

20CrMnMo 钢齿坯机加工碰刀的原因及改进措施

朱智阳, 董庆庆

(宁波东力传动设备股份有限公司 ,浙江 宁波 315033)

摘要: 20CrMnMo 钢齿轮坯正火后切削时常会发生碰刀现象。对锻坯试样的化学成分、硬度及显微组织进行测试与分析。结果表明, 锻坯中的氧化物夹杂数量过多, 正火后产生了粒状贝氏体是导致机械加工困难的主要原因。通过改进冶炼技术, 并采用等温正火的工艺, 解决了材料硬度高加工困难的问题。

关键词: 20CrMnMo 钢齿坯; 碰刀; 粒状贝氏体; 夹杂物; 等温正火

中图分类号: TG157 文献标志码: B 文章编号: 0254-6051(2011) 09-0098-03

Cutter damage cause of 20CrMnMo steel gear blank during cutting and counter measure

ZHU Zhi-yang ,DONG Qing-qing

(Ningbo Donly Transmission Equipment Co. ,Ltd. ,Ningbo Zhejiang 315033 ,China)

Abstract: The cutter damaging phenomenon often took place during cutting process of 20CrMnMo steel gear blank after normalizing. The chemical composition ,hardness and microstructure of the gear blank were tested and analyzed. The results show that the main reasons which lead to difficult mechanical processing are lots of oxidation inclusions in the forge piece after smelting and granular bainite that formed after normalizing. The problem of high hardness and difficult mechanical processing can be solved by improving smelting process and using the isothermal normalizing process.

Key words: 20CrMnMo steel gear blank; cutter damage; granular bainite; inclusion; isothermal normalizing

20CrMnMo 低碳合金渗碳钢具有较高的淬透性和热处理尺寸稳定性, 渗碳后能够保证足够的表面硬度和弯曲疲劳强度, 是目前广泛使用的齿轮材料之一。我厂的齿轮毛坯通常采用 20CrMnMo 钢锻件, 始锻温度为 1100 ~ 1200 ℃, 终锻温度为 900 ~ 950 ℃。为了消除锻造应力及降低硬度, 提高切削加工性能, 锻件进厂后正火, 其热处理工艺为 930 ℃ × 2 h。但是, 锻件在机械加工中仍不时存在“碰刀”现象。硬度测试结果显示, 正火态齿轮毛坯硬度为 180 ~ 210 HB, 但局部区域却达到 280 ~ 330 HB(技术要求 170 ~ 220 HB) , 如此分布不均的硬度使刀具加工时磨损严重, 给正常生产带来极大影响。针对此问题, 作者对最近多炉“碰刀”的锻件进行取样分析, 以便找出“质硬”的原因, 并提出改进措施。

1 理化检验

1.1 化学成分分析

对多根锻件质硬部位与正常部位分别进行化学成分分析, 结果如表 1, 可见化学成分无明显差别, 且都在

GB/T 3077—1999《合金结构钢》标准规定的范围内。

表 1 20CrMnMo 钢的化学成分(质量分数, %)

Table 1 Chemical composition of 20CrMnMo steel(wt %)

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
质硬部位	0. 19	0. 23	1. 05	0. 025	0. 018	1. 2	0. 23
正常部位	0. 18	0. 28	1. 02	0. 026	0. 016	1. 22	0. 21
GB/T 3077	0. 17 ~ 0. 23	0. 17 ~ 0. 37	0. 90 ~ 1. 20	≤0. 035	≤0. 035	1. 10 ~ 1. 40	0. 20 ~ 0. 30

1.2 显微组织分析

将以上试样经过抛光腐蚀后, 发现其显微组织明显不同, 如很多质硬试样都出现了粒状贝氏体与铁素体 + 珠光体的混合组织, 如图 1(a) 。粒状贝氏体的形貌是在大块的铁素体基体上分布着一些富碳奥氏体孤岛, 这些孤岛具有明显而不规则的边界。由于含碳元素的高低不同, 经腐蚀后有的呈白亮块, 有的呈棕灰色。而正常部位组织为等轴状铁素体 + 珠光体, 如图 1(b) , 是正常情况下所要求的最佳正火组织。

通过显微维氏硬度计测试(型号为 WOLPERT W GROUP 401MVA, 载荷砝码 500 g) , 图 1(a) 粒状贝氏体区硬度高达 350 HV0. 5, 而正常的珠光体区约为 200 HV0. 5。另外在某些存在质硬的试样中发现非金属夹

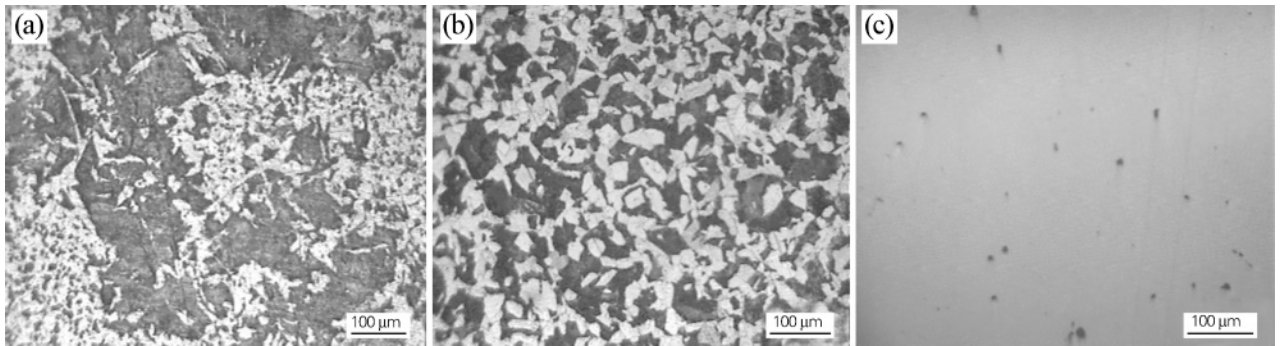


图 1 20CrMnMo 钢锻坯硬部位和正常部位的显微组织

(a) 粒状贝氏体; (b) 铁素体和珠光体; (c) 氧化物夹杂

Fig. 1 Microstructure of 20CrMnMo steel gear blank in normal and high hardness position

(a) granular bainite; (b) ferrite and pearlite; (c) oxide inclusions

杂物含量偏高,尤其是氧化物夹杂,如图 1(c),夹杂物主要呈颗粒状分布,按 GB/T 10561—2005《钢中非金属夹杂物含量的测定—标准评级图显微检验法》标准评级,其级别 >2.5 级,不符合要求。

1.3 综合分析

粒状贝氏体是在珠光体转变温度以下,上贝氏体转变高温区以上区间产生的,它的转变是过冷奥氏体通过碳的扩散,形成了贫碳微区和富碳微区,然后在不同冷速下获得不同的组织产物^[1]。粒状贝氏体在刚形成时是由块状铁素体和粒状(岛状)富碳奥氏体所组成的。富碳奥氏体可以分布在铁素体晶粒内部,也可以分布在铁素体晶界上。铁素体的碳含量很低,接近平衡浓度,而富碳奥氏体区的碳含量则很高,铁素体与富碳奥氏体的合金元素含量与钢的平均含量相同,所以粒状贝氏体形成过程中只有碳的扩散而无合金元素的扩散。在正火、热轧空冷或焊接热影响区组织中经常可以发现粒状贝氏体^[2],其硬度约为 250 ~ 380 HB。由此可知,20CrMnMo 钢锻坯正火后产生的粒状贝氏体,导致材料的组织分布不均,硬度偏高且分散度大,引起切削加工困难,以致发生碰刀现象。

钢中的夹杂物主要来源于内在夹杂物,在冶炼过程中氧气及其他气体大量溶解在液态的钢中,这些气体的存在将会影响钢材的一系列性能^[3]。为了防止氧及其他气体的有害作用,在金属中加入对氧及其他气体的亲和力较母材金属为大的脱氧元素如 Si、Al 和 Ca 等,这些元素的加入与铁中的氧发生反应,在金属内生成不能溶解的各种固体氧化物微粒,而形成的氧化物与熔渣相互作用又可以形成许多复杂的夹杂物,这些夹杂物未能在钢液凝固前随炉渣全部排出而残留在钢中,从而形成钢中的夹杂物。

铁的氧化物夹杂是以氧化亚铁 FeO 形式存在于钢中,这是由于大量过剩的熔化铁同时存在,一般高价的铁的氧化物都被还原成 FeO。在各种加入 Al 为脱氧元素的钢中主要生成刚玉型 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$,它是一种高熔点的夹杂物,熔点为 2050 $^{\circ}\text{C}$,密度为 4.0 g/cm^3 ,它在钢液凝固之前就呈固体颗粒析出,较难结合为大的颗粒,所以多数为颗粒细小的夹杂物,其形状常呈片状或形状不规则的小颗粒,有些片状边角发圆并具有玻璃质的特征。在含氧较低的原材料中加入过量 Al 后会获得球状 Al_2O_3 ,使高温下比较稳定的 FeO 保留下来。在冶炼过程中,由于造渣不当和脱氧不良,使得氧化物增多,这些氧化物夹杂料硬而脆,在材料中成为硬度很高的“硬点”,在切削过程中一旦刀口碰上时就会崩刀。

2 工艺改进

根据常用低碳合金渗碳钢的奥氏体等温转变曲线,钢材在正火正常冷却情况下的冷却曲线与贝氏体转变线相交,如图 2,即产生了非平衡组织粒状贝氏体,可见粒状贝氏体的产生与冷却速度有关。为了消

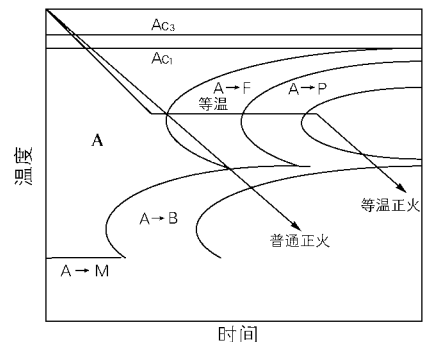


图 2 20CrMnMo 钢等温转变曲线

Fig. 2 Isothermal transformation curve of 20CrMnMo steel

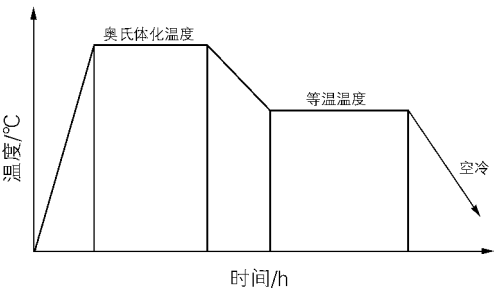


图 3 等温正火工艺曲线

Fig. 3 Isothermal normalizing process curve

除粒状贝氏体 提出了等温正火工艺 ,以获得等轴状的铁素体和珠光体组织。如图 3 所示 ,可以看到等温正火主要包括 3 个区间: ① 加热升温与奥氏体化保温阶段; ② 中间冷却阶段; ③ 等温阶段及之后的空冷。为了确定中间冷却方式和等温温度等参数对等温正火的影响 ,采用了正交法进行试验 ,试验参数与结果如表 2 所示。

表 2 等温正火工艺试验参数及结果

Table 2 Test parameters and result of isothermal normalizing process

序号	冷却方式	等温温度/℃	显微组织	平均硬度/HB	硬度分布
1	风冷	600	F + P + B	232	不均匀
2	风冷	640	F + P + B	241	不均匀
3	风冷	680	F + P + B	244	不均匀
4	空冷	600	F + P + B	229	均匀
5	空冷	640	F + P	183	均匀
6	空冷	680	F + P	191	均匀
7	炉冷	600	F + P + B	228	均匀
8	炉冷	640	F + P	190	均匀
9	炉冷	680	F + P	197	均匀

由表 2 可以看出 ,采用风冷方式 ,无论采用何种等温温度 ,均使硬度偏高且都出现了粒状贝氏体组织 ,这是因为冷却过程中锻坯向着风的一侧比背着风的一侧冷却速度快 ,以致冷却曲线穿过了贝氏体转变区 ,产生了粒状贝氏体 ,而冷却较慢的部位则产生铁素体 + 珠光体 ,所以也导致工件的硬度分布不均匀。同样当采用 600 ℃ 等温时 ,因该温度已处于贝氏体转变区域 ,所以也会产生粒状贝氏体。由以上分析可知 ,当采用空冷或炉冷 ,等温温度在 640 ~ 680 ℃ 范围内时 ,可获得硬度均匀的正常铁素体和珠光体组织 ,不仅消除了粒状贝氏体的产生 ,硬度也控制在要求范围内 ,达到了等温正火的目的。

由于氧化夹杂物是在冶炼过程中产生的 ,无法通

过热处理来消除 ,只能改进冶炼工艺方案 ,采用先进的工艺技术及优良的设备 ,并且制定更加严格的操作规范。如从强化冶炼操作入手 ,提高终点控制水平 ,防止钢液过氧化 ,降低钢液中氧含量 ,减少脱氧剂用量; VD 真空精炼处理可进一步提高钢液纯净度; 控制炼钢入炉原材料和铁合金的清洁干燥; 加强钢包、中间包的烘烤及管理使用; 在浇注过程中采用全程保护浇注 ,同时控制合理的浇注温度及浇注速度 ,防止钢水的二次氧化吸气^[4]。确定合适的保护渣性能 ,使保护渣尽可能吸收上浮的夹杂物 ,从而减少夹杂物的含量。

通过工艺改进后 ,不但提高了齿坯材料的纯净度 ,而且改善了组织 ,降低了硬度 ,提高了切削加工性能 ,从而增加了刀具使用寿命 ,大大提高了生产效率。表 3 为工艺改进前后齿坯的机加工对比结果。

表 3 工艺改进前后对比

Table 3 Comparison between improvement process before and after

项目	切削	吃刀	寿命	刀具
	速度 /m · min ⁻¹	深度 /mm	刀具 /min	报废率 /%
改进前	100 ~ 120	0.5	60	15
改进后	180 ~ 200	1.5	200	0

3 结论

1) 20CrMnMo 钢锻坯正火后产生的粒状贝氏体引起了材料组织的分布不均 ,硬度增高 ,并且钢中存在过多的 Al₂O₃ 及 FeO 等氧化物夹杂 ,料硬而脆 ,导致切削加工变得困难 ,从而产生碰刀。

2) 采用等温正火的方法 ,在 20CrMnMo 钢锻坯奥氏体化后炉冷或空冷到 640 ~ 680 ℃ 范围内等温 ,能有效避免粒状贝氏体的产生 ,获得所要求的平衡组织即铁素体 + 珠光体 ,从而稳定组织的均匀性 ,降低硬度 ,改善切削加工性能 ,解决碰刀问题。

3) 改进冶炼工艺 ,采用 VD 真空精炼处理等先进工艺技术 ,可提高钢液纯净度 ,降低钢中的氧化物夹杂。

参考文献:

[1] 机械工业理化检验人员技术培训和资格鉴定委员会. 金相检验 [M]. 上海: 上海科学普及出版社 2003: 33-34.
[2] 徐 洲 ,赵连城. 金属固态相变原理 [M]. 北京: 科学出版社 , 2004: 112.
[3] 李炯辉. 金属材料金相图谱 [M]. 北京: 机械工业出版社 , 2006: 598-601.
[4] 张爱民 陈 晔. 锅炉压力容器用钢板中夹杂物的形成原因 [J]. 理化检验-物理分册 2009 45(5): 266-268.