

5CrMnMo钢热锻模油淬工艺探讨

□ 安徽嘉龙锋钢刀具有限公司技术顾问 赵步青 胡会峰



赵步青 高级工程师

淬火油的特性温度高于450℃，接近于钢的奥氏体不稳定区，但油的换热系数和冷却速度比水小得多。油的沸点较高，对流阶段开始的温度比水高，因此油在低温阶段的冷却速度比较缓慢。油的冷却特性对各种合金钢淬火还是比较适合的，尽管新的淬火冷却介质层出不穷，但在模具淬火中仍占有重要份额。油作为热锻钢淬火冷却介质已有数百年历史，要使老工艺焕发青春，还有许多工作要做。

以下探讨油淬工艺，对提高热锻模使用寿命有现实意义。

1. 加热时间和保温时间

为了提高热锻模的强韧性，

近年来5CrMnMo钢热锻模淬火加热温度有走高趋势，获得以板条马氏体为主的金相组织。但多数人仍按850~860℃操作，淬火加热时间和保温时间变化较大。加热时间=升温时间+保温时间=30min/in+15~20min，此工艺节能，恰到好处，简单易行，但要灵活运用。

2. 出炉后预冷

5CrMnMo钢模具冷却的关键，是控制好空气中预冷时间

及在油中停留的时间。预冷的目的是减少淬火内应力及畸变，一般是预冷到760~800℃再淬火。同行们在实践中总结出适合本单位模具预冷时间的经验公式或图表，有一定的局限性，不能照搬，一定要验证，仅供参考。

$$t=da \quad (1)$$

式中 t ——模具的预冷时间 (s)；

d ——模具有效尺寸 (mm)；

a ——预冷系数 (s/mm)；当

$d < 200\text{mm}$ 时， a 取1~1.5s/mm；

$d \geq 200\text{mm}$ 时， a 取1.5~2.0s/mm。

预冷时间的理论依据是亚共析钢在高于 A_{r3} 温度淬入冷却介质中即可硬化，经验公式

$$t=12+rd \quad (2)$$

式中 t ——预冷时间 (s)；

r ——危险截面的厚度 (mm)，

一般指工件最薄部分；

d ——与工件有关的系数，一般取3~4s/mm。

有的厂家总结出经验：一般在边角和吊孔变暗时即入油冷却，预冷到此程度为780~800℃，迅速入油，预冷时间参照表1。

表1 热锻模淬火在空气中的预冷时间

模具尺寸	小	中	大
预冷系数/s·mm ⁻¹	1.5~2	1.5~2	1
估计时间/min	3~5	4~6	6~8

热锻模淬火用油一般控制在40~80℃，并且要循环，增强冷却效果。

3. 在油中冷却时间

热锻模油冷时间过长，吊出油槽后几乎不冒烟，此时温度已低于 M_s （约230℃）点，开裂的概率较大；吊出后立即起火，不得不吊出吊进好几次，使出油温度不一致的模具硬度不稳定，甚至达不到技术要求。显而易见，模具油淬何时出油是核心技术。热处理同仁在实践中总结出不少经验公式可以供鉴。

$$T=[(D+5)/100]^2 \times 4 \quad (3)$$

式中 T ——油冷时间（min）；

D ——模具的厚度（mm）。

$$T=[D/100+(1\sim1.2)]^2 \times 4 \quad (4)$$

经数百吨5CrMnMo钢热锻模油淬实际测量数据表明，出油温度保持在180~230℃，实际冷却时间远比式（3）计算值长，按式（4）较切合实际，试验数据见表2。

用式（4）计算时，在特定的淬火条件下，某些规格的热锻模淬火油冷时间还是比较适合的。该公式仅以模具厚度作为计算依据，不同规格尺寸模具的厚度与其长度及宽度的比值，有时会相差甚远，而且该公式忽略了诸多条件对油冷速度的影响，所以对于那些相对厚度较大和较小的热锻模，以及环境条件差别较大的具体情况，计算出来的结果与实际所需的冷却时间悬殊较大，后来有人根据实践得出比较适用的油冷公式：

$$T=aV/F \quad (5)$$

式中 T ——热锻模油冷时间（min）；

V ——热锻模的体积（mm³）；

F ——热锻模的表面积（mm²）；

a ——冷却系数（min/mm）。

冷却系数 a 随油的种类、成分比例、循环条件、模具入油方式以及预冷程度等环境条件而改变，如果环境条件无大变化，则 a 为常数。

从式（5）可以看出，模具的体积越大，热容量越大，则油冷的时间就越长；模具的表面积越大，散热面越宽，则油冷的时间就短；冷却系数 a 值反映环境条件对油冷时间的影响。因此式（5）较全面地反映了模具淬火油冷实际所需的时间。

为了较准确计算油冷时间，必须了解影响冷却系数的因素。

（1）模具淬火温度和预冷的影响 模具淬火温度不同，其所蓄的热量有别，油冷时间也不同，通过公式中的 a 反映出来，即 a 也不同。模具入油的温度越高，

热容量越大，则 a 值越大，反之 a 值越小。不少单位处理5CrMnMo钢热模时，往往先预冷几分钟再淬油。毫无疑问，预冷的时间越长越充分（必须高于760℃），散失的热量越多，所需的油冷时间越短，冷却系数 a 越小，反之 a 增大。

（2）油的影响 不同的淬火油其特性是不一样的，其冷却速度也是不同的，模具的冷却时间肯定也不同，在式（5）里同样可从冷却系数 a 的变化反映出来。

若油的冷却速度快， a 值则小，计算出来的 T 时间就短些，若油的冷却速度慢， a 值增大，结果 T 就长些，油的循环条件不同，冷却系数 a 值也跟着变化。油的实际温度对冷却系数也有影响。

（3）模具入油方式的影响 有的单位把模具全部浸入油槽，冷却结束后吊出回火；更多的单位为了减少模具燕尾复杂的

表2 不同厚度的5CrMnMo钢制模具油冷时间及其效果

模具厚度 /mm	取不同系数的油冷时间计算值 /min				实际油冷时间 /min	出油后模温 /℃
	T50	T100	T120	T150		
120	11.6	19.4	23	29.2	20	206
140	15	23	27	33.6	30	190
150	16	25	29	36	25	204
160	17.6	27	31.4	38.4	34	193
190	23	33.6	38.4	46.2	25	270
190	23	33.6	38.4	46.2	35	214
200	25	36	40.9	49	53	236
210	27	38.4	43.6	51.8	40	234
245	34.8	47.6	53.3	62.4	55	218
250	36	49	54.7	64	55	257
275	42.3	56.3	62.4	72.3	60	237
280	44	58	64	74	60	230
300	49	64	70.6	81	65	180
350	64	8.1	88.4	100	80	220
380	74	92.2	100	112.4	87	203
400	81	100	108	121	90	190



回火工序，在冷却过程中把燕尾提出油面，使其自回火。前者全部闷在油中冷却，后者下部在油中冷却，上部在空气中冷却。显然前者冷得快，冷却系数 a 要小些，后者冷得慢， a 值应取大些。总之，模具实际所需的冷却时间受许多客观因素的影响。

前已述及各种客观因素对冷却系数 a 的影响，似乎 a 值是一个捉摸不透的变量，冷却时间无法定论。其实不然，虽然各个厂淬火环境不尽相同，冷却系数 a 肯定有别，但每个厂都有自己的生产环境和稳定的工艺流程，因此需控制好各主要的影响因素，使之稳定，这时的 a 值几乎没有什么变化，是一个常数，运用式(5)求出这个常数，估算出模具在油中的冷却时间。有人对预冷至800℃入油计算出系数 $a=0.32\text{min/mm}$ 。

4. 应用实例

某公司生产的中、小型5CrMnMo钢热锻模，盐浴热处理工艺为：600℃预热→860℃加热→预冷至800℃入油→油冷至220~250℃出油→300℃等温→440℃回火，冷却油为50%柴油+50%L-

AN32全损耗系统用油。回火后模具硬度40~45HRC。不同规格模具油冷时间见表3，不同公式计算的油冷时间见表4。

5. 用经验法估算模具在油中的冷却时间

上述几列公式均要经过测算，确定在油中的冷却时间，对于承接外加工的专业热处理厂，实施起来很困难，有经验的热处理师傅往往根据模具的质量及其形状等客观现实，比较准确地估算出油冷的时间，判断的依据是模具出油时的表面温度，表现在出油后 x 秒钟起火。此法说起来有点悬乎，但只要认真总结，反复试验就会自然呈现。经验公式不具有普遍性，因为经验公式都是在某个固定环境中得出的近似数据。我们应具体情况具体分析，但只要解决本单位的实际问题，为企业创造效益，你就是胜利者。

6. 模具油淬火还能走多远？

尽管油淬火在工模具热处理中广泛运用，也有一些优点，但缺点也十分突出，主要表现在以

下四点。

(1) 污染环境。我国每年有上万吨油被淬火件带走，污染水域，约有9000t油的蒸气或油烟排入大气。

(2) 安全性差，存在着火灾隐患。

(3) 随着使用时间的延长，油的冷却性能变差，老化现象实属难免。

(4) 对油槽的维护保养比较严格，那怕是微量的水也会对油的冷却性能有显著影响，并常使工件淬裂。

另外，废油的处理再生也是一笔不小的资金支出。随着国家抓环境净化力度的加大，以及人们生存质量的提高，笔者建议工模具淬火应尽快淘汰油，淬火不用油或少用油是大势所趋，人心所向。

工模具淬火不用油可行吗？回答是肯定的。中小型模具可以用硝盐，可以分级淬火也可以等温淬火，最后仍在硝盐中回火。硝盐淬火工艺比较成熟，淬火质量比油淬优越，国内外很多企业已成功应用。

近期开发的新型聚合物：安全淬火冷却介质将成为油的替代品。德国福斯油品集团开发了新一代含聚合物的淬火油，来代替与含PVP聚合物类似品质的淬火油产品。这种新型的聚合物消除了之前PVP产品的缺点。测试结果表明本系列产品弥补了水溶性PAG产品的冷却性能与高性能淬火油之间的空缺，该产品可以在浓度5%~7%的情况下处理高合金材料。其积极的作用包括大大降低聚合物的沉淀，降低析出损

表3 不同规格5CrMnMo钢热锻模油冷时间

模具尺寸 /mm	计算的油冷时间 /min		实际油冷时间 /min	模具尺寸 /mm	计算的油冷时间 /min		实际油冷时间 /min
	厚度法	aV/F法			厚度法	aV/F法	
350×350×250	49	16.5	16.5	415×405×230	43.6	17.3	17.5
460×460×256	50.7	19.4	19.5	360×350×230	43.6	16	16
458×456×256	50.7	19.3	19.5	310×310×230	43.6	14.8	15
710×550×250	49	22.1	22	360×360×210	38.4	15.5	15.5
560×500×265	53.3	21.2	21	360×360×230	43.6	16.2	16
560×556×200	36	18.6	18.5	360×360×220	41	15.8	16
555×555×250	49	21	21	415×405×240	46.2	17.7	17.5
560×560×230	43.6	20.2	20	415×405×260	51.8	18.3	18.5
458×458×256	50.7	19.3	19.5	453×453×260	51.8	19.4	19.5
456×450×210	38.4	17.5	17.5	420×410×255	50.4	18.3	18.5
560×560×200	36	18.7	18.5	560×560×360	84.6	25.2	25

注：1. 厚度法用公式 $T=[(D+5)/100]^2 \times 4$ 计算，圆括号里数字取1；
2. aV/F法中的a值取0.32min/mm；
3. 模具在800℃保温1h，冷却过程中把燕尾提出油面。

表4 不同公式计算热锻模油冷时间 (min)

计算公式	模具尺寸/mm 350×350×250 油冷时间	正方形模具尺寸/mm 200×200×200 油冷时间	备注
$T=[h/100+(1\sim1.2)]^2 \times 4$	49	36.2	出油温度200℃左右
$T=1.12V/S$	57.8	37.2	静置油取1.12，搅拌油取1.28，出油温度90～130℃
$T=0.32 V/S$	16.5	10.6	出油温度220～250℃
$T=(h/40)^2+ (a-b)/40 (a+b)$	43.4	27.5	适用于小模具油中分级，再等温处理

注：1. a、b、h分别为模具的长、宽、高，V为模体积，S为模具表面积。
2. 施行的热处理工艺：600℃×5h，850℃×6～7h，800℃×1h，淬火用质量分数为50%柴油+50%L-AN32全损耗系统用油。油冷时间按公式 $t=0.32V/S$ 计算为好，然后保证出油温度为220～250℃，300℃×2h等温，440℃×10～14h回火，空冷，模具硬度40～45HRC。
3. 650℃预热，860℃加热，出炉预冷至800℃入油淬火，油温40～80℃，模具出油时的表面温度为90～130℃，出油后立即进行440～480℃回火处理，而不进行等温处理的模具，油冷时间可按公式 $T=1.12V/S$ 计算为宜。

耗，同时为客户节约大量成本，甚至不同的浓度，还可适用于工具钢。

2015年6月在南京召开的“第六届先进节能热处理与装备”研讨会上，辽宁和兴热科技有限公司田宏副总经理介绍了该公司HX-2000

型无机水基淬火剂，安全、无色、无味、无沉淀、无结晶、环保、不老化、不可燃、无环境污染，是淬火油的替代品。深信这种新型的淬火冷却介质不久将在工模具淬火中得到广泛应用，结束纯油淬火的日子已为期不远。 MW

作者简介：赵步青，高级工程师，安徽嘉龙锋钢刀具有限公司技术顾问，主要从事工模具热处理技术，发表论文230余篇，出版专著4部，参编图书2部。