

固溶-时效处理对模具钢 0Cr3Ni3MoCuAl 组织和硬度的影响

卫海瑞^{1,2} 楚宝帅²

(1 太原钢铁(集团)有限公司 先进不锈钢材料国家重点实验室,太原 030003;

2 山西太钢不锈钢股份有限公司 技术中心,太原 030003)

摘要 实验研究了沉淀硬化模具钢 0Cr3Ni3MoCuAl 在 860~1 010 ℃ 35 min 固溶处理和 450~560 ℃ 3 h 时效处理的组织和硬度。结果表明,固溶处理温度为 950 ℃,保温时间 35 min,空冷至室温,其 HRC 硬度值可达 39.5;组织为粒状贝氏体和低碳板条马氏体的混合组织,并有少量残余奥氏体。时效处理温度为 500 ℃,保温时间为 3 h,空冷至室温,其 HRC 硬度值可达到 44.1;组织为回火贝氏体。

关键词 0Cr3Ni3MoCuAl 沉淀硬化模具钢 固溶处理 时效处理 硬度

Effect of Solution-Aging Treatment on Microstructure and Hardness of 0Cr3Ni3MoCuAl Die Steel

Wei Hairui^{1,2} and Chu Baoshuai²

(1 State Key Laboratory of Advanced Stainless Steel Materials, Taiyuan Iron & Steel (Group) Co Ltd, Taiyuan 030003;

2 Technology Center of Shanxi Taigang Stainless Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract The microstructure and hardness of precipitated hardening die steel 0Cr3Ni3MoCuAl with solution-treated at 860~1 010 ℃ for 35 min and aging treated at 450~560 ℃ for 3 h are tested and studied. The results show that when the solution treatment temperature is 950 ℃, the holding time is 35 min and air cooling to room temperature, the HRC hardness number is up to 39.5, the structure is granular bainite and low carbon lath martensite and a small amount of residual austenite. When the aging-treated at 500 ℃ for the holding time 3 h and air cooling to room temperature, the HRC hardness number is up to 44.1 and the microstructure is tempered bainite.

Material Index 0Cr3Ni3MoCuAl Precipitation Hardening Die Steel, Solution Treatment, Aging Treatment, Hardness

随着塑料产业的高速发展,人们对塑料的质量要求越来越高,进而对塑料模具钢的性能提出了更高的要求,通常要求塑料模具钢具有优良的切屑加工性能和足够的耐磨性、表面硬度、强韧性、耐蚀性以及良好的抛光性能^[1]。

沉淀硬化镜面模具钢碳含量较低,成分中加入 Ni、Al、Mn、Mo、Cu 等合金元素,该钢种在加工成型为模具之前,需要退火实验使钢处于一种软化状态,便于机械加工,最终经过固溶处理和时效处理,析出细小弥散的金属化合物,使模具 HRC 硬度值上升到 40 以上,达到强化和硬化的目的^[2-3]。

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

实验用材料 0Cr3Ni3MoCuAl 钢来自太钢公司生产的热轧板材,其冶炼工艺流程主要为转炉→LF 精炼→真空处理→电渣重熔,热轧板尺寸为 150 mm×900 mm×L mm,主要化学成分如表 1 所示。在实验室进行 700 ℃ 保温 3 h,空冷至室温的软

化退火,其退火后的组织为马氏体组织及部分残余奥氏体组织,如图 1 所示。

1.2 实验方法

将退火后的实验材料加工为金相试样,尺寸为 20 mm×20 mm×15 mm,在实验室分别完成不同温

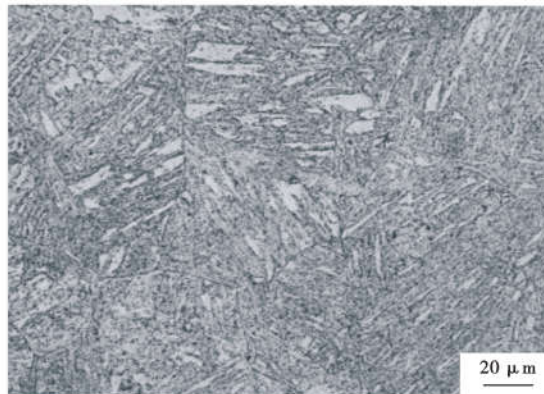


图 1 0Cr3Ni3MoCuAl 钢热轧板 700 ℃ 3 h 的退火组织
Fig. 1 Structure of 0Cr3Ni3MoCuAl steel hot-rolled plate annealed at 700 ℃ for 3 h

表 1 实验 0Cr3Ni3MoCuAl 钢的化学成分/%
Table 1 Chemical composition of experimental 0Cr3Ni3MoCuAl steel/%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
0.07	1.10	0.55	≤0.030	≤0.030	4.05	3.05	1.0	0.50	1.15

度的固溶处理(860 ~ 1 010 ℃),保温 35 min,空冷至室温;在固溶处理的基础上进行不同温度的时效处理(450 ~ 560 ℃),保温 3 h,空冷至室温。

对固溶处理和时效处理试样用洛氏硬度计测量 HRC 硬度值,然后采用 4% 硝酸酒精溶液浸蚀,利用光学显微镜(OM)和扫描电子显微镜(SEM)对微观组织形貌进行观察。

2 分析与讨论

2.1 固溶处理对组织和硬度的影响

实验钢在 860、890、920、950、980、1 010 ℃ 6 个温度下进行固溶处理,保温 35 min,空冷至室温。SEM 组织如图 2 所示,其组织形态为粒状贝氏体和板条马氏体的混合组织,马氏体条间有残余奥氏体

分布。当固溶温度低于 950 ℃ 时,奥氏体晶粒小且奥氏体化不均匀,得到的组织以细小的马氏体组织为主;固溶温度大于

950 ℃ 后,奥氏体化更加均匀以及合金元素的充分溶解,组织中的马氏体组织比较粗大;同时从图 2 可知,随着固溶处理温度的升高,钢中残余奥氏体的含量逐渐增加,这是由于随着加热温度的升高,奥氏体的晶粒不断长大,总晶界面积减少,成分更加均匀,冷却时过冷奥氏体稳定性增加,不利于新相的形核所致。

实验钢在上述 6 个温度进行固溶处理后,测试 HRC 硬度值,结果如表 2 所示。

随着固溶处理温度的升高,其 HRC 硬度值在 950 ~ 980 ℃ 时达到最大值 39.5,之后又有所下降。这是由于随着固溶温度的升高,合金元素的充分溶解,使得粒状贝氏体得以强化,但固溶温度过高,奥

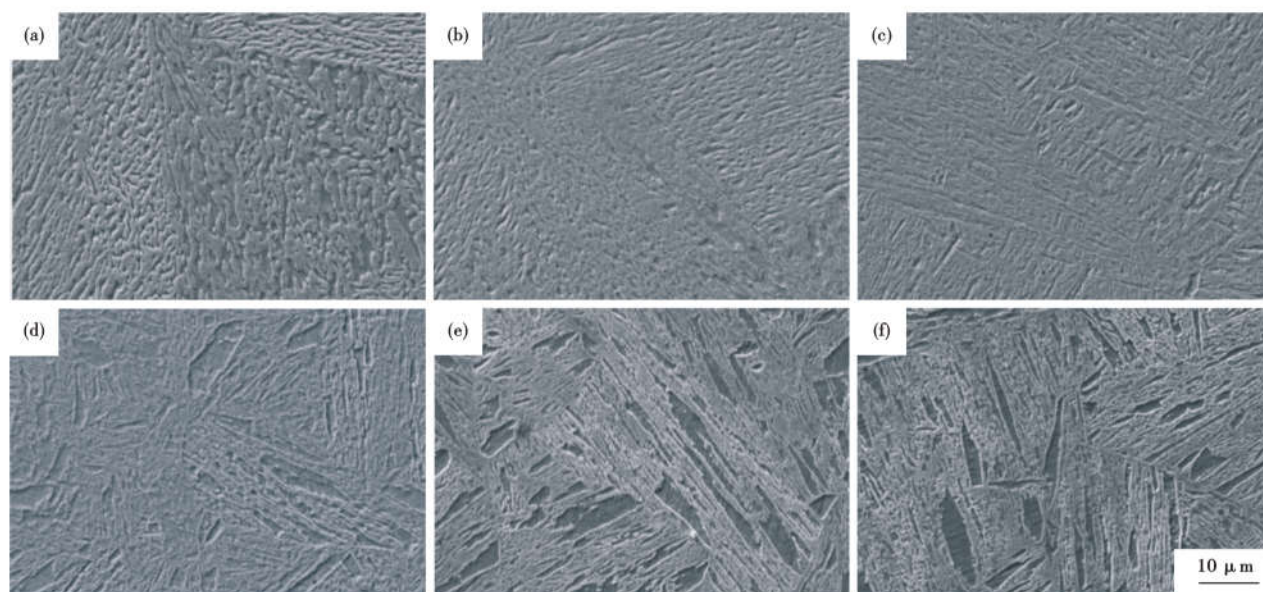


图 2 0Cr3Ni3MoCuAl 钢 (a) 860 ℃, (b) 890 ℃, (c) 920 ℃, (d) 950 ℃, (e) 980 ℃, (f) 1 010 ℃ 固溶处理的组织, SEM
Fig. 2 Structure of 0Cr3Ni3MoCuAl steel solution treated at (a) 860 ℃, (b) 890 ℃, (c) 920 ℃, (d) 950 ℃, (e) 980 ℃ and (f) 1 010 ℃, SEM

表 2 0Cr3Ni3MoCuAl 钢固溶处理后的 HRC 硬度值
Table 2 HRC hardness number after 0Cr3Ni3MoCuAl steel solution-treated

固溶温度/℃	HRC 硬度值
860	34.0
890	36.0
920	38.5
950	39.5
980	39.5
1 010	39.0

氏体均匀化过程中晶粒长大,空冷后的板条马氏体发生粗化,引起硬度值下降。综上所述,从组织和硬度两方面考虑,实验钢的最佳固溶温度为 950 ℃。

2.2 时效处理对组织的影响

在 950 ℃ 保温 35 min 的固溶处理的基础上进行 450、480、500、520、540、560 ℃ 6 个温度的时效处理,保温 3 h,空冷至室温。金相组织形貌如图 3 所

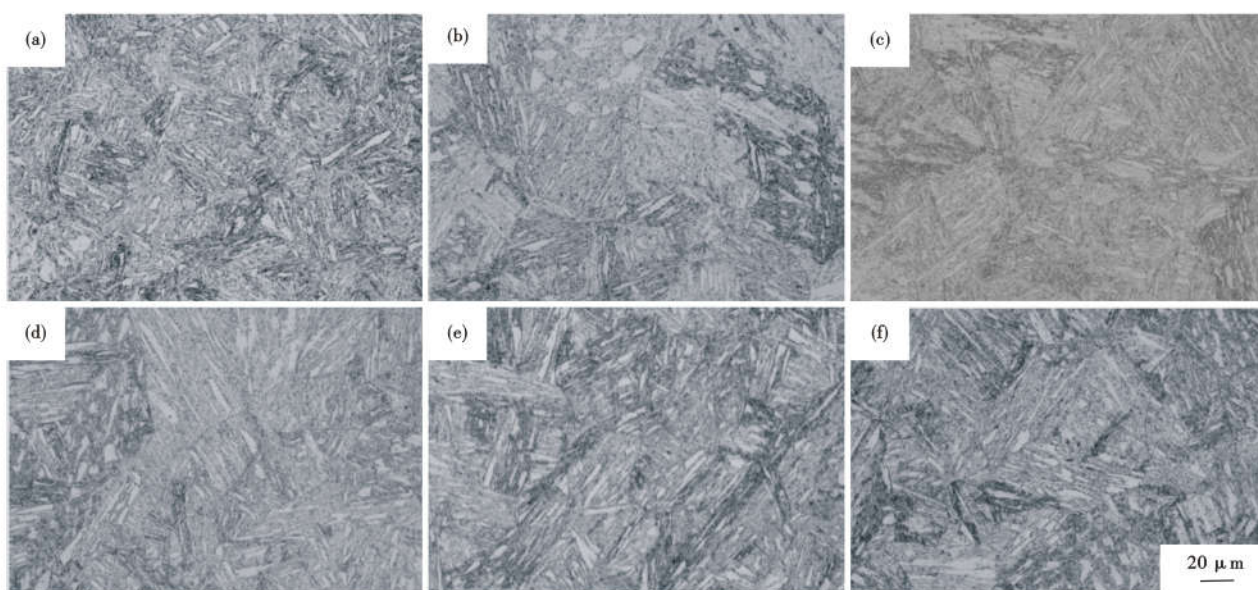


图3 0Cr3Ni3MoCuAl 钢 950 °C 35 min 固溶处理后(a) 450 °C, (b) 480 °C, (c) 500 °C, (d) 520 °C, (e) 540 °C, (f) 560 °C 时效 3 h 的金相组织

Fig. 3 Metallographic structure of 0Cr3Ni3MoCuAl steel solution-treated at 950 °C for 35 min and aging at (a) 450 °C, (b) 480 °C, (c) 500 °C, (d) 520 °C, (e) 540 °C and (f) 560 °C for 3 h

表3 0Cr3Ni3MoCuAl 钢时效处理后的 HRC 硬度值

Table 3 HRC hardness number after aging treated 0Cr3Ni3MoCuAl steel

时效温度/°C	HRC 硬度值
450	38.5
480	41.3
500	44.1
520	42.8
540	41.0
560	39.6

示,时效后的组织为回火贝氏体组织,组织中有少量针状铁素体,并沉淀析出大量弥散的金属间化合物 Ni-Al 相和 ϵ -Cu 相^[4],随着时效温度的升高,残余奥氏体进行分解,含量逐渐减少,其分解产物主要为贝氏体组织,而且贝氏体组织间析出 ϵ -碳化物^[3]。

实验钢在上述 6 个温度的时效处理后,测试 HRC 硬度值,结果如表 3 所示。

随着时效温度的升高,HRC 硬度值先升高后降低,在 500 °C 达到时效峰值 44.1。随着时效温度的升高,残余奥氏体发生转变,板条马氏体发生分解,碳化物增多并聚集长大,金属间析出相也不断增多,两者共同作用显著提高了硬度值^[5];随着时效温度的继续升高,组织进入了过时效状态,发生了回复和再结晶,位错密度急剧下降,引起组织软化,同时析出相尺寸长大,析出强化效果减弱,导致强度下降^[6]。

3 结论

(1)固溶温度为 950 °C,时间为 35 min,空冷至室温的 0Cr3Ni3MoCuAl 钢 HRC 硬度值可达 39.5,组织为粒状贝氏体和板条马氏体的混合组织,马氏体条间有残余奥氏体分布。

(2)时效温度为 500 °C,时间为 3 h,空冷至室温的 0Cr3Ni3MoCuAl 钢 HRC 硬度可达到 44.1,组织为回火贝氏体组织,组织中有少量针状铁素体。

参考文献

- [1]肖文军,徐春晖,周天瑞.我国塑料模具钢的发展前景及应用现状[J].南方金属,2006,149(4):1-4.
- [2]韩海军.塑料模具用钢材料的种类及展望[J].机械,2005,32(1):4-5.
- [3]冯淑玲,刘明.热处理工艺对塑料模具钢 10Ni3MnCuAl 组织、晶粒度和性能的影响[J].模具制造,2017,408(7):82-85.
- [4]原凌云.热处理工艺对 10Ni3MnCuAl 钢组织性能的影响[J].上海金属,2011,33(6):20-22.
- [5]何燕森,高雯,李麟,等.热处理对 718 塑料模具钢加工性能的影响[J].金属热处理,2004,29(3):20-23.
- [6]陈秀云.预硬型贝氏体钢中合金元素的作用[J].清华大学学报,1999,39(10):8-11.

卫海瑞(1988-),男,硕士(2013年北京科技大学),高级工程师,2010年中南大学(本科)毕业,钢铁材料组织及夹杂物研究。E-mail:weihr@tisco.com.cn

收稿日期:2021-03-22