

~~~试验研究~~~

# 35CrMo 钢的热处理

上海沪东造船厂 (200129) 陆金二

① 25-28

TG16/

**[摘要]** 本文总结了多年来有关 35CrMo 钢热处理的经验,认为 35CrMo 钢制大件调质处理后冲击韧性等力学性能达不到要求的原因主要是组织中出现较大量的上贝氏体。而此钢大件调质组织中是否出现上贝氏体及其量的多少,又主要与原材料的冶金质量即钢中存在某种微量元素有关。避免形成较多上贝氏体的热处理工艺措施是加快淬火冷却速度。

**关键词:** 35CrMo 钢 冲击韧性 上贝氏体 微量元素

加工

合金结构钢

## Heat Treatment for 35CrMo Steel

Lu Jiner

Shanghai Hudong Shipyard (200129)

**[Abstract]** Experiences in the heat treatment for 35CrMo steel in the last few years are summarized in this paper. The main reason why mechanical properties of quenched and tempered heavy part of 35CrMo steel, such as impact toughness and so on, are impossible to meet the requirements is regarded as the presentation of the upper bainite in its microstructure. Whether heavy parts of the steel form the upper bainite or not and how much the quantity of the upper bainite is, are mainly related to metallurgical quality of raw material, i. e., the presence of a certain trace element. Therefore, the heat treatment technical measure to avoid more upper bainite is to quicken quenching cooling rate.

**Key words:** 35CrMo steel, impact toughness, upper bainite, trace element.

35CrMo 钢是一种中碳中合金结构钢,具有良好的强韧性,其价格又比 Cr-Ni 钢等低廉,故在机械制造行业的应用非常广泛。我厂船用大功率柴油机的齿轮、杆类、轴承盖以及多种规格的螺栓螺母等零件均采用此钢制造。近年来,我们发现此钢的热处理工艺性能不稳定,用不同批次的原材料制作的同种工件(主要是大件)经相同工艺调质处理后,其力学性能达不到要求,金相分析发现有反常组织。本文论述了 35CrMo 钢的调质处理工艺及其结果,分析了出现反常组织的原因及提高 35CrMo 钢大件热处理质量的工艺措施。

### 1 35CrMo 钢的调质处理及其结果

35CrMo 钢属中合金调质结构钢,因含 0.80~1.10%Cr 和 0.15~0.25%Mo,被认为是具有较高淬透性和良好强韧性的钢种,有资料指出此钢的理想临界直径达 4 英寸(106mm),因此常用于制造截面较厚大的零件。就我厂情况来说,某型中速柴油机的主连杆和付连杆就是较典型的 35CrMo 钢大件,与之有效厚度相等的试块尺寸分别为 100mm×120mm×180mm 和 80mm×120mm×180mm,要求进行调质处理。这二种零件的力学性能要求,70 年代前后我们的调质处理工艺规范以及所达到的性能指标列于表 1。从表中数据可知,按常规工艺油淬并高温回火后,主、付连杆的力学性能不但能达

(热处理) 1999. No. 4

— 25 —

到要求,有的还大大超过要求值。当时,不仅主、付连杆,还有其它尺寸较厚大的 35CrMo 钢零件,热处理后性能都较稳定,很少有因性能不合格而返工的现象。

表 1

| 热处理工艺  | 力学性能              |                       |                 |             |            | HB      |
|--------|-------------------|-----------------------|-----------------|-------------|------------|---------|
|        | $\sigma_b$<br>MPa | $\sigma_{0.2}$<br>MPa | $\delta_5$<br>% | $\phi$<br>% | $a_k$<br>J |         |
| 860℃淬油 | 823               | 637                   | 17              | 59          | 52         | 255     |
| +      | ~                 | ~                     | ~               | ~           | ~          | ~       |
| 510℃回火 | 951               | 823                   | 19.5            | 65          | 118        | 285     |
| 要求性能   | ≥804              | ≥608                  | ≥16             | -           | ≥47        | 229~269 |

注:1. 淬火回火加热炉为箱式电阻炉。

2.  $a_k$  值系用梅氏试样测定的冲击韧性值。

大约从 80 年代中期开始,按表 1 工艺处理的 35CrMo 钢主、付连杆等大件出现因冲击值不合格而返工的现象,并日趋严重。冲击值最低仅 28J,有时甚至几次调整工艺返工均达不到要求。几组塑性韧性较低的数据列于表 2。

我们用不合格的冲击试样余料进行金相分析,发现其组织反常,不是均匀的回火索氏体,而有较多的上贝氏体和针状铁素体(见图 1)。对试样余料进行化学成分分析表明,合格与不合格试样的化学成分均符合要求。

表 2

| 热处理工艺 | 力学性能              |                       |                 |             |            | HB      |
|-------|-------------------|-----------------------|-----------------|-------------|------------|---------|
|       | $\sigma_b$<br>MPa | $\sigma_{0.2}$<br>MPa | $\delta_5$<br>% | $\phi$<br>% | $a_k$<br>J |         |
|       | 833               | 706                   | 16.5            | 41.0        | 27,34,42   | 255~260 |
| 同表 1  | 804               | 706                   | 14.0            | 42.5        | 31,28,39   | 266~272 |
|       | 818               | 696                   | 13.0            | 45.5        | 34,35,34   | 272~278 |



图 1 调质后的不良组织, 500×

关于上贝氏体对冲击韧性的影响,由于上贝氏体板条束中的铁素体和碳化物分布都具有明显的方向性,且铁素体和碳化物尺寸也比较粗大,所以对裂纹扩展的抗力明显降低,铁素体板条更是薄弱环节,可能成为裂纹扩展的通道,从而大大降低了材料的韧性。

从上述情况可知,主、付连杆等 35CrMo 钢大件塑性特别是韧性不合格是由于油淬调质出现大量上贝氏体等反常组织所致。根据热处理原理,为避免产生上贝氏体,必须提高淬火冷却速度,最为简便的是以水淬或水淬油冷代替油淬。从 90 年代初期开始,我们就对尺寸较大的 35CrMo 钢零件进行水淬或水淬油冷,结果力学性能大幅度提高,冲击韧性更是成倍增加。几组实测数据列于表 3。

表 3

| 热处理工艺    | 力学性能              |                       |                 |             |             | HB      | 试块尺寸<br>mm×mm×mm |
|----------|-------------------|-----------------------|-----------------|-------------|-------------|---------|------------------|
|          | $\sigma_b$<br>MPa | $\sigma_{0.2}$<br>MPa | $\delta_5$<br>% | $\phi$<br>% | $a_k$<br>J  |         |                  |
| 650℃水淬油冷 | 950               | 850                   | 18              | 67          | 132,138,128 | 255~260 | 80×120×180       |
| +        | 935               | 860                   | 17              | 66          | 140,132,122 | 245~256 | 80×120×180       |
| 590℃回火空冷 | 895               | 790                   | 18              | 65          | 144,130,142 | 238~244 | 100×120×180      |
| 要求性能     | 804               | 608                   | 16              | -           | 47          | 229~269 | -                |

金相分析表明,水淬调质的均为回火索氏体,无上贝氏体。以后,我们对于 35CrMo 钢大件一直采用水淬或水淬油冷工艺调质处理,未再发生过因力学性能(冲击韧性)不合格而返工的现象,也未有过淬火开裂的情况。根据我们的经验,对于没有较深沟槽、形状较简单的 35CrMo 钢零件,如轴类、杆类、盘形件等,水淬是不会开裂的。当然,对于重达数吨的特大件,考虑到其冶金质量,不宜采用水淬或水淬油冷工艺。对于形状复杂的大件,则最好采用快速淬火油或冷却强度介于水油之间的水溶性聚合物淬火剂。

## 2 分析讨论

如上所述,在 70 年代到 80 年代初,我们对 35CrMo 钢大件均是按油淬工艺调质的,为什么近年来在同样设备、工艺及操作条件下油淬调质,却经常出现因有较多上贝氏体

而导致塑性韧性达不到要求的情况,我们认为这只能归因于原材料的冶金因素。下面这个实例也充分说明原材料因素确实影响35CrMo 钢的调质质量。

最近,我们处理了一批 $\varnothing 36\text{mm}$ 35CrMo 钢螺栓,属小零件,按常规油淬调质完全能达到性能要求。但这批螺栓却出乎意料,油淬调质后冲击韧性未能达到要求,其显微组织中有较多的上贝氏体组织和针状铁素体,见图2。后返工淬水,性能达到了要求,水淬调质后的金相组织为回火索氏体+微量细小铁素体,见图3。分析化学成分,全部在要求范围内。有关数据列于表4和表5。



图2 500×



图3 500×

表4

| 热处理工艺         | 力学性能              |                       |                 |             |               |         |
|---------------|-------------------|-----------------------|-----------------|-------------|---------------|---------|
|               | $\sigma_b$<br>MPa | $\sigma_{0.2}$<br>MPa | $\delta_5$<br>% | $\psi$<br>% | $K_{u5}$<br>J | HB      |
| 650℃淬油+520℃回火 | 980               | 850                   | 16              | 51          | 22,20,21      | 272~278 |
| 650℃淬水+590℃回火 | 925               | 830                   | 18              | 51          | 54,55,55      | 272~278 |
| 要求性能          | 900~1000          | ≥650                  | ≥12             | ≥50         | ≥29           | 260~320 |

注:1. 淬火回火加热炉为箱形电阻炉。

2.  $K_{u5}$  为用 5mm 深 U 形缺口试样测定的冲击韧性值。

(热处理) 1999, No. 4

表5

| 化学成分 | C    | Si   | S      | P      | Mn   | Cr   | Mo   |
|------|------|------|--------|--------|------|------|------|
| 分析值% | 0.37 | 0.27 | 0.021  | 0.016  | 0.55 | 0.94 | 0.18 |
|      | 0.32 | 0.17 |        |        | 0.40 | 0.80 | 0.15 |
| 规定值% | ~    | ~    | ≤0.040 | ≤0.040 | ~    | ~    | ~    |
|      | 0.40 | 0.37 |        |        | 0.70 | 1.10 | 0.25 |

所谓原材料的冶金因素,是指使35CrMo 钢工件按常规油淬易发生上贝氏体转变的某种因素。具体说我们认为是钢中存在某种用常规手段不能定量分析的微量元素,这种(或几种)微量元素对奥氏体分解为珠光体有较强的抑制作用,也即使过冷奥氏体连续冷却转变图的珠光体转变部分显著右移,但对奥氏体分解为上贝氏体的影响很小,甚至会使得过冷奥氏体连续冷却转变图的贝氏体的转变部分左移,即促进上贝氏体的形成。另一种可能是,由于贝氏体特别是上贝氏体转变是在奥氏体晶界处优先成核的,故微量元素的存在可能会改变奥氏体晶界的能量而促进上贝氏体的形核,加快了上贝氏体的形成速度,导致油淬时形成较大量的上贝氏体,恶化了性能(主要是冲击韧性)。对于这种原材料,只有提高淬火冷却速度,即采用水淬、水淬油冷或在某中聚合物水溶液中淬火才能抑制上贝氏体的形成,确保工件尤其是大件的调质质量。

另外,35CrMo 钢因含合金元素 Mo,所以第二类回火脆性不会明显,故上述油淬调质后冲击韧性低并非回火后空冷所致。同批原材料水淬调质时回火也是空冷,可以证明这一点。还要指出,表4中,适当提高油淬的回火温度会使韧性有所改善,但提高幅度不会大,这是其组织状态所决定的。

### 3. 结论

3.1 原材料的冶金因素对35CrMo 钢工件尤其是厚大工件的调质质量有很大影响,其影响机理和具体表现是钢中可能存在某种微量元素,导致按常规油淬时易形成较多的上贝氏体和针状铁素体,从而在强度、硬度并不明显差异的情况下大幅度降低冲击韧性。

3.2 为抑制 35CrMo 钢厚大工件淬火时形成上贝氏体,必须提高淬火冷却速度,即采用水淬或水淬油冷等工艺,才能确保工件的调质质量。

3.3 轴、杆类 35CrMo 钢工件,即使水淬也不致淬裂。但对形状复杂的工件,为便于操作,最好采用快速淬火油或者冷却强度介于水油之间的聚合物淬火剂淬火。

## 参 考 文 献

- [1]大和久 重雄.《设计·材料·热处理》,1979  
[2]刘云相等.金属热处理原理.机械工业出版社,1981.

~动态与信息~

## 关于第 12 届华东地区热处理年会征文通知 (第 1 号)

华东地区各省、市热处理学会、各有关单位:

按照华东地区热处理年会排序及 1998 年第 11 届年会华东 7 省市热处理学会秘书长联席会议的决定:华东地区第 12 届年会由江苏省热处理学会主办,于 2000 年 8 月在江苏省连云港市举行。为将 21 世纪华东地区第 1 次热处理盛会办成一次隆重、热烈、团结、高水平的大会,江苏省热处理学会秘书处专门成立筹备小组,精心策划、精心组织,同时呼吁华东地区广大热处理工作者,各省市热处理学会积极支持大会的召开,群策群力,集思广益,共同完成大会神圣使命,在新的历史阶段,以高新技术开创热处理行业的新局面。

一、大会主题:

新征程、高起点、热处理技术大显身手

二、大会征集论文:

1. 论文范围:

- \* 材料热处理基础理论
- \* 表面工程
- \* 热处理装备及配套
- \* 热处理工艺过程及计算机模拟与预测
- \* 热处理质量的检测与控制
- \* 热处理与节能
- \* 热处理及材料其他方面研究、生产技术的应用

2. 要求:

- a. 应征论文必须未在国内公开发行的期刊(含校刊)和正式出版物上发表过。
- b. 论文一般不超过 6000 字,并请写明题目、作者姓名和单位、中文摘要(约 300 字)、关键词。文字简洁、通顺、图表完整、照片清晰、字迹工整。

来稿详细注明联系人姓名、单位、通讯地址、电话和邮政编码。

3. 论文评选与报送:

应征论文统一由各省市热处理学会秘书处评选和报送,按秘书长联席会议要求,每个省市不少于 10 篇,经济发达省市及东道主省市还相应多一些。各省市将评选后论文于 2000 年 2 月底前集中寄至江苏省热处理学会华东地区第 12 届年会筹备组,地址:江苏省徐州市黄河南路 65 号,邮编:221006,联系人:刘肃人。同时欢迎其他省市或个人按要求直接投稿,凡此类稿件将由江苏省热处理学会评选。请各省市学会按时做好论文征集工作,并希望华东地区热处理工作者互相转告。

三、其它事项:

为使本次大会密切联系生产实际,面向市场、研究及探讨华东地区热处理发展思路,届时大会将组织专题学术报告、产品及技术信息发布、技术讲座等一系列活动,并根据各省市要求拟举办“热处理新技术、新工艺、新材料、新装备展览会”,具体实施办法将陆续通知。

2000 年华东地区第 12 届热处理年会的召开,必将极大地促进华东地区以至全国热处理技术及行业发展,极大地鼓舞热处理工作者的工作热情,团结奋进,大显身手!

第 12 届华东地区热处理年会筹备组