

改善 GCr15 钢的强韧性^①

刘昌隆 潘 勇

(湘潭大学科研处, 湘潭 411105)

摘 要

以预先淬火获得的非平衡组织作为原始组织, 对冷模具用 GCr15 钢的强韧化处理进行了实验研究。对经不同热处理后钢的硬度和冲击韧性进行了测定, 对显微组织和断口形貌用金相和扫描电镜进行了观测。结果表明, 由 980 °C 淬入 160 °C 的热油中作为预处理, 然后再从 820 °C 淬入相同介质中, 并于 160 °C 回火 1h, 可显著细化碳化物和奥氏体晶粒, 使模具具有良好的强韧性配合, 从而可显著提高模具的使用寿命。

关键词: 强化 韧化 热处理 GCr15 钢 模具材料

低合金 GCr15 钢具有良好的性能且价格低廉, 被广泛用作滚珠轴承材料和各种冷作模具。不少厂家对 GCr15 钢制模具沿用滚珠轴承的热处理工艺。这种工艺可使模具具有高硬度和好的耐磨性, 但往往韧性不足, 使模具常产生脆性崩裂和折断, 使用寿命不长。因此, 迫切需要探索一种新的热处理工艺, 这便是本文所从事的工作。

现已查明, 使钢具有强韧性的良好配合, 便可延长模具的使用寿命, 这就要求模具在具有高强度高硬度的同时, 具有高的韧性。通常, 模具钢的显微组织在热处理之前是粒状珠光体。粒状珠光体比片状珠光体具有低的过热敏感性, 在淬火时具有小的开裂倾向。这可使钢在最终热处理后表现出高的冲击韧性^[1]。通过调整钢的显微组织来改善高碳钢的韧性, 已作了大量工作^[2]。调质处理对提高钢的韧性和模具的使用寿命有明显作用。然而, 以预先淬火获得的非平衡组织作为原始组织, 进行强韧化处理的工作却开展尚少^[3]。

近年来, 各种实验研究^[4-6]已经表明, 通过细化碳化物和细化奥氏体晶粒, 可显著改善

GCr15 钢的强度和韧性。而且文献[6]表明, 在保持相同硬度水平下, 等温淬火比直接淬火能大幅度提高钢的机械性能, 如强度、塑性、耐磨性和疲劳强度。为此, 在本文工作中, GCr15 钢的强韧化热处理工艺被设计为: 首先将钢在较高温度下奥氏体化, 使碳化物尽可能溶入奥氏体中, 然后等温淬火得到非平衡组织, 经这样预淬火后, 将钢在较低温度下加热再次等温淬火并最后回火。这种工艺容易在生产中被采用, 因而具有重要实际应用价值。

1 实验步骤

实验用原材料为市售 $d 16\text{ mm}$ 的 GCr15 热轧钢, 其化学成分列于表 1。为了查明合适的奥氏体化温度, 应考虑该钢的相图, 它的纵截面已用 SGTE (Scientific Group Thermodata Europe) 数据库的数据进行了计算^[7], 给出在图 1 中。根据图 1, 含 0.98 wt.-%C 的钢, 奥氏体化温度在 900 °C 以上。为了测定奥氏体化温度和淬火介质对硬度的影响, 进行了实验测定。实验所用试样为 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 20\text{ mm}$, 在大

^① 1993 年 3 月 11 日收到初稿, 1993 年 4 月 5 日收到修改稿

表 1 GCr15 钢的化学成分						
合金元素	C	Cr	Mn	Si	S	P
含量(wt.-%)	0.98	1.62	0.31	0.22	0.014	0.018

气中于不同温度下加热 15 min，然后将试样分别淬入 160 ℃ 的热油(等温 30 min)，25 ℃ 的冷油及本文作者配制的水溶性介质中。为避免氧化、脱碳，试样用不锈钢罐装箱保护。奥氏体化温度与所测硬度的关系曲线如图 2 所示。由图可见，GCr15 钢在三种介质中淬火，随着淬火温度的升高硬度开始增高，约在 840 ~ 900 ℃ 出现峰值，随后下降。这是由于随着淬火温度升高，溶入奥氏体中的碳化物增加，使

马氏体中的碳及合金元素的量增多，使钢淬火后硬度升高；继续升高温度，虽可使未溶碳化物继续溶解到奥氏体中，但同时又使奥氏体晶粒长大，淬火后残余奥氏体量增多，致使硬度下降。此外，图 2 还表明，GCr15 钢在 860 ℃ 以上加热淬火，在上述三种介质中，其硬度彼此接近。在后面将会看到，在 160 ℃ 热油中淬火，可使钢在相同温度下淬入其他介质中具有更高的韧性。因此，选择 160 ℃ 热油作为等温淬火介质。

冲击韧性试样加工成 10 mm×10 mm×55 mm 的无缺口试样，按表 2 所列不同热处理工艺处理。试样密封在不锈罐中加热，加热系数为 1.5 min/mm。除工艺 A₁ 外，每个试样加热之后淬入 160 ℃ 的油中，并在相同介质中回火 1 h 然后空冷。硬度和冲击韧性在同一试样上测定。对经不同热处理后的显微组织进行了金相观测，还用扫描电镜对某些试样的断口形貌和组织进行了观察。

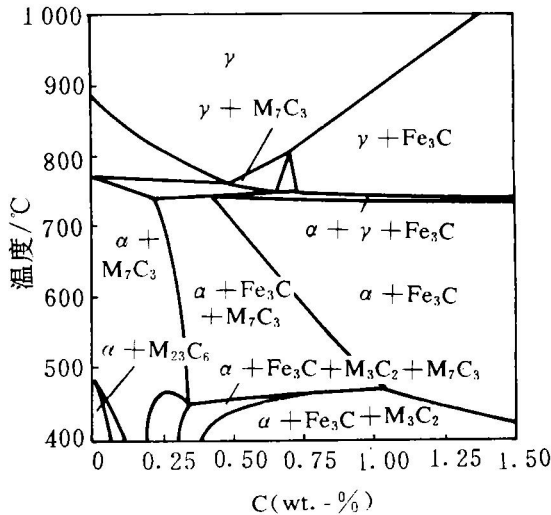


图 1 Fe-1.6Cr-C 相图纵截面

表 2 GCr15 钢经不同热处理后的性能

工艺	预淬温度 /℃	二次淬火温度 /℃	回火温度 /℃	硬度 (HRC)	冲击韧性 /J·cm ⁻²
A ₁	—	840 (25℃油)	160	62.4	25.1
B ₁	850	820	160	59.0	78.7
C ₁	900	820	160	60.5	51.1
D ₁	980	800	160	60.6	47.2
D ₂	980	820	160	62.0	41.7
D ₃	980	840	160	62.3	32.4
D ₄	980	860	160	61.8	24.6
E ₁	1040	820	160	61.5	19.2
E ₂	1040	840	160	63.0	19.7
E ₃	1040	860	160	62.5	19.5

2 结果与讨论

GCr15 钢经不同热处理后的硬度和冲击韧性列于表 2。由 840 ℃ 加热在冷油中淬火后的显微组织由马氏体、残余奥氏体和未溶碳化物组成。该试样具有高硬度，但韧性偏低，见表 2 中的 A₁ 工艺。如果将钢由 980 ℃ 淬入 160 ℃ 的油中，显微组织见图 3，大多数碳化物已溶入奥氏体中，奥氏体晶粒未见明显粗化。而当

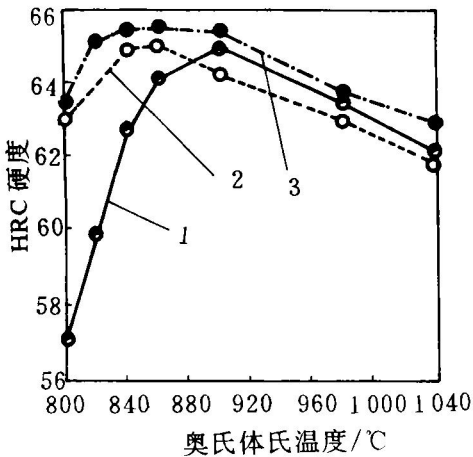


图 2 GCr15 钢奥氏体化温度与硬度的关系曲线
1—160 ℃，30 min 油淬；2—25 ℃ 油淬；3—水淬

钢在 1 040 ℃ 加热时, 虽然碳化物已完全溶解, 但奥氏体晶粒却明显长大, 如图 4 所示。这种粗大的组织易于导致显微裂纹的形成。若用这种工艺作为预先淬火, 经二次淬火并回火后钢的韧性很低(见表 2 中的 $B_1 \sim B_3$ 工艺)。显然, 这种工艺不适于模具的强韧化处理。我们不考虑这一工艺而考虑其他淬火温度较低的工艺。

对于模具, 从表 2 可见, 较好的热处理工艺是 D_2 , 也就是从 980 ℃ 预淬入 160 ℃ 的油中, 然后再从 820 ℃ 淬入 160 ℃ 油中, 并在此介质中回火 1 h。这可以使钢具有硬度(62HRC)和韧性(41.7 J/cm^2)的良好配合。此时显微组织均匀, 晶粒细小, 如图 5 和图 6 所示。图 7

为该试样的扫描电镜照片, 碳化物颗粒小于 $0.36 \mu\text{m}$ 。显然, 奥氏体晶粒和碳化物均被明显细化。这种非常细小的碳化物是从预淬火之后获得的非平衡组织中再加热时析出的, 而细小的奥氏体晶粒则归因于在淬火过程中由相变引起再结晶而形成的。该试样的断口形貌如图 8 所示。呈现很高的塑性。

其他两种工艺 B_1 和 C_1 (见表 2), 尤其是 B_1 , 使钢具有极高的冲击韧性。这是由于该工艺钢的奥氏体化温度较低, 因而晶粒更细, 而

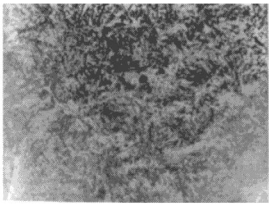


图 3 980 ℃ 淬火组织, $\times 300$

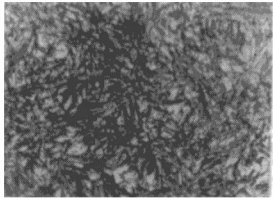


图 4 1040 ℃ 淬火组织, $\times 300$

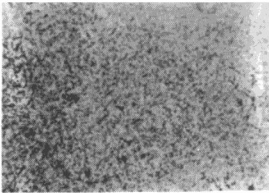


图 5 980 ℃ + 820 ℃ 淬火, 160 ℃ 回火, $\times 300$

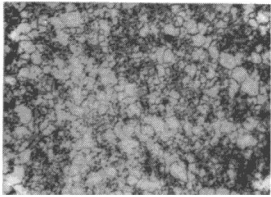


图 6 980 ℃ + 820 ℃ 淬火后的晶粒度, $\times 400$

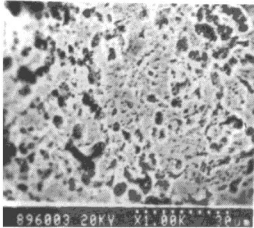


图 7 980 ℃ + 820 ℃ 淬火, 160 ℃ 回火之 SEM 照片, $\times 1000$

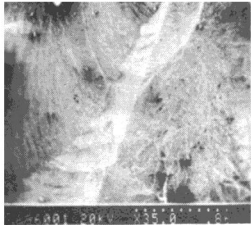


图 8 同图 7, 断口 SEM 照片

且溶入奥氏体中的碳化物较D工艺减少,因此使奥氏体的含碳量降低,使钢具有极高的韧性。但同时其硬度有所下降。此工艺可用于要求高韧性而硬度可适当降低的模具。图9为B₁工艺处理的试样,具有细小而均匀的显微组织,图10为其断口形貌的扫描电镜照片,具有发达的撕裂棱,表明材料塑性极高。

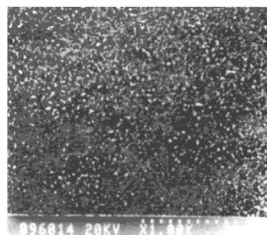


图9 850℃+820℃淬火,
160℃回火 SEM照片



图10 同图9,断口SEM照片,×33

从上面的结果可以看到,当GCr15钢经第一次淬火产生的非平衡组织,经第二次淬火并回火后,碳化物颗粒被细化,而且奥氏体晶粒细小。这种热处理工艺能使钢在具有高硬度的同时具有足够的韧性,从而可满足模具的要求。这种工艺很适于GCr15钢,因为该钢无组

织遗传性^[5]。而通常高合金钢具有组织遗传性,即第二次淬火后的显微组织与第一次淬火相同,不能被细化。因此,对高合金钢当应用这类工艺时,应采取避免产生组织遗传性的措施。

3 结论

(1) GCr15钢用于冷作模具,可选择以淬火作预处理,然后再经淬火、回火处理。此工艺可细化碳化物和奥氏体晶粒,使钢具有良好的强韧性配合,模具的使用寿命显著提高。

(2) 当淬火、回火工艺相同时,GCr15钢的预淬火温度对该钢的强韧性有明显影响。随着预处理加热温度升高,钢的硬度增加而韧性降低。因此,可根据模具的具体性能要求来选择合适的预淬火温度。

(3) 马氏体等温淬火,不仅可减小或避免模具的变形及开裂倾向,而且可使GCr15钢得到更高的强韧性。

参考文献

- 1 冯晓曾等. 模具用钢和热处理. 北京:机械工业出版社, 1984. 86.
- 2 安远静. 热处理工艺学. 北京:机械工业出版社, 1982. 119.
- 3 唐元折等. 金属热处理, 1984, (7): 31.
- 4 翟景侠. 金属热处理, 1985, (8): 35.
- 5 周曼娜. 金属热处理, 1986, (12): 26.
- 6 许德茂. 金属热处理, 1979, (1): 25.
- 7 Ansari A and Sundman B. Computer Handling and Dissemination of Data, Glaeser P S(ed), Amsterdam, North Holland, 1987. 154.
- 8 崔昆. 钢铁材料及有色金属材料. 北京:机械工业出版社, 1981. 111.