时效硬化型渗氮模具钢

杜树芳，杨广林，杜恒山

摘要：开发了一种时效硬化型渗氮模具钢20Cr3MnMoV，利用材料高温时效硬化特性，简化工艺，适合于中小型热锻模、热挤压模等热作模具使用，可提高模具高温强度，又可用渗氮方法提高模具耐磨性和使用寿命。

关键词：时效硬化钢；渗氮模具钢

热作模具材料的强韧性和耐磨性是影响模具寿命的关键特性。新模具材料和新热处理工艺的不断出现，热作模具寿命正在大幅度提高。但是，作为常用的热作模具钢H13，表现高温强度和韧性不足，尤其是通过渗氮处理难以得到较厚的强化的耐磨渗氮层。为此，我们研制了一种更高高温强度和适宜渗氮处理的时效硬化型渗氮模具钢20Cr3MnMoV[1]，也可用来制造重载荷高强度耐磨件。

在20Cr3Mo2NiVSi（PH）基础上[2]，调整化学成分，研制成功20Cr3MnMoV时效硬化钢，可实现渗氮过程中渗氮硬化和时效硬化同时进行，已成功用于制造长寿命渗氮热作模具和高耐磨性深层渗氮零件。

1. 时效硬化钢的合金成分

该时效硬化钢有以下特点：

（1）有良好的析出硬化

正常的回火索氏体组织，满足材料的组织要求。

2. 分析与讨论

由试验结果得知，径向偏析对G50钢材的力学性能影响不大，径向偏析处组织为正常的回火索氏体组织，其中冲击吸收能量略有降低，但均满足产品的各项技术要求。

偏析是金属内各个区域内化学成分或组织不均匀分布造成的结果，径向偏析为聚集的碳化物或杂质造成，近似于GB/T 1979—2001《结构钢低倍组织缺陷评级图》中的点状偏析。点状偏析是钢液在结晶过程中产生的成分偏析，具有点状偏析的钢材容易在偏析斑点处产生应力集中而导致疲劳失效[2]。

由于该航天产品为一次性使用产品，使用过程中不会受到连续、反复载荷，可以忽略疲劳对产品的影响。

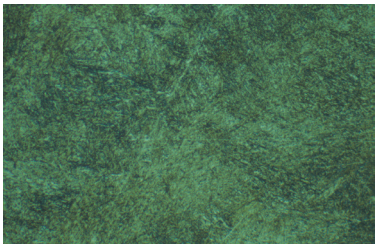


图2 组织形貌（500×）

3. 结语

（1）径向偏析对G50钢材的力学性能影响不大，但对钢材的疲劳性能有一定的影响。

（2）由于本产品是一次性使用产品，可以忽略疲劳对产品的影响，因此可判定产品合格。

（3）提醒厂家严格注意后续钢材质量，加强过程监控，杜绝各类缺陷出现。

参考文献

[1] 王黎云，李生国. 航天用新型无钴高强高韧钢G50研制[J].特钢技术，2003（01）：2-8.

[2] 吴元徽.浅析钢材的内部缺陷及其对热处理工艺和性能的影响[J].热处理，2011（02）：78-82.

作者简介：褚小菲、冯军海，豫西工业集团有限公司 红阳机电计量理化检测中心。

MW 20170926

性能，取消Ni，析出相以Cr、Mo、V、Nb合金碳化物为主，兼有金属间化合物析出。

（2）退火状态有良好的可加工性，固溶处理状态有足够的可加工性。

（3）时效硬化温度在520～580℃，利于深层渗氮硬化和基体时效硬化同时进行。

（4）表层经渗氮强化和时效强化有较高的热稳定性，心部有良好的冲击韧度。

（5）舍弃油淬，固溶处理采用空冷或气冷，保证足够的淬透性。

参照20Cr3Mo2NiVSi（PH）钢靠金属间化合物和合金碳化物在板条状低碳马氏体中析出硬化，使钢具有较高的高温强度和耐磨性，表现在热作模具上有很高的使用寿命。设想保留PH钢的优势（时效硬化特点），增添深层渗氮强化的因素。

为此，设计的时效硬化钢为低碳高锰的空冷低碳贝氏体/马氏体双相钢[3]，添加Cr、Mo、V、Nb时效时形成析出相，渗氮时形成氮化物相，同时实现时效硬化和渗氮硬化。

空冷低碳贝氏体/马氏体双相钢，可获得优良的强韧性组合的低碳贝氏体/马氏体组织，添加大量的Mn可以推迟珠光体转变，压低贝氏体开始转变温度，以保证在空冷或风冷条件下获得一定量的贝氏体；添加Cr有利于获得下贝氏体并有利于渗氮硬化；添加含量大于1%的Mo与Cr、V结合成为析出硬化的主要因素；Si能抑制渗碳体的析出，因此控制Si量不能太高，才有利于合金碳化物的析出硬化；微量合金元素Nb有利于细化组织，提高强韧性，并且可增加晶界面上氮的扩散通道。

所研制的时效硬化渗氮模具钢20Cr3MnMoV化学成分见表1。

2. 20Cr3Mn MoV钢热处理

退火采用780℃保温3h炉冷，硬度为30～36HRC，适宜机械加工。

模具加工成形后，可留精加工余量直接进行空冷固溶处理，如果精密模具需减少变形和稳定尺寸，可增加600～650℃去应力退火。

固溶处理采用920℃保温2h，散放空冷，大件可风冷，或真空加热2×10^5Pa气淬，硬度为40～44HRC。

（1）不需要渗氮的模具　空冷固溶处理后直接进行540℃×6～8h时效，时效后空冷，硬度为48～50HRC。时效后进行模具精加工。

（2）要求渗氮的模具　固溶处理后模具精加工到尺寸，转入渗氮处理（工艺规范见表2），注意不需要时效处理，简化了工艺，在渗氮处理过程中模具表面渗氮硬化和基体时效硬化同时进行。

3. 20Cr3MnMoV钢与H13钢离子渗碳对比

H13钢作为热作模具钢，为了提高模具耐磨性和使用寿命，常在模具淬火和回火后精加工成形，再进行渗氮处理，而热挤压模和热锻模等重负荷热作模具常要求0.2～0.3mm以上深层渗氮，压铸模和铝热挤压模则要求0.07～0.15mm浅层渗氮。

生产实践表明，H13钢深层渗氮要求兼顾层深大于0.2mm，表层组织合格和基体保持高硬度（大于480HV）是难以实现的。从附图可见H13钢渗氮0.3mm时，基体硬度只有460HV（46.5HRC）。

H13钢520℃×20h渗氮，层深0.18mm，530℃×40h渗氮层深0.3mm，而20Cr3MnMoV钢520℃×20h渗氮，层深0.3mm，

表1　试验钢与PH钢的化学成分（质量分数）　（%）

钢号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Zr	Nb
PH	0.16~0.22	0.6~0.9	0.4~0.7	2.5~3.0	0.8~1.2	1.8~2.2	0.3~0.5	0.05~0.12	—
20Cr3MnMoV	0.21	0.37	1.65	3.08	—	1.60	0.32	—	0.046

表2　渗氮工艺规范

渗氮层深/mm	渗氮工艺	渗氮表面硬度HV1	基体硬度HRC
0.1~0.2	520℃×10h	950~1050	47~49
0.2~0.3	520℃×20h	950~1050	48~50
0.3~0.4	520℃×30h	950~1050	48~50
0.4~0.5	520℃×40h	950~1050	48~50

530℃×40h渗氮层深0.5mm。

4. 时效硬化钢的渗氮变形

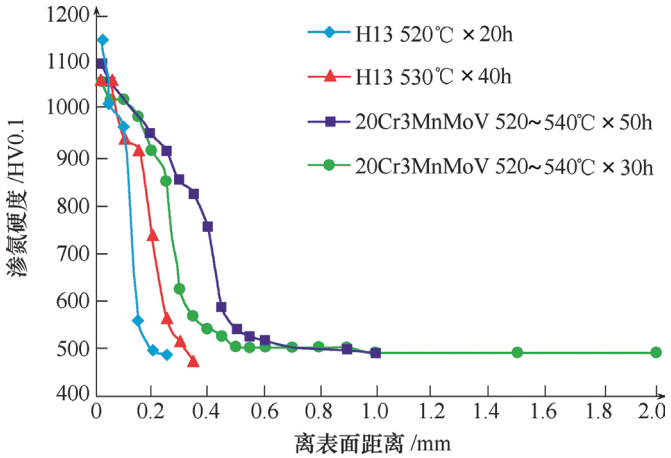
时效硬化钢模具固溶处理后进行渗氮，与一般调质钢渗氮有所不同，因为前者在渗氮过程要发生基体时效硬化，而后者在渗氮过程中基体回火索氏体一般不会继续发生变化。

为了确定时效硬化钢模具渗氮变形量，分别进行了时效硬化钢试棒时效硬化和渗氮尺寸变化测量，还对比作了调质钢试件的渗氮尺寸变化测量。试验结果表明，时效硬化钢渗氮产生的尺寸变化量比一般调质钢渗氮稍大。调质钢42CrMo渗氮0.4mm，尺寸变化量为万分之二。时效硬化钢渗氮时由于基体时效硬化产生的尺寸变化量大致在万分之二左右，即100mm厚模具可能由于时效硬化引起晶格畸变和基体膨胀，造成尺寸增大约0.02mm，这种微小尺寸变化，可以通过模具渗氮前加工到负公差范围予以控制或渗氮前留精磨量。

试验结果还表明，时效硬化钢一段渗氮与二段渗氮在渗氮和时效综合变形量方面比较，一段渗氮变形和尺寸变化量都小。渗氮层深在0.4～0.5mm时，一段渗氮尺寸变化量在万分之二左右，二段渗氮尺寸变化量在万分之五左右。调质钢二段渗氮尺寸变化量在万分之二左右。因此，除非要求渗氮层深大于0.5mm，时效硬化钢一般优先采用一段渗氮。

5. 20Cr3MnMoV钢热稳定性试验

20Cr3MnMoV钢试样900℃×3h空冷固溶处理后进行了高温时效试验。560℃保温2h，时效后硬度为482HV（48HRC），560℃保温35h，时效后硬度为475HV（47.5HRC），可见20Cr3MnMoV钢有很高的抗高温软化特性。



20Cr3MnMoV钢与H13钢离子渗氮硬化曲线

6. 应用展望

（1）时效硬化型渗氮模具钢20Cr3MnMoV，可用来制作热锻模、热挤压模具等热作模具，在固溶时效状态下使用，硬度可保持48～50HRC以上，可望比H13钢更高的强韧性和使用寿命。

（2）为了提高模具耐磨性和使用寿命，可以在模具空冷固溶处理后渗氮处理，将渗氮和时效两工序合一，并取消了常规油淬工序，简化了工艺。

（3）20Cr3MnMoV钢渗氮特性优于H13钢，对于要求渗氮层深大于0.2mm，基体又要求更高强度的模具，这种钢有独特优势，渗氮层深可达0.2～0.5mm，有广阔应用前景。

（4）20Cr3MnMoV钢采用较低温度加热空冷固溶处理，代替常规的高温加热油淬工序，节能环保，可保证模具有效厚度150mm以内的淬透性，适合用来制造中小型热作模具。

（5）20Cr3MnMoV钢材料成本和制造成本都低于H13钢，又具有优良的渗氮特性，在需要表面耐磨而心部更高强度的重载热作模具和重载耐磨零件，会得到广泛应用。

参考文献

[1] 杜树芳.深层离子渗氮硬化技术[J].金属热处理，2017，42（6）：130-133.

[2] 赵昌盛.模具材料及热处理手册[M].北京：机械工业出版社，2008，367-368.

[3] 刘宗昌，计云萍，任慧平.贝氏体相变的过渡特征[J]，热处理，2014，29（5）：24-31.

作者简介：杜树芳、杨广林、杜恒山，长春金马热处理公司。联系电话：13304318889。

MW 20170920