷。例如，国产Y7125磨齿机上采取剃齿刀修形方案，利用修形样板对砂轮进行修整，使刃磨后的剃齿刀齿形形成中凹，中凹量控制在0.015左右。相关具体参数为：直径 $\Phi 240$ 、齿数 $Z=73$ 、模数 $m=3.5$ 、螺旋角 $\beta=15^\circ$ ，剃齿刀修形后的齿形曲线和被剃工件热处理后齿形曲线<sup>[2]</sup>。其次，齿向修形。对于剃齿的齿向修形，主要考虑齿轮的弹性变形以及热处理变形情况，一对齿轮理想的齿向啮合长度在全长方向上接触，为了实现齿宽方向基本均受载，提高齿轮承载能力，通常剃齿剃成鼓形齿，而齿向鼓形量国内一般：齿宽 $\leq 30\text{mm}$ 时，鼓形量不超过0.015mm；齿宽 $>30\text{mm}$ ，则根据齿宽比例适当加大。如齿轮以外圆型为主，则其鼓形量要大于国内标准。此情形下，结合热处理过程中两端齿宽方向“下挂”的特点，剃齿时齿向鼓形量控制在0.010 ~ 0.015之间。这样热处理后齿向鼓形量便完全达到图纸上齿向鼓形量(0.010 ~ 0.022)的要求。

## 2 制造齿轮过程中热处理技术基于齿轮性能的提升作用

### 2.1 制造工业齿轮毛坯

这一环节中，如齿轮毛坯制造及应用合理，能够大幅改善齿轮的性能。从构成齿轮毛坯的因素上看，棒料大小、锻件数量、棒料多少及铸件数量都能够影响到齿轮总体性能的发挥<sup>[3]</sup>。例如，齿轮制造中需要在精度及强度上达到极高要求，这一方面主要靠锻件来实现，如锻件能够保持极强的耐磨性及抗冲击性，能够有效增强齿轮的运转性能表现。从实践中看，齿轮直径处于500mm左右时，齿轮要以齿坯的铸造为中心，进行相应

的施工控制,如降低机械加工量,提高齿轮的精度系数,增大齿轮的尺寸大小等,以此制造符合规格的轮齿。随着铸造技术的进步,在轮齿齿坯的制造上当前已形成了新的技术工艺形式,如冷挤、粉末冶金、精密铸造、热轧等,这些技术形式能够保障齿轮生产率的有效提升,避免出现齿轮生产原料的浪费。

此外,通过对齿坯进行热处理也能够制造出符合规格的工业用齿轮。相关步骤及作用主要体现在以下方面:第一,采用正火热处理或调质热处理工艺。如采用正火工艺进行齿轮锻造及切削,需要严格遵照热处理工艺步骤及要点进行,确保钢件材料能够经过热处理实现内应力的消减,从而使齿轮锻造过程中的结晶及组织能够均匀分布,一方面实现齿坯表面粗糙度及切削性能的提高,另一方面能够降低齿坯历经淬火作用时可能出现的开裂反应及变形量。而齿坯制造中之所以需要进行调质,主要是借助齿轮元件的细化晶粒组织作用,增强齿坯的韧性表现,从而使齿轮能够满足粗车要求,并使粗车过程中的应力数值降至最低<sup>[4]</sup>。

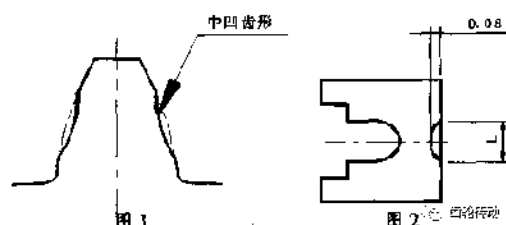
## 2.2 工业轮齿热处理

我国工业制造以汽车工业为依托,提出并实施了齿轮强国的战略,如此极大促进了我国工业齿轮制造技术的进步,并使齿轮轮齿实现了修形效果。在具体实施工业齿轮热处理时,应参照技术参数选定相应的公式,例如,以工业齿轮基本范式为例,当齿轮模数: $m=3.5$ ,齿数: $z=38$ ,压力角: $\alpha=20^\circ$ ,齿宽: $B=22$ ,外圆: $D=\Phi 140.56$ ,内孔: $d=\Phi 75 0+0.03$ 时,此时的齿轮精度应为:8GB10095—2001,选择的材料以SAE8620为宜,而热处理范围则为S0.5~C59。在轮齿的修形要求上,把握如下几个参数:①齿形鼓形量:0.005~0.015;②齿向鼓形量:0.010~0.022;③齿顶修缘: $0.3 \times 45^\circ$ 。在工业轮齿的制造加工上,其流程步骤如下:锻造→正火→粗车→精车→滚齿→剃齿→渗碳淬火→磨内孔。

从齿轮剃齿环节看,在明确其工作原理后,还要找准齿形出现中凹的相关因素。从剃齿工作流程步骤看,现阶段,国内的齿轮加工大多采用:滚齿—磨齿和滚齿—剃齿—珩齿的工艺形式。虽然磨齿能较好地提高齿轮精度,但降低噪音的效果不很理想,且投资大,生产效率低。而剃齿具有成本低,效率高,修形方便等优点,因此大多厂家都采用剃齿工艺。剃齿加工是剃齿刀与被剃齿轮形成一对加错轴斜齿轮副的啮合过程,在剃齿过程中,剃刀和被剃齿轮两轴间的径向压力是不变的,作用在一对啮合齿面上的单位面积压力要比作用在两对啮合齿面上的单位面积要大得多,切削力也大得多,特别在剃齿刀与齿轮节圆附近的相对滑动速度最小,切削变形时间和切削力传递的时间较长,切去的金属较多,

这便是产生剃齿齿形中凹(见图1)的原因,中凹量约在0.01~0.03mm。

用标准剃齿刀剃齿后的齿形在节圆附近往往产生中凹0.01~0.03mm,这是造成齿轮噪音的主要原因。针对外啮合齿轮产品特殊的修形要求:齿形鼓形量在0.005~0.015mm,齿向鼓形量在0.010~0.022mm,同时结合其热处理变形情况,由于该齿轮内孔较大结构类似齿圈,热处理变形较大,根据经验热处理后齿顶会“塌顶”,齿面两端也会“下挂”,这样会使得热处理后齿形、齿向鼓形量增大。所以剃齿的修形还必须兼顾热处理变形情况,通过反复试验,才能更好地对剃齿的齿形、齿向进行修正。



剃齿修形示意图

## 2.3 齿顶修形处理

齿轮产品齿顶修形在实践中主要采用齿轮滚齿修缘方式,即在齿轮滚刀设计上增加一个凸缘,使齿轮滚齿时,便可完成齿顶倒角 $0.3 \times 45^\circ$ 的要求。通过剃齿齿形、齿向的修形,结合热处理变形,一方面能够全面满足工业齿轮修形要求,另一方面能够使齿轮能够保持极强的硬度及耐磨属性,给予工业齿轮充足的耐性表现。

## 3 热处理工艺和材料金相组织之间的转化关联

### 3.1 渗碳齿轮受正火工艺影响

齿轮金相组织在正火锻造工艺作用下,因正火存在较大的晶粒及粗粒贝氏体,因而在齿轮锻造过程中,随着温度的升高,奥氏体晶粒会出现不均匀分布并在体量上显出粗大,如此使齿轮具备了一定的非稳定性。从微观观测上看,细小状的晶粒能够获取F+P,而借助于粗大状的奥氏体晶粒,能够在B组织的作用下提高晶粒的淬火及渗碳属性,从而使渗碳齿轮能够经受正火工艺高温作用,形成细化晶粒,极大增强齿轮的性能表现。

### 3.2 齿轮受碳氮共渗作用影响

经由渗碳反应和作用,低碳钢件能够在碳浓度上获得极大提高,并在淬火作用及回火作用下,提高齿轮的耐磨性、抗疲劳性及硬度大小。从试验上看,渗碳如处于极高的温度区间,奥氏体晶粒会出现数量多及组织粗大的问题,由此会因出现大的变形量而损害齿轮耐磨性<sup>[5]</sup>。为此,通过碳氮共渗作用下能够形成更低的温度及

更小的晶粒长度, 可使齿轮中的残余奥氏体、含氮马氏体及碳氮化合物经由淬火反应而形成变形量小的齿轮晶粒, 如此可使齿轮能够具备更好的耐磨表现, 并提高齿轮的抗冲击属性。

#### 4 结束语

在明确影响齿轮性能的各类因素及反应后, 为了使齿轮能够更具经久耐用性, 要注重把握齿轮材料的选取、性能的测验、锻造工艺的把控、热处理工艺的应用等要点, 使我国齿轮制造业能够适应外贸齿轮出口要求, 避免齿轮出现组织性硬伤。

#### 【参考文献】

- [1] 仇朋. 浅谈合金材料中不同金属元素对齿轮机械性能和热处理的影响[J]. 建材发展导向(下), 2020(3):81.
- [2] 廖晓文, 赖香功. 金属热处理工艺对齿轮材料性能的影响[J]. 世界有色金属, 2019(21):159-160.
- [3] 谢玲珍, 王忠, 冯显磊等. 不同材料不同工艺热处理的重载齿轮的弯曲疲劳性能研究[J]. 热处理, 2019(5):11-18.
- [4] 梁丽红. 浅议热处理工艺对齿轮性能的改变[J]. 商品与质量, 2019(20):116.
- [5] 向承翔. 热处理工艺对机械齿轮耐磨和热疲劳性能的影响[J]. 热加工工艺, 2018(12):173-175.