谈钻机零件材料的选用

王学渊

（无锡探矿机械总厂，江苏 无锡 214026）

摘　要：钻机零件材料的选用，应根据其工作条件所要求的机械性能，及材料热处理后所能达到的性能相结合，才能做到选材科学、经济、合理。

关键词：钻机零件材料；调质；淬透性；淬透层；渗碳

中图分类号：P634.3+1　　文献标识码：B　　文章编号：1000－3746(2000)02－0029－03

钻机零部件设计的优劣，直接决定了钻机的质量档次及在市场上的竞争力。钻机零部件设计，离不开科学、合理、经济地选用材料，既要考虑零件的工作和受载情况，又要考虑零件尺寸与质量限制，以及材料的经济适用与管理方便等，正确选材是比较复杂的。钻机设计人员要将一些钢铁材料与热处理方面的知识，融汇于零部件的设计之中，设计的钻机才可迈上一个新的台阶。

本文主要就钻机中用得较多的调质钢，渗碳钢等浅谈几点看法。

1　调质钢

含碳量 0.30％～0.50％的中碳结构钢与中碳低合金结构钢经调质后具有良好的综合机械性能，即具有较高的抗拉强度，$\sigma_b = 700 \sim 1100$ MPa，又具有较高的塑韧性（伸长率）$\delta = 8\% \sim 10\%$，不收缩率 $\psi = 45\% \sim 55\%$，冲击值 $\alpha_k = 60 \sim 100$ J/cm^2。调质是指中碳（低合金）结构钢先进行淬火得马氏体组织（或马氏体为主体的组织），尔后再 550～650 ℃高温回火得回火索氏体组织。同一轴径选用不同钢材的工件采用不同调质工艺处理至同一硬度，得到的机械性能产生差异；不同轴径选用同一钢材的工件采用相同的调质工艺处理，各自的机械性能也产生差异，这一现象的产生是钢材淬透性这一特性造成的。

通俗地讲，淬透性是钢材能够被淬透的能力——接受淬火成马氏体的能力。淬透性与工件截面厚度有一定关系，即所谓尺寸效应，截面尺寸增大，淬透层深度减小。合金结构钢较碳素结构钢的淬透性高。40Cr、35CrMo 等合金结构钢较 40、45 碳素钢的淬透层的截面相应增大。如全淬透截面尺寸：45 钢水淬 12～18 mm，油淬 5～8 mm，淬透已不易；40Cr 钢油淬 18～32 mm；35CrMo 钢油淬 25～40 mm。而 40Cr 钢 Ø50 mm 料油淬工件表面 15～8 mm 淬硬已较难，Ø60～70 mm 工件油淬则几乎无淬硬层。

调质效果与淬透性有着密切关系，淬得越透，心部得到的马氏体量越多，调质处理后的综合机械性能也越好，若零件尺寸超出全淬透尺寸，调质后其屈服强度 σ_s、伸长率 δ、不数缩率 ψ、冲击值 α_k 等都要降低，其降低程度随淬透层深度的减小而增大，乃至调质性能接近正火状态，调质就失去其提高性能的意义了。

设计零件选用调质材料时，必须考虑钢件淬透性与调质零件坯料尺寸的协调关系，保证工件调质热处理后达到要求的机械性能，对钻机关键部件尤应如此。要注意的是一些机械设计手册上有关钢材调质机械性能数据 σ_s、α_k 等大多是在完全淬透（标有标准试样尺寸）的条件下得到的，工件实际能达到的机械性能往往要比此值低，乃至相差甚远。

根据零件工作条件，分析受力情况，确定正常运行所要求的机械性能是选材的主要依据。

紧固螺栓、连杠等杠类零件，主要工作于拉（压）应力状态，整个截面受到较均匀的拉（压）应力，为此，其整个截面必须淬透，保证性能达到一致。如在动态下工作，且受力较大的拉杠与六角螺栓（Ø12～18 mm）用淬透性好的 40Cr 钢进行调质，而不采用 45 钢，避免了不能完全保证心部淬透而造成对性能的不良影响。对 Ø25～30 mm 柴油机连杠不采用 40Cr 钢，而用淬透性更好的 42CrMo 钢进行调质，也是基于上述截面性能一致的理由。

曲轴、主轴等轴类工件工作于弯曲、扭转应力状态，最大复合应力发生在轴外缘，而心部很小，为此，表面强度要求高些，调质轴表面 3R/4～R/2 淬硬即可，不必全截面淬透。如钻机中 Ø16～22 mm 轴径，不直接传动负荷的光轴。用 45 钢调质至 HB241～286，局部要求耐磨再进行高频表面淬火，完全可满足使用的性能要求，而没必要采用价格高的 40Cr 钢，乃至 35CrMo 钢进行同样的热处理。对负荷较大的轴必须保证轴径 3R/4～R/2 表层部分淬硬，如钻机中蹬输出轴，轴径≤42 mm，采用 40Cr 钢调质硬度 HB217～255 或 HB241～286（有的在花键部分高频表面淬火），使用情况良好。而 Ø48～60 mm 的 40Cr 钢输出轴，经同样热处理至表面相同硬度，但使用中易发生塑性扭曲变形而过早失效。原因在于后者不能做到截面 3R/4 以上表层淬硬，乃至有时（因钢材成分波动等原因）表

收稿日期：1999－06－08　　改回日期：1999－12－16

作者简介：王学渊（1945－），男（汉族），江苏南通人，无锡探矿机械总厂高级工程师，主要从事金属热处理及金属表面抗蚀工作，（214031）江苏省无锡市锡山新区[illegible]01，（0510）2811277。

万方数据

面也难淬硬(HRC＜45),随着淬透层的减少,调质后屈强比 σ_s/σ_b 显著下降,弯曲强度 σ_{bb} 也降低,达不到要求的强度设计值。至于屈服强度 σ_s 为轴类零件主要设计指标,且尺寸和质量大小又有所限制时,应选淬透性好的材料,以保证性能要求。Ø48～60 mm 负荷较重的输出轴,应采用淬透性好的 35CrMo 钢取代 40Cr 钢进行调质。

齿轮类工件主要工作于交变压应力与弯曲应力状态,要求齿部有较多的接触疲劳强度与弯曲疲劳强度,而调质件的疲劳极限随淬火马氏体量的增多而提高,为此要做到全齿部位截面淬透,保证达到调质齿轮要求的机械性能。鉴于不完全淬透对机械性能的影响,对负荷较轻、模数 $m\leqslant4$ 的低速从动齿轮采用 45 钢调质;而对负荷相对较重,有一定冲击的齿轮采用 40Cr 钢调质;转速提高,要求一定耐磨性时则进行齿廓部位高频淬火。钻机中有些齿宽 $B\geqslant40$ mm,模数 $m=4\sim5$ 的齿轮,特别是轴齿轮,采用 40Cr 钢调质再高频表面淬火,使用中常发生断齿、齿扭曲变形等过早失效现象。齿轮要求强度的同时,还得有一定塑韧性配合,对此,用淬透性好的 35CrMo、40CrNi 等钢取代 40Cr 钢调质会改变效果(高频淬火保证齿沟硬化)。当然,对一些冲击较大的此类大负荷齿轮改用 20CrMnTi 钢渗碳淬大,效果会更佳。

同种钢材的各种调质零件,在淬透性满足要求的前提下,根据不同的使用强度要求,提出不同的调质硬度值,只要塑韧指标保证在要求的范围(强度与硬度成正比,塑韧性随硬度的提高而下降),充分发挥材料强度的潜力。Ø42 mm 的输出轴、过桥轴、40Cr 钢调质硬度 HB217～255,使用中相对易弯曲失效,将其调质硬度提高至 HB241～286,效果明显得到改观。又如模数 $m=3$ 的大齿轮,45 钢调质硬度 HB217～255,与高频淬火的 40Cr 钢小齿轮配对传动,使用中易齿面麻点、剥落、损坏、失效,将其调质硬度提高至 HB241～286,小齿轮高频淬火硬度由 HRC48～55 调整至 HRC45～50,达到较好效果。

选用调质钢时,在淬透性满足要求的前提下,也要考虑降低材料使用成本和加工成本。低合金结构钢与碳素结构钢在完全淬透的情况下,经高温回火到相同硬度时,两者的强度相近,塑韧性相差无几,此时,一般考虑用碳素结构钢,而不用合金结构钢。如小的定位销、撑脚、螺栓等常用 45 钢调质。轴类、齿轮类部分截面淬透即可满足性能要求,而不必选用全截面淬透钢材;在淬透性满足性能要求时,提高调质硬度满足较高负荷,而不是更换淬透性更好但价格高的材料,或是增大截面尺寸浪费材料。

在此值得提出商榷的两点;

(1)有的钻机 Ø20～40 mm 销轴用 35CrMo 钢调质,硬度 HB207～269。从销轴使用性能看,应是较高的强度,不是过多的塑韧性,以增加抗剪切与挤弯的能力。一般用 35、45 碳素钢(大截面或冲击较大时用 30CrMnSi 钢)等价格较低的钢,热处理硬度 HRC30～45。若硬度 HB207～269 的强度下适合销轴的使用要求,则 40Cr 钢调质的强韧性不会比 35CrMo 钢差,45 钢调质也可胜任了。

(2)一些钻机中轴径 60 mm 的花键轴,卷扬轴采用价格贵、罕用、淬透性较 40Cr 钢差的 30CrMnTi 钢,调质硬度 HB230～270。其坯料调质淬火时表面淬硬 HRC≥42 也较难达到,3R/4 轴径表层基本无淬硬层,回火到 HB230～270 的硬度并不能表明其达到设计要求的机械性能。该钢主要用于大截面(工件壁厚＞35 mm)渗碳淬火负荷工件。用于较大负荷大轴径调质轴似乎失去其使用价值,且不能胜任。此时应考虑采用淬透性好的价格相对低些的 35CrMo、42CrMo、35CrMnMo 等钢,调质后保证淬透层达 R/2 处,能胜任大扭力矩与疲劳极限及一定的冲击负荷。若实际负荷较小,可考虑减小轴径,或采用 40Cr 钢,以节约材料成本。

调质选材时热处理工艺性也应加以考虑。如小孔径内花键轴套、内齿轮等调质件,鉴于内孔淬火冷却差,影响其内孔淬透层深度,从而使其运行机械性能降低,应选用淬透性相对较好的钢材,保证调质达到要求的性能。又如碳钢壁薄(壁厚＜10 mm)的钢套及形状复杂截面悬殊的盘套,调质淬火变形大,易发生开裂,改用 40Cr 钢调质效果较好。

2 渗碳钢

20、20Cr、20CrMnTi 等含碳量为 0.15%～0.25% 的低碳(低合金)钢,经渗碳热处理后,表面(0.5～2.0 mm)含碳量达 0.8%～1.05%,而心部仍保持原含碳量。淬火并低温回火后,表面组织为高碳马氏体与碳化物组成,硬度高(HRC55～65)、耐磨;心部组织为低碳马氏体或低碳马氏体与铁素体等组成,硬度低(HRC＜43),保持较高的塑韧性。广泛用于要求表面耐磨、心部韧的零件。

15、20 等低碳钢,因淬透性差,渗碳淬火后心部强度低。只适宜用于表面耐磨、截荷小、冲击轻微、心部不需要较高强度的小工件,如轴套、链条、小水阀等。

零件表面要求耐磨,心部又要求有良好的强韧性,常采用 20Cr、20CrMnTi 钢等淬透性较好的低合金渗碳钢。如长期在摩擦条件下工作,承受一定交变负荷和冲击负荷的活塞销、销轴等常采用 20Cr 钢渗碳淬火;对交变负荷重、冲击较大的钻机齿轮(截面≤30～35 mm),则采用 20CrMnTi 钢渗碳淬火。20CrMnTi 钢渗碳淬火晶粒细小,淬透性好,且热处理变形小,可保证心部得到以低碳马氏体为主体的组织,心部强度高(HRC30～43),同时又有较高的塑韧性($\alpha_k\geqslant100$ J/cm^2);对负荷更重的大截面(工件壁厚≥35～40 mm)的渗碳齿轮,可同重型拖拉机、汽车一样,采用 30CrMnTi 钢,保证心部较高强度,且心部与渗碳层过渡区的强度也较高。

低碳钢渗碳淬火与中碳钢调质(正火)高频表面淬火,虽二者都是提高零件表面硬度、耐磨性及疲劳强度,但使用时应有区分。一般讲,低碳钢淬火主要用于 $\sigma_b=700\sim1000$ MPa 的较大负荷及冲击较大、中低速的齿轮,花键轴类等钻机零件;而中碳钢高频表面淬火则用于相对负荷较轻(400～700 MPa),冲击较小的齿轮、轴类等零件。因中碳马氏体的高频淬火层的耐磨性及调质心部的强韧性均较低碳钢渗碳淬火的渗碳层及低碳马氏体心部的为低。此外,受高频淬火工艺的影响,较大模数($m=5\sim6$)重载齿轮及锥形伞齿轮,齿面高频淬火层沿齿廓分布而无法完成;尤以大锥齿轮两弧齿面硬度差值大,使用中常发生断齿等过早损坏现象,影响了钻机的正常运行。对此,应考虑采用 20CrMnTi 钢渗碳淬火取代 40Cr 钢调质与高频淬火,虽然制造成本高了些,但一顶几用,还是利大于弊。

氮化运用问题。氮化工件具有表面硬度高,耐磨性好,抗

万方数据

蚀性强及较高的疲劳强度，特别是热处理变形小等特点。主要用于高速下相对滑动，易发生干摩擦的二个精密零件，如机床主轴、镗杆等；要求高抗蚀性与热硬性的模具（压铸模）挤压蜗杆等。对钻机中交变负荷较重，转速相对较低，振动较大，要求高的弯曲强度及接触疲劳强度的齿轮是不适用的。钻机齿轮用 40Cr 钢调质后氮化取代 20CrMnTi 钢渗碳淬火，事实证明，得不偿失。氮化层薄（厚度＜0.7 mm），且脆，心部调质强度不足以支撑沉重的硬化层，使用中极易压碎、剥落，特别是钻机齿轮最需要的接触疲劳强度比渗碳淬火的低得多。若有些零件确需耗时 50 h 以上的氮化来提高质量，选用广泛使用的 30CrMoAl 钢为佳。

3　其它

3.1　低碳马氏体

低碳钢淬火，低温回火后的低碳马氏体组织，具有较高的硬度（HRC30～45）与强度，又有较高的塑韧性，特别是材料强度与塑性复合抗力指标——断裂韧性 K_{IC} 也高。而中碳钢淬火后随回火温度（中高温）的降低，硬度与强度提高，但塑韧性下降，断裂韧性 K_{IC} 也随着下降。在较高强度（HRC＞30）时，其断裂韧性与塑韧性均较低碳钢淬火的低得多。

钻机中有些螺栓、销子、垫圈等零件要求较高强度，常采用 45 钢或 40Cr 钢，热处理硬度 HRC35～45，但使用效果并不理想，常发生过早断裂失效。对此类热处理为最后一道工序，要求中硬度（HRC32～45）及断裂韧性 K_{IC} 也较高的零件，采用 15MnVB 等低碳钢淬火，低温回火到要求的硬度，提高了零件使用寿命，且经济。

万方数据

3.2　铸钢

钻机中换挡拔叉，一般形状比较复杂，惯用成型简单的铸钢 ZG45 制造，热处理后使用总的讲还可以。但一些换挡频繁，扭力较大的拔叉常易断叉损坏，对此应考虑用锻钢取代，以提高质量。因铸钢的成分波动大，夹杂、偏析、疏松等缺陷难以避免，各向异性明显，其机械性能达不到要求。

3.3　球墨铸铁

球墨铸铁具有良好的消震性，高耐磨性、切削加工性好，特别是零件成型简单，成本低。钻机中一些要求一定强度（σ_b＜600 MPa）与耐磨性，冲击值不大（$\alpha_k \leqslant 30 \sim 50$ J/cm^2），锻钢成型加工复杂的零件，如曲轴、连杠等采用球墨铸铁制造，达到经济实用的效果。设计零件采用球墨铸铁制造代替锻钢，充分利用其耐压、耐弯、耐磨、造型简单的特长，如活塞环、缸筒等也可加以运用，保证质量、降低成本。同时，应注意的是石墨对基体连续性有一定中断作用，对零件强韧性有一定影响，在动态下工作，尤其承受抗拉、冲击负荷较大的关键部件应慎用。

4　结语

（1）调质件淬透层的深浅，决定其机械性能的高低。

（2）钻机零件根据服役条件选用调质钢材，必须考虑工件截面尺寸对淬透性的影响。在淬透层达到要求的前提下进行调质方可得到要求的机械性能。同时调整调质硬度的高低，满足不同的使用强度要求。

（3）渗碳钢选材也以淬透性为主，心部要求较高强韧性，一般选用低碳合金钢，否则选用低碳钢。

（4）充分发挥材料的潜力，尽量选用符合零件性能要求的材料，以提高经济效益。