

合金工具钢芯模水淬油冷热处理工艺

李文

中冶陕压重工设备有限公司 陕西渭南 711711

摘要：旋压芯模是旋压加工生产中的关键工装，多采用高合金工具钢制作，常见的材质有9SiCr钢、CrWMn钢等。一般旋压芯模都要进行热处理，必须保证芯模硬度达到58~64HRC才能满足使用要求。原工艺对CrWMn钢芯模采用井式炉加热后油冷的淬火方式，最终硬度只能达到50~55HRC，无法满足使用要求。经过工艺改进，采用水淬油冷工艺使芯模形成2个硬度区域，工作端硬度达到59~60HRC，夹持端硬度为35~40HRC，满足了使用要求。

关键词：工具钢芯模；热处理工艺改进；水淬油冷

Heat treatment process of water quenching and oil cooling for alloy tool steel mandrel

LI Wen

MCC-SFRE Heavy Industry Equipment Co., Ltd., Weinan 711711, Shaanxi, China

Abstract: Spinning mandrel is a key tooling in spinning processing production, mostly made of high alloy tool steel, common materials are 9SiCr, CrWMn and so on. Generally, the spinning core die must be heat treated, and the hardness of the core die must be ensured to reach the range of 58~64HRC to meet the requirements of use. At first, we used the oil-cooled quenching method after the well furnace heating on the CrWMn core mold, so that the final hardness can only reach 50~55HRC or so, which can not meet the use. Finally, through the process improvement, the core mold is made to reach two kinds of hardness zone by the water quenching and oil cooling process, the hardness of the used part reaches 59~60HRC, and the hardness of the shaft journal reaches 35~40 HRC.

Keywords: tool steel core die; heat treatment process improvement; the water quenching and oil cooling process

1 序言

旋压芯模多采用高合金工具钢来制作，其要求的高耐磨性和高强度必须通过有效的热处理手段来达到，针对这种高合金工具钢的热处理方式，一般采用整体淬火方式。这类高合金工具钢，如GCr15钢、CrWMn钢、9SiCr钢等均有高淬透性和淬硬性，同时具有高的淬火开裂风险，因此整体淬火时一般采用油冷的方式，以减缓淬火应力，防止淬火开裂情况发生。

2 问题的提出

某型号的旋压芯模，如图1所示，材质为CrWMn钢，成分见表1。技术要求旋压芯模工作部位1300mm长度处硬度为58~64HRC，非工作部位228mm长度处硬度为30~40HRC。我公司按照常规的淬火工艺，采用油冷后，工作面硬度仅能达到50~55HRC，且非工作部位的硬度又高于要求的30~40HRC，不满足使用要求。故经过分析后，采用一种新的差异化的水淬油冷工艺，以确保达到工作部

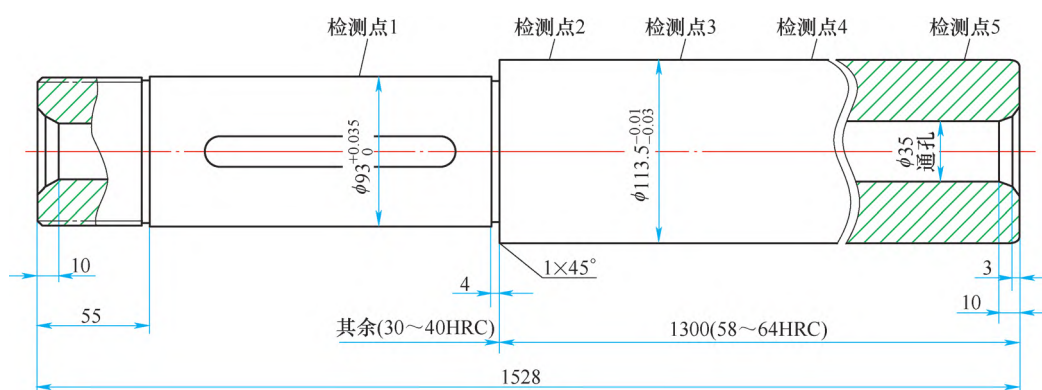


图1 CrWMn钢芯模结构

位高硬度和非工作部位低硬度的特殊要求，同时有效避免了高合金钢的开裂问题。

表1 CrWMn钢化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	Cr	W	Ni	P	S
0.96	0.30	1.01	1.13	1.44	0.20	≤0.03	≤0.03

3 问题分析

3.1 原热处理工艺及结果

对该芯模采用常规的油淬工艺，如图2所示。加热设备采用井式电阻炉，芯模垂直吊挂，以减小其淬火后的变形。

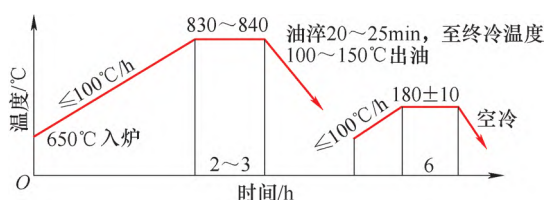


图2 原淬火工艺

该类芯模的工作部位（操作端）的硬度要求高，但非工作部位（夹持端）的硬度要求低，需控制在30~40HRC，以满足工作时夹持端拥有一定的塑韧性。当采用油冷淬火工艺时，芯模只能以垂直方式整体入油冷却，最终芯模整体会达到基本一致的硬度，这不仅无法满足图样要求芯模两个部位达到2种硬度范围的特殊要求，而且整体硬度还偏低。按原工艺进行淬火后，对芯模3条母线硬度进行检测，结果见表2。从表2可看出，淬火后芯模硬度基本一致。

3.2 结果分析

按原工艺淬火后，检测的芯模硬度均低于要求值5HRC，并且芯模的夹持端与操作端硬度基本一致，无法实现差异化的硬度要求。经过在芯模距下

表2 芯模硬度检验结果

母线 位置/(°)	检测点				
	1	2	3	4	5
	硬度HRC				
0	52	54	54	54	54
120	53	53	54	52	54
240	54	52	54	53	54

端200mm的位置切取一片纵切面的圆饼试片，厚度20mm，并在圆饼上切取20mm×20mm×20mm的小试块进行金相分析，如图3所示。

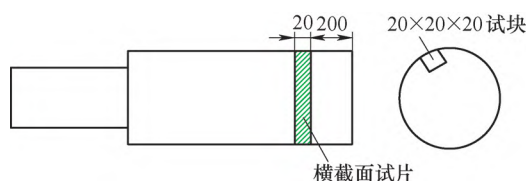


图3 金相试块取样示意

由于我公司的产品结构多样、材质繁杂，淬火油槽尺寸为 $\phi 3\text{m} \times 7\text{m}$ ，所以没有购置快速淬火油，使用32#普通机油，其最大冷却速度仅为 64.8°C/s ，淬火后金相分析发现存在较多的残留奥氏体和下贝氏体组织（见图4），这就是芯模硬度偏低的主要原因。因此必须提高冷却速度才能达到高的淬火硬度^[1]，同时为了使一根芯模出现高硬度和低硬度两个区域范围，就必须对芯模不同部位采用不同的冷

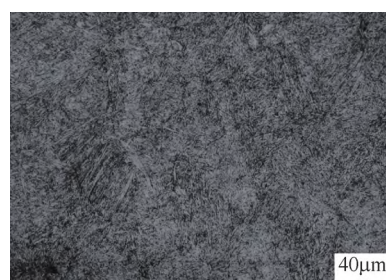


图4 原工艺油淬后的金相组织（500×）

却速度来实现。

4 水淬油冷热处理工艺

CrWMn钢的相变点分别为： $A_{c1}=750^{\circ}\text{C}$ ， $A_{cm}=940^{\circ}\text{C}$ ， $A_{r1}=710^{\circ}\text{C}$ ，根据芯模结构及材料成分制定新的水淬油冷热处理工艺，如图5所示。采用井式电阻炉，芯模垂直吊挂，入炉后以 $\leq 100^{\circ}\text{C} \times 1\text{h}$ 进行限速加热。

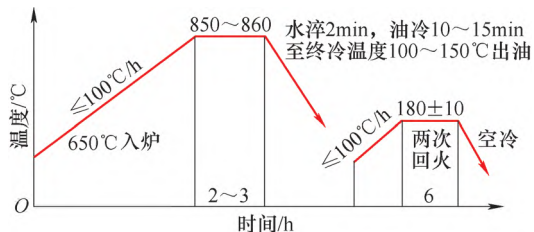


图5 水淬油冷热处理工艺

1) 为了解决原工艺造成硬度不足的问题，分析认为这是冷却速度不足的原因，因此为了提高淬火硬度，必须加快冷却速度，以增加淬火马氏体的总量^[2]。结合现场实际情况，新工艺采用了水淬油冷的工艺方式。但CrWMn这种高合金工具钢在行业内几乎没有水淬油冷的淬火经验，普遍认为其水淬开裂风险巨大。但因为此芯模结构相对简单，没有突变截面和螺孔等危险部位，水淬过程开裂风险较小，所以确定水淬时间就成为了该工艺成功的关键所在。

根据CrWMn钢的相变点选取淬火温度为850~860℃，其略偏高的淬火温度有助于合金碳化物溶入基体。按截面尺寸选取保温时间为2~3h，综合考虑，按芯模的有效截面1~1.5s/mm进行水淬时间的计算，油冷时间按有效截面10~12s/mm计算^[3]。最终工艺确定水淬时间2min，油冷时间10~15min，终冷温度按照100~150℃控制。

2) 芯模的左侧夹持端部分要求硬度30~40HRC，右侧工作部分要求硬度58~64HRC，即在同一零件上要求不同区域硬度，但由于芯模只能整体入炉加热，做不到局部加热的要求，所以只能在淬火冷却过程中采取措施。工件垂直加热时夹持端在上端，工作端在下端，淬火时工作端区域先开始入水，工作端的上端棱边即将整体没入水中，即在离水面30~40mm时停止，棱边部位可以利用工件入水后水面向上的翻腾来缓慢冷却，这样可防止因冷却过激而造成棱角开裂^[4]。在水中冷却2min的过程中，夹持端区域露在水面之上，该区域的温度略

有下降，用测温枪对夹持端测温，显示温度为780~800℃。芯模水淬2min后从水中将芯模快速转入油槽中冷却，芯模零件整体入油，夹持端区域因未水淬，所以温度略有下降，按此温度入油冷却则属于亚温淬火，可以保证与工作端区域出现明显的硬度梯度，并且在同一个温度下回火后硬度达到图样要求。淬火过程如图6所示。

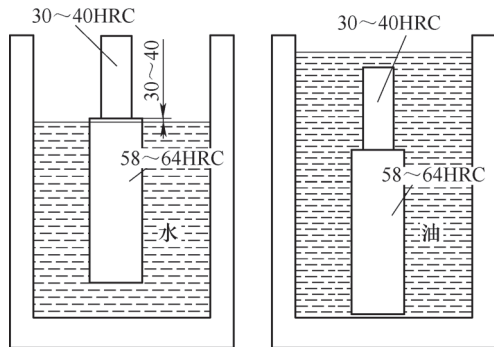


图6 水淬油冷淬火过程示意

入油淬火冷却约15min后，将芯模从油中吊出，测量其终冷温度为150℃左右，此时再利用组织尚未转变完全的时机，对芯模变形情况测量，若变形过大可直接进行校直。校直过程需迅速，保证在芯模温度 $\leq 100^{\circ}\text{C}$ 之前完成校直，否则会加大校直开裂风险^[4]。

校直结束后必须在2h内，使芯模进入电阻炉进行 $180^{\circ}\text{C} \times 8\text{h}$ 的回火，为了彻底消除应力，采用两次回火。

5 检测与分析

(1) 检测 回火结束后对芯模的8个位置（见图7）进行硬度检测，结果见表3。



图7 硬度检测位置示意

表3 最终硬度检测 (HRC)

检测点	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
硬度	35	37	38	52	59	61	60	61

切取20mm×20mm×20mm的试块（见图3），检测金相组织为隐针马氏体+弥散分布的球状碳化物，如图8所示。

(2) 结果分析 硬度检测结果显示，旋压芯模的工作部位硬度均满足技术要求。其中检测点④的

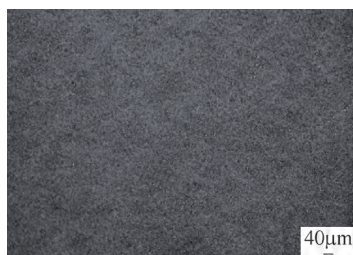


图8 芯模水淬油冷后的金相组织 (500×)

硬度略低于其余部位，这是因为在水冷过程中为防止该位置棱角开裂而预留的距离，此位置是通过水面向上的翻滚来冷却，所以冷却速度比直接在水淬的部位有所缓慢，故淬火硬度略低于其他位置。

其中，检测点①、②、③位置硬度为35~40HRC，这是因为该位置未进行水淬，而是先在空气中冷却了2min，随后转移至油槽中时，该处的温度在780~800℃，此温度下该处在油中冷却属于亚温淬火，故其淬火硬度低于工作端而只达到了35~40HRC。综上所述，芯模按此方法淬火后，再经过整体入炉回火，最终满足了芯模夹持端硬度低、工作端硬度高的特殊要求。

同时再对检测点⑧进行淬硬层深检测，结果见表4。

表4 检测点⑧淬硬层深结果

距表面的距离/mm	3	5	10	15	18	20	25	30
硬度HRC	61	61	59	58	56	45	43	40

经过淬硬层深检测发现，水淬油冷后工作端面硬度在60~61HRC，在距表面的距离≤15mm时硬度可以满足图样要求，但距表面的距离≥20mm时，硬度将会出现突降，再往中心区域硬度又基本趋于平缓，基本在40HRC左右。为了验证水淬时间对淬硬层深的影响，再制作直径与上述芯模同尺寸的试验件φ113mm×600mm，按照水淬油冷工艺方法处理，将水淬时间延长至5min，其余参数不变，经回火后在同样的位置进行淬硬层深检测，结果见表5。

表5 试验件淬硬层深检测

距表面的距离/mm	3	5	10	15	18	20	25	30
硬度HRC	62	61	60	60	59	58	52	45

对比表4与表5可知，较短的水淬时间对芯模的冷却效果有限，只有表面一定深度内的冷却速度满足马氏体转变的要求，越向心部冷却速度越低，无法达到更深的高硬度层，而延长水淬时间可适当

增加淬硬层深，但水淬时间的延长会造成较大的淬火应力，加大开裂风险，结合芯模的结构和使用要求，需谨慎选择。

6 结束语

合金工具钢的淬火一般都是选取油淬的方式进行，但对于单件小批量的产品结构，材质种类繁多，零件重量较大，所配备的淬火油槽较大，不可能采用超快淬火油，只能采用普通的机油，但因其冷却速度较慢，所以要使CrWMn合金工具钢达到较高硬度就必须选用水淬油冷工艺，本试验已成功完成多件芯模的水淬油冷热处理，同时总结出以下经验。

1) 合金工具钢可以采用水淬油冷的方式进行，其水淬时间很关键，一般按有效截面1~2s/mm进行计算，截面≥200mm时，按此计算后还需再延长水冷时间，否则会出现淬火硬度不均匀和高硬度层较浅的情况。

2) 合金工具钢水淬油冷是否开裂与芯模的结构有很大关系。芯模类零件是由于入水部位结构简单，无截面突变和孔、沿等结构，所以水冷时开裂风险相对较低。当结构复杂时，必须做好危险截面的保护措施。

3) 芯模要求左右两部分的硬度不一致，可以采用垂直淬火时水冷一部分，另一部分先预冷，之后再整体入油冷却。此种方法可使芯模左右不同部位产生较大的硬度差。

4) 水淬油冷后的芯模，表面的高硬度层会向下保持一定的层深，硬度层出现缓慢降低的趋势，同时水淬时间延长可适当增加淬硬层深，但水冷时间的延长会造成较大的淬火应力，加大开裂风险，因此还需慎重选择。

参考文献：

- [1] 郭淑玲, 彭德康. 双液淬火在GCr15热处理中的应用[J]. 机械工人(热加工), 2000(4): 32-33.
- [2] 曹明宇. 高合金工具钢热处理工艺改进的探讨[J]. 机械工人(热加工), 2004(10): 39-41.
- [3] 刘玉兰. GCr15钢模具双液淬火水冷却时间的计算[J]. 轴承, 2007(2): 46.
- [4] 郭威, 褚作明, 金康, 等. MC3钢冷轧工作辊水淬油冷工艺参数控制[J]. 金属热处理, 2016, 41(5): 137-141.