

低碳马氏体在模具生产中的应用16例

赵步青

摘要：介绍近年来低碳马氏体在模具生产中的应用案例，认为使模具的淬火组织得到更多甚至全部低碳马氏体，是提高模具的强韧性、延长使用寿命的关键。

关键词：模具；低碳马氏体；强韧性；使用寿命

模具用钢大多采用合金工具钢和高速工具钢，用碳素工具钢日渐减少。合金工具钢淬火后的组织主要是孪晶的、有些微裂纹、高碳针状或片状的马氏体。含碳量及合金含量越高，钢中不可避免地会存在网状、带状和链状的碳化物，往往会导致模具在使用中脆断或早期失效。

由于亚结构是位错的低碳马氏体（也称板条马氏体）具有相当高的强度，很好的塑性和韧性，良好的切削加工性、焊接性，以及热处理畸变小等一系列优点，所以在模具工业中得到广泛的应用。以下以实例展现给读者，仅供参考。

1. 3Cr2W8V钢制螺栓热锻模高温淬火

该钢用1050～1100℃常规淬火后，有约8%的未溶碳化物，马氏体的合金度较低，其稳定性和断裂韧度都不高。提高淬火温度至1180℃，可使奥氏体的合金度增加，获得以板条马氏体为主的金相组织，从而有效地解决了模具早期失效问题。

3Cr2W8V钢制M12×50的圆柱螺栓（材料为38Cr）热锻模，采用1180℃加热油淬，可得到90%（体积分数）以上的板条马氏体组织，580℃×4h×2次回火，使模具寿命由常规处理的3000～5000件提高到5万～6万件[1]。

该钢用1180℃高温淬火制造的望远镜压铸模，模具寿命超过10万件。

2. 5CrMnMo钢制冷挤压模高温淬火

用于挤压H62黄铜的5CrMnMo钢冷挤压模具，硬度要求46～52HRC，用890～900℃高温加热油淬，290～310℃×4h×2次回火。金相组织为大量的板条马氏体＋少量的片状马氏体，平均寿命为5000～6000件，较常规840℃淬火的模具寿命提高两倍多。

用该钢制螺母冷镦模，将淬火温度提高到910～930℃，得到几乎是单一的低碳马氏体。200℃回火，使用寿命是Cr12MoV钢的2.6倍。

3. 5CrNiMo钢制锤锻模高温淬火

5CrNiMo钢制480mm×450mm×295mm的热锻模，原工艺为860℃的油淬，500℃回火，硬度42HRC，锻打齿轮毛坯2500件时，锻模便发生塑性变形；现将淬火温度提高到900℃，油淬，获得以板条马氏体为主的金相组织，500℃回火硬度43HRC，锻打重要的齿轮毛坯8100件仍可继续使用。国内有的工厂将该模具的淬火温度提高到960℃，锻模的使用寿命较常规处理提高2.5倍[2]。

4. 45Cr2NiMoVSi钢大齿轮热锻模高温淬火

45Cr2NiMoVSi钢制10t锤热锻模，锻打75型拖拉机大齿轮，高温盐浴加热，1000～1050℃加热，淬火冷却介质为40～80℃

油，油冷至160～200℃出油空冷，硬度54～60HRC。型腔回火温度630～670℃，回火后硬度40～45HRC；燕尾回火为670～700℃，回火后硬度为34～39HRC。

由于获得板条马氏体组织，模具的使用寿命比德国进口的55CrNiMoV6钢（相当于5CrNiMo）模具提高50%。

5. 4Cr5MoSiV1（H13）钢热挤压模

曾用3Cr2W8V钢制模，平均寿命仅为6000件，主要失效形式为磨损，采用H13钢高温淬火，模具的寿命达到18000～20000件。淬火加热温度由常规1020～1030℃提高到1080℃，560℃盐浴分级后进油中续冷，560℃×2h×2次硝盐回火，硬度54HRC。

盐浴高温淬火固然可以提高模具使用寿命，真空淬火同样可以获得满意的效果。H13钢制铝合金压铸模具1080℃真空加热淬火，真空回火采用660℃×2h＋580℃×2h工艺，其疲劳强度比常规处理的提高25%，寿命提高2～3倍。

6. 20Cr钢低碳马氏体强烈淬火

20Cr制斜拉桥索节扣体热锻模，奥氏体化温度920～930℃，淬入10%NaCl（质量分数）水溶液，得到板条马氏体组织，180～200℃回火，硬度40～43HRC，满足使用要求，有些厂家淬火后不回火直接使用。低碳钢920～1000℃淬火将得到低碳马氏体的实例还有很多，不再赘述。

7. 60Si2MnA钢制冷镦模高温淬火

用该钢制冷镦螺母四序冲模920～950℃高温淬火，得到几乎是单一的低碳马氏体组织，有较高的断裂韧度、冲击韧度和优良的耐磨性，使用寿命比常规淬火模具提高两倍多[2]。

8. 5CrW2Si钢制冷剪刀强韧化处理

冷剪刀是常用的剪切工具，在使用中要承受大的冲击载荷和强烈的振动挤压，常发生压塌、崩刃和剥落，使用寿命较短。为此对原工艺进行了大胆改革，采用高温淬火，使用寿命提高2～3倍。

920～950℃加热油淬，250℃回火，得到以板条马氏体为主的金相组织，其强度和韧性均较好，冲击韧度比常规淬火提高53%[3]。

9. CrWMn钢制手表凸模低温淬火

CrWMn钢制手表凸模按830～850℃常规淬火，模具的使用寿命始终不超过1万件，采用790℃低碳马氏体淬火，200℃回火，硬度58～60HRC，模具的刃磨寿命可达1万～2万次，总寿命达10万～20万次，并且使用中不易发生崩刃及断裂现象，显示出极高的断裂抗力[4]。

10. 7Cr7Mo3V2Si（LD）制冷挤压模低温淬火

LD钢制冷挤凸模按1120～1150℃常规淬火，寿命只有3000～4000件，改用1050℃淬火，200℃回火，硬度60～61HRC，获得板条马氏体+弥散碳化物组织，使用寿命提高到2万次[3]。

11. Cr12MoV钢制模低温淬火

对于没有提高加热设备和因强韧性不足而引起早期失效的Cr2MoV钢模具采用低淬低回工艺可取得较好的效果。

低淬低回工艺常采用920～950℃加热，淬油或硝盐，淬火后硬度≥61HRC，经180～200℃回火后硬度≥58HRC，淬火后获得以板条马氏体为主的组织，淬火晶粒细小，因而明显提高了强韧性。

Cr12MoV钢制下壳模，950℃油淬，180℃×3h×2次回火，硬度64HRC，变形符合工艺要求，使用寿命提高两倍。

该钢制壳体形成模，950℃油淬，200℃×4h回火，硬度59～60HRC，平均冲压3万～4万件，寿命比常规淬火高得多。

12. 9Cr6W3Mo2V2（GM）钢制模低温淬火

GM是我国自行研制的一种高硬度冷作模具钢，是制作精密、耐磨、高寿命冷作模具新钢种，属莱氏体钢。该钢具有较好的抵抗裂纹扩展的能力，其耐磨性能和韧性具有最佳的匹配，韧性和强度均优于Cr12型钢和高速工具钢，是制作滚丝模的理想材料。常规处理的滚丝模适合加工调质件，如果加工件为退火件，采用低温淬火是很经济实惠的工艺，1070℃盐浴加热油淬，150℃×2h×2次油回火，硬度62～63HRC，用低温淬火的GM

钢滚丝模，在加工45钢、Q235A钢螺栓时，使用寿命较9SiCr、Cr12MoV、M2钢滚丝模寿命提高2倍左右。

13. 20Cr钢塑料模低碳马氏体强化处理

一些形状简单、变形要求不严格的20Cr钢塑料模，运用低碳马氏体强化处理，可得到满意的效果，处理工艺为880～900℃加热，淬盐水，150～180℃回火后硬度38～45HRC。

14. 低碳马氏体渗碳型塑料模具钢

低碳钢及低合金钢在塑料模具中的应用比较广泛，效果也比较明显。此类钢制成模具后，先进行表面渗碳，再进行淬火和低温回火，使表面得到高碳细针状回火马氏体+颗粒状碳化物+少量残留奥氏体；心部组织主要为低碳马氏体，从而保证了模具表面具有56～62HRC的高硬度，而心部具有30～45HRC的强韧性。实践证明，此工艺适用于制造各种耐磨性良好、形状复杂、承受载荷较高的塑料模具。

15. 低碳马氏体钢强韧性塑料模具钢

含碳量在0.15%～0.25%（质量分数）的碳素钢和合金钢，可直接进行低碳马氏体强韧化处理，能够获得几乎是强韧性高的低碳马氏体组织。如果处理得当，可代替中碳钢调质处理、渗氮处理，制造各种塑料模具。建议使用食盐或硝盐水溶液或冷却性能更高的有机溶剂，淬火后低温回火。这一举措，显著缩短了模具制造周期，降低了模具制造成本，提高了模具的使用寿命，深信将会在塑料模具热处理中得到广泛应用。

16. 低碳马氏体时效硬化塑料模具钢

这类钢分为低碳马氏体时效硬化钢和低碳马氏体析出硬化钢两大类。低碳马氏体时效硬化钢有很高的屈强比、良好的切削加工性和焊接性能、热处理简单等优点。典型的钢种是超低碳18Ni钢系列，但由于18Ni价格昂贵，国内很少应用。

国内开发的06Ni6CrMoVTiAl（简称06Ni钢），$w_C \leqslant 0.06\%$低碳低镍马氏体时效钢，850～880℃固溶后水冷或油冷，500～540℃×4～8h时效。时效后的组织为低碳马氏体+析出强化相Ni_3Al、Ni_3Ti、TiC、TiN，硬度为42～45HRC，屈服强度达到1100～1400MPa[5]。

用06钢制作的收录机磁带盒模具，平均寿命达到110万次以上，是很有发展前途的钢种。

我国自行研制的25CrNi3MoAl和10Ni3MnCuAl（简称PMS）为低碳马氏体析出硬化钢，适用于制作变形率在0.05%以下、镜面要求很好的或表面要求光刻花纹的精密镜面塑料模具。

PMS钢经870℃固溶处理，510℃×4h时效处理，硬度40～43HRC，抗拉强度1000～1300MPa[6]，金相组织为低碳马氏体基体分布着细小碳化物。

25CrNi3MoAl钢经830℃固溶处理，硬度可达50HRC，再经540℃×4h时效处理，硬度39～42HRC，是多种镜面刻花模具理想的硬度范围。

还有很多低碳马氏体提高模具使用寿命的实例，不逐一列举。从失效分析可知，好多模具往往是由于韧性不足而断裂，所以增强韧性不失为提高模具使用寿命的一种措施，低碳马氏体工艺方法确为切实可行的一种手段，应大力推广。

参考文献

[1] 赵步青.模具热处理工艺500例[M].北京：机械工业出版社，2008：85-86.
[2] 雷廷权，傅家骐.热处理工艺方法500种[M].北京：机械工业出版社，2006：178-179.
[3] 李泉华.热处理技术400问解析[M].北京：机械工业出版社，2002：412，373.
[4] 王德文.模具实用技术200例[M].北京：冶金工业出版社，1990：135.
[5] 许发樾.模具材料与使用寿命[M].北京：机械工业出版社，2000：183-184.
[6] 徐进.模具材料应用手册[M].北京：机械工业出版社，2001：100-101.

作者简介：赵步青，男，1943年12月生，江苏阜宁县人，高级工程师，安徽嘉龙锋钢刀具有限公司，已发表论文及实用文章230多篇，出版热处理专著4部，协编图书两部。研究方向：工模具热处理工艺。

MW 20161018