提高 Cr12MoV 钢模具寿命的热处理工艺

曹光明

(潍坊学院 机电工程系, 山东 潍坊 261061)

摘要: 从预备热处理、淬火及回火、深冷处理、表面强化处理等方面分析评述了提高 Cr12MoV 钢模具寿命的热处理工艺措施。

关键词: 冷作模具钢; 热处理; 寿命

中图分类号: TG 162.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2004)10-0046-03

Heat Treatment Process for Prolonging Die Lifespan of Cr12MoV Steel

CAO Guang ming

(Dep. of Mechanical and Electrical Engineering, Weifang University, Weifang 261061, China)

Abstract: This paper discusses the heat treatment process for prolonging the die lifespan of Cr12MoV steel on the aspects of conditioning heat treatment, quenching and tempering, cryogenic treatment and surface hardening.

Key words: cold working die steel; heat treatment; lifespan

Cr12MoV 钢是目前国内广泛使用的冷作模具钢之一。该钢具有淬透性好、硬度高且耐磨、热处理变形小等优点,常用于制作那些承受重负荷、生产批量大、形状复杂的冷作模具,如冷冲、压印、冷镦、冷挤压模等。但该钢的显著缺点是脆性大,常常导致模具的早期失效。因此,如何提高其强韧性,防止模具过早断裂失效,是该钢用户经常遇到且需要解决的问题。模具失效分析表明,热处理因素影响最大,约占 50%^[1,2]。本文在已有研究的基础上,针对热处理生产中影响 Cr12MoV 钢性能的诸因素,分析评述了提高其模具寿命的热处理工艺方法和措施。

1 改进预备热处理

Cr12MoV 属于高碳高铬莱氏体钢。碳化物含量高,且常呈带状或网状不均匀分布,其形状、大小及分布对钢的性能影响很大,尤其大块状尖角碳化物对钢基体的割裂作用较大,往往成为疲劳断裂的策源地。经过改锻,碳化物被击碎,偏析状况得到有效改善,但其形态还不理想,且锻后硬度也偏高。因此 Cr12MoV 钢锻后常采用球化退火作为预备热处理,以获得均匀、细小的球形碳化物,降低硬度,改善切削加工性能,同时为后续淬火做好组织准备。当常规球化退火工艺效果不理想时,可采用锻后调质处理,即锻后稍作停留,让奥氏体回复和开始再结晶,然后立即淬火,700~750 回火^[3]。或在精加工前增加一道调质工序^[4]。也可利用锻后余热直接进行球化退火或循环球化退火^[5]。

Cr12MoV 钢一般淬火温度为 1000~1040,而调质的淬火温度可达 1120,高的温度一方面促进了较小碳化物的完全溶解,另一方面也促进了大块碳化

物尖角的局部溶解;而且,溶入基体的碳化物在随后高温回火过程中再度均匀弥散析出,使碳化物的形态、大小及分布得到改善,有利于提高模具的强韧性。

例如, Cr12MoV 钢增加一道调质工序(1100 加热淬火+700 回火)后进行 1000 淬火及 200~220 回火处理,不仅使碳化物的粒度、形状、分布及球化程度较常规工艺处理有显著改善,而且性能上 $\sigma_{0.2}$ 提高 20%, α_k 值提高 15%。用此工艺处理的 Cr12MoV 钢落料模,凸凹模刃口件总寿命达 150 万次,寿命提高 5 倍。失效后取样金相检查,碳化物不均匀度为 1 级^[6]。轧丝机上用于轧制梯形丝杠的 Cr12MoV 钢轧丝模,采用常规 1020 淬火,250 回火,模具寿命只有几百件,都是脆性断裂失效。在精加工前增加一道调质工序(850 预热,1120 加热淬火,760 高温回火),然后在 1020 加热 230 分级淬火,400 回火 2 次,硬度为 57~58 HRC,模具寿命达 2000 多件,达到了进口模具水平^[7]。

2 改进淬火及回火

Cr12MoV 钢最终硬化处理分为“一次硬化处理”和“二次硬化处理”。一次硬化处理是指低温淬火(~1000)与低温回火(~200);二次硬化处理是指高温淬火(~1100)与高温回火(~500)。研究与实践表明, Cr12MoV 钢经一次硬化处理后,硬度高(60~62 HRC)、耐磨、晶粒细小、韧性好、淬火变形小,且残

收稿日期:2004-05-21

作者简介:曹光明(1964-),男,山东青州人,副教授,硕士,主要从事工程材料教学及工模具材料研究,已发表论文 17 篇。

留奥氏体 (A_R) 量适度, 是较佳的常规强韧化处理工艺。

Cr12MoV 钢经过改锻及预处理, 碳化物的粒度、形状、分布得到改善, 但还是有个别碳化物尺寸较大且有棱角, 降低了钢的断裂韧性。如果一次硬化处理时, 在特定温度如 800 左右充分预热, 使不均匀分布的碳化物特别是大块尖角形碳化物不断分解、扩散, 有利于形成大量高度弥散分布的形核中心, 使随后淬火时有利于形成高度弥散分布的细粒碳化物, 能有效提高钢的强韧性和模具使用寿命。如 Cr12MoV 钢经特定温度预热, 1000 淬火, 200 回火, 组织为细针状回火马氏体+ 均匀弥散分布的碳化物+ 少量小块状碳化物及少量 A_R , 使其拉丝模的寿命提高近 1 倍^[8]。Cr12MoV 钢经 800~ 850 预热, 1020 ~ 1050 加热淬火, 2 次 160~ 180 低温回火, 使用效果较好^[9]。

如果 Cr12MoV 钢未改锻, 采用固溶双细化处理^[3], 即 500 及 800 左右二级预热, 1100 ~ 1150 固溶处理, 淬入热油或等温淬火, 750 高温回火, 机加工后 960 加热油冷后进行最终热处理, 也可使碳化物细化、棱角圆整化, 晶粒细化。

Cr12MoV 钢强韧性不足, 还与淬火温度较高, 奥氏体晶粒较大, 使随后淬火后的马氏体粗大有关。如果 Cr12MoV 钢通过低温加热, 等温淬火, 先形成适量的 B_T 组织, 割裂了原奥氏体晶粒, 使随后形成的针状 M 细化; 且 B_T 易在未溶碳化物与基体的界面处形成, 本身韧性也较好, 可通过自身塑性变形而缓解应力集中, 有助于降低裂纹萌生及扩展, 脆断几率减小, 使强韧性增加。例如 Cr12MoV 钢经 520 $\times$ 12 h 预渗氮, 1000 $\times$ 10 min 扩氮, 260 $\times$ 4 h 等温淬火, 并于 230 $\times$ 2 h 回火的复合强韧化处理, 得到适量的 B_T 与 M 的复相组织, 扩氮层显微硬度达 900 ~ 1000 HV, 心表硬度过渡均匀, 可使模具寿命提高一个数量级^[10]。文献[11] 针对 Cr12 钢也提出了在 850 预热, 1030 加热, 280 等温淬火, 200 回火的复相强韧化处理工艺。等温时得到 7% ~ 10% 的 B_T 与 M 的复相组织, 具有最佳的耐磨性与冲击韧度的搭配, 使 Cr12 钢自行车把节头冷墩模寿命提高 3~ 4 倍, 对 Cr12MoV 钢同样有借鉴意义。

3 增加深冷处理

Cr12MoV 钢经常规 1020 ~ 1040 淬火, A_R 量较多, 约 30% 左右^[12,13], 硬度、耐磨性不足, 且易出现磨削裂纹, 使模具提早破坏。深冷处理过程中, 由于 A_R 转变成 M, 以及超细碳化物析出, 使钢的硬度、冲击韧度及耐磨性都得以提高^[2,13], 从而显著提高其力学性能和模具

寿命, 属于简单易行的强韧化热处理工艺。例如:

(1) Cr12MoV 钢经 1030 加热淬火, 180 回火, -196 深冷处理, 再 200 回火, 其 α_k 值比常规热处理提高 21%, 使扇形冲压模具的寿命提高 1.5 ~ 2 倍^[14]。

(2) Cr12MoV 钢经 1030 淬火, 100 回火, -160 深冷处理 2 h, 500 回火两次, 与常规处理相比, 其冲击韧度变化不大, 硬度提高 1~ 2 HRC, σ_{bb} 提高约 5%, 耐磨性大幅度提高, 可使 M12 螺母冷墩模寿命提高 2 倍^[15]。

(3) Cr12MoV 钢 1060 淬火并深冷处理后, 400 回火硬度仍可保持 60 HRC; 而常规淬火后, 要保持 60 HRC 的硬度, 回火温度不能超过 200 。采用 1060 淬火, -196 深冷处理和 400 回火的 M16 螺母六方冷墩冲模的使用寿命比常规工艺处理的模具提高 8~ 9 倍^[16]。

(4) Cr12MoV 钢经 1000 加热, 300 分级淬火, 180 回火 2 次, 放入液氮中深冷处理, 取出放入 60~ 70 热水中急热解冻, 再在 150~ 200 回火。经此工艺处理的缝纫机校架冷挤压凹模寿命为未经深冷处理的 1.6 倍^[17]。

(5) Cr12MoV 钢硅钢片冷冲凹模, 经 1030 淬火, 180 回火后, A_R 量较多, 硬度不够 (仅为 57.5 HRC), 耐磨性不足, 且易出现磨削裂纹。经 1100 淬火, 液氮深冷处理, 520 回火, 能明显降低 A_R 量, 平均硬度为 67.4 HRC, 耐磨性增加, 凹模寿命由原来的 9.2 万次提高到 84.3 万次, 全部为磨损正常失效^[18]。

深冷处理不仅提高了钢的强韧性、耐磨性、模具寿命, 而且能稳定模具尺寸, 改善加工精度及表面质量, 挽救一些尺寸超负公差零件。例如: Cr12MoV 钢淬火后冷到 -196 , 然后升温至室温后马上 343 $\times$ 1 h 回火, 油冷硬度 63 HRC, 收缩率为 0.0012%; Cr12MoV 钢淬火后冷到 -196 , 升至室温后于 510 $\times$ 1 h 回火, 油冷, 再重复两次 -196 、 510 $\times$ 1 h 回火, 再经 232 $\times$ 1 h 回火后空冷, 硬度 59.5 HRC, 收缩率为 0.0002%^[19]。Cr12MoV 钢经 1040 真空加热淬火, 200 回火后, 冲模外径普遍减小 60~ 80 μ m, 已无抛光余量 (真空处理前仅留 0.02 mm 加工余量), 经 -196 $\times$ 4 min 深冷处理, 外径普遍增大 100 μ m; 再经 230 回火, 外径又减小 10~ 20 μ m, 满足了加工要求。冲模经 1000 真空加热淬火, 200 回火后外径变化不大^[12]。

4 表面强化处理

模具的表面处理方法很多, 新的处理技术也不断

涌现,但对Cr12MoV钢模具而言,应用较多的主要有渗氮及其多元复合渗、硬化膜沉积技术等。

(1) 渗氮及多元复合渗 Cr12MoV钢 1110 淬火, 540 回火 2 次, 经 520~540 渗氮 2~6 h 后, 表面硬度 1042 HV 0.1, 心部硬度 62.5 HRC; 980 淬火, 180 回火, 渗氮 2~6 h 后表面硬度 1120 HV 0.1, 心部硬度 53 HRC。耐磨性提高 45%~67%^[20]。

将 Cr12MoV 钢的渗氮工艺和淬火、回火结合起来的复合强韧化处理^[10]得到细小弥散的 B_T 与 M 的复相组织, 以及少量的 A_R, 心表力学性能过渡均匀, 渗层深度达 300 μm, 使模具寿命大幅度提高。

在渗氮的同时渗入硫(S)和氧(O), 模具表面不仅具有高的硬度、耐磨、减摩及抗胶合能力, 而且能加速 N 的渗入, 提高经济效益。Cr12MoV 钢经 1020 淬火, 560 回火, 然后在 550 进行 2 h 的离子 O、S、N 共渗, 渗层厚度为 0.16~0.18 mm, 表面硬度为 1000~1200 HV。Cr12MoV 钢牙膏管冷挤冲头采用此工艺处理后, 平均寿命 3.5 万件, 提高 3.5 倍^[21]。

对 Cr12MoV 钢先进行等离子渗氮, 然后再采用等离子 S、N、C 共渗工艺, 在其表面形成具有一定硬度梯度的硫化物层+ 渗氮层的复合表面层, 能显著提高其耐磨性及抗咬合性能, 摩擦系数降低 2/3^[22]。

在渗氮或复合渗表面处理中, 加入适量的稀土元素, 不仅能提高渗速, 而且能优化表面渗层的组织结构, 改善表面的物理化学性能, 强化表面, 是延长模具寿命的新途径^[1]。

(2) 硬化膜沉积技术 硬化膜沉积技术目前应用较成熟的有 CVD、PVD、电火花涂敷等。CVD、PVD 由于设备原因成本较高, 只在一些精密、长寿命模具上应用。电火花表面涂敷由于方法简单, 效果好, 因而实际生产中应用较为广泛。Cr12MoV 钢制落料及拉伸复合凹凸模经 980 淬火, 400 回火, 硬度为 48 HRC, 通过对模具刃口用 WC 电极进行电火花强化, 涂层硬度达 1100 HV 以上, 模具平均寿命 10050 件, 比常规一次硬化处理提高 9 倍^[23]。

参考文献:

- [1] 邹济林 表面强化技术在模具型腔的应用[J]. 模具工业, 2001, (5):44-47.
- [2] 周敬恩 模具材料选用、热处理与使用寿命[J]. 金属热处理, 1999, (5):1-9.
- [3] 赵昌盛 Cr12 系冷作模具断裂失效分析[J]. 金属热处理, 2003, (1):68-69.
- [4] 陈浩杰, 蒋志武 Cr12 钢模具调质和低温淬火处理[J]. 金属热处理, 1992, (8):39-41.
- [5] 姚月岩 高速钢冷冲模热处理工艺改进[J]. 金属热处理, 1992, (4):54-55.
- [6] 陈筱俊 高碳高铬冷作模具钢裂纹浅析[J]. 机械制造, 1997, (6):25-26.
- [7] 顾知武 Cr12MoV 钢制梯形丝杠轧丝模的强韧化处理[J]. 金属热处理[J], 1993, (4):48-49.
- [8] 邹安全 Cr12MoV 模具钢热处理工艺试验研究[J]. 模具工业, 2001, (11):55-57.
- [9] 杨祖孝 Cr12MoV 精密轧辊加工工艺[J]. 制造·材料, 2000, (4):38-39.
- [10] 王传雅, 徐维, 王莎莎, 等 Cr12MoV 模具钢渗氮中温转变复合强韧化[J]. 特殊钢, 1995, (6):26-31.
- [11] 陈秋龙, 杨安静, 林以佩, 等 Cr12 冷作模具钢下贝氏体/马氏体复相热处理工艺研究[J]. 金属热处理, 1995, (9):9-10.
- [12] 王伊卿, 张实诚 用深冷处理消除 Cr12MoV 钢冲模热处理变形[J]. 金属热处理, 1998, (11):11-13.
- [13] 王毓敏 工模具钢深冷处理探讨[J]. 金属热处理, 1996, (3):37-39.
- [14] 孙伯文, 张绪寺 Cr12MoV 模具钢深冷工艺研究[J]. 模具工业, 1991, (8):51-54.
- [15] 尹延国, 袁根福 模具钢的深冷处理[J]. 模具技术 1997, (3):34-36.
- [16] 佟晓辉, 任平 Cr12MoV 钢冷激模深冷处理与回火工艺[J]. 模具工业 1991, (12):50-52.
- [17] 钱士强, 赵兴堂 冷挤压模具的深冷处理[J]. 上海金属, 1996, (5):29-32.
- [18] 高殿奎, 刘艳色 Cr12MoV 钢凹模的热处理工艺改进[J]. 金属热处理, 2002, (2):34-36.
- [19] 尹熙武 模具钢的用途及发展[J]. 四川冶金, 1996, (4):30-38.
- [20] 佟晓辉, 张志军, 徐杨 常用冷作模具钢的气体渗氮与耐磨性研究[J]. 金属热处理, 1994, (9):12-16.
- [21] 卢金生, 陈秀玉, 顾敏 模具钢离子 O-S-N 共渗研究[J]. 金属热处理, 1994, (2):16-21.
- [22] 张双科, 吴晓春 Cr12MoV 钢等离子 S-N-C 共渗摩擦磨损特研究[J]. 金属热处理, 2003, (4):24-28.
- [23] 高殿奎 复合凹凸模失效分析与工艺改进[J]. 金属热处理, 2002, (8):55-57.

(上接第 45 页)

- [23] 邓建新, 艾兴, 赵军, 等 Al₂O₃-TiB₂-SiC_w 复合陶瓷材料摩擦磨损特性的试验研究[J]. 摩擦学学报, 1997, 17 (4):289-294.
- [24] 桑可正, 黄清伟, 金志浩 含镍碳化硅复合材料的干摩擦特性[J]. 摩擦学学报, 2000, 20 (2):98-101.
- [25] 桑可正, 黄清伟, 金志浩 碳化硅及其镍钛复合材料干摩擦磨损性能的研究[J]. 西安交通大学学报, 1999, 33 (6):47-49.
- [26] 薛群基, 刘惠文 陶瓷摩擦学 II. 陶瓷材料的润滑[J]. 摩擦学学报, 1996, 16 (4):184-192.
- [27] Gangopadhyay A, Jahanmir S, Hegemann B H. Reduction in friction coefficient in sliding ceramics surfaces by in-situ formation of solid lubricant coating. Powson D[A]. Taylor CM, Godet M.

Mechanics of Coating [C]. Leeds-Lyon: Elsevier Science Publishers B V, 1990.63-70.

- [28] Erdemir A, Busch E F, Erck R A, et al. Ion-Beam-Assisted Deposition of Silver on Zirconia Ceramics for Improved Tribological Behavior [J]. Lubr. Eng., 1991, 47 (3):179-184.
- [29] Zaleski M A, Jervis T R, Mayer J W. Tribology and hardness of excimer-laser-processed titanium layer on cubic zirconia [J]. J Am Ceram Soc., 1993, 76 (9):356-361.
- [30] Jervis T R, Hirvonen J P, Nastasi M. Excimer laser processing or tribological applications in metals and ceramics [J]. Lubr. Eng., 1992, 48:141-146.