

模具材料及性能检测

何军拥 主讲

学习情境 5

模具选材的工艺性要求

教学情境 5：模具选材的工艺性要求

§5 — 1 模具材料的工艺性能

§4 — 2 常用模具材料的工艺性能

§5 — 1 模具材料的工艺性能

❖ 在模具生产成本中，材料费用只占 15 %

左右，而机械加工、热处理、装配和管理等费用占 80 % 以上。所以，模具材料的工

艺性能就成为影响模具生产成本和制造难易的主要因素之一。

❖ **(1) 可加工性** 钢材的可加工性主要包括切削、磨削、抛光、冷拔等加工性和锻压加工性等。模具钢大多属于过共析钢和莱氏体钢，热加工性能和冷加工性能都不太好，必须严格控制热加工和冷加工的工艺参数。近年来为改善钢的切削加工性，在钢中加入易切削元素或改变钢中夹杂物的分布状态，从而提高模具表面质量和减少刀具的磨损。

❖ 随着电子技术的发展，数控机床和加工中心乃至计算机控制技术的广泛运用，模具钢除应具有良好的切削加工性外，还要有良好的镜面抛光性能、电加工性能以及压印翻模加工性能等。

❖ **（2）淬硬性和淬透性** 淬硬性主要取决于钢的碳含量，淬透性主要取决于钢的化学成分和淬火前钢的原始组织。模具对这两种性能的要求根据其服役条件不同各有侧重，对于要求整个截面有均匀一致性能的模具，如热作模具、塑料模具，则高的淬透性显得更重要些；而对于只要求有高硬度的小型冷作模具，如冲裁落料模具，则更偏重于高的淬硬性。

❖ （3）淬火温度和热处理变形

为了便于生产，要求模具钢的淬火温度范围尽可能宽些，特别是当模具采用火焰加热局部淬火时，要求模具钢有更宽的淬火温度范围。除部分采用预硬型钢制作的模具外，绝大多数模具是在切削加工后，通过热处理而获得所需的组织和性能。因此要求淬火时尺寸变化小，各向具有相近似的变化，且组织稳定。

❖ (4) 脱碳敏感性

模具钢在锻造、退火或淬火时，若在无保护气氛下加热，其表面层会产生脱碳等缺陷，而使模具的耐用度下降。脱碳敏感性主要取决于钢的化学成分，特别是碳含量。在钢中 $W_{Si}=0.8\% \sim 1.0\%$ ，会加剧脱碳。

§5 — 2 常用模具材料的工艺性能

❖ (1) 碳素工具钢

优点：便宜、易于锻造成形，切削加工性能也比较好。

❖ 缺点：淬透性差，变形开裂倾向大，耐磨性和热强性较低。

❖ 1. 常用碳素工具钢的牌号 T7A、T8A、T10A、T12A 等。

❖

3. 工艺性能

(1) 锻造性能 碳素工具钢的热变形抗力低，锻造温度范围宽，锻造工艺性好。

(2) 退火和正火 经锻造后的碳素工具钢模具毛坯需进行退火处理，使其具有良好的工艺性能，为切削加工和淬火做好组织准备。

表 2 碳素工具钢的淬火、回火工艺

钢号	淬 火			回 火		
	加热温度 /℃	淬火介质	硬度 HRC	加热温度/℃	保温时间/h	硬度 HRC
T7	730—800	盐或碱的水溶液	62—64	140—160 160—180	1—2	62—64 58—61
	800—820	油或碱盐	59—61	180—200	1—2	56—60
T8	760—770	盐或碱的水溶液	63—65	140—160 160—180	1—2	60—62 58—61
	780—790	油或碱盐	60—62	180—200	1—2	56—60
T10	770—790	盐或碱的水溶液	63—65	140—160 160—180	1—2	62—64 60—62
	790—810	油或碱盐	61—62	180—200	1—2	59—61
T12	770—790	盐或碱的水溶液	63—65	140—160 160—180	1—2	62—64 61—63
	790—810	油或碱盐	61—62	180—200	1—2	60—62

❖ (2) 油淬冷作模具钢

油淬冷作模具钢：在碳素工具钢的基础上加入适量的 **Cr**、**Mo**、**W**、**V**、**Si**、**Mn** 等合金元素。

❖ 目的：以提高钢的淬透性、力学性能和回火稳定性。

❖ 特点：具有高的硬度、中等的淬透性，其中 **CrWMn** 钢的淬透性优于 **9Mn2V** 等钢，而 **9Mn2V** 钢能在较低的温度下淬硬，其淬火变形会稍小一些。

❖ 常用的油淬冷作模具钢：**CrWMn**、**9CrWMn**、**9Mn2V**、**MnCrWV** 钢等。

1. CrWMn 钢

(1) 力学性能 具有较高的硬度和耐磨性、较好的韧性并能减小过热敏感性、淬火变形较小。

❖ (2). 工艺性能

❖ (a) 锻造工艺 始锻温度 $1100 \sim 1140^{\circ}\text{C}$ ，终锻温度 $800 \sim 850^{\circ}\text{C}$ 。锻后要空冷到 $650 \sim 700^{\circ}\text{C}$ 再转入热灰中缓冷。

❖ (b) 退火工艺 CrWMn 钢锻后均需等温球化退火，退火加热温度 $790 \sim 830^{\circ}\text{C}$ ，等温温度 $700 \sim 720^{\circ}\text{C}$ ，退火后的组织比较均匀，退火硬度约为 $255 \sim 207 \text{ HBS}$ 。

❖ (c) 淬火工艺 淬火加热温度 $820 \sim 840^{\circ}\text{C}$ ，油淬硬度为 $63 \sim 65 \text{ HRC}$ ，直径 $40 \sim 50 \text{ mm}$ 的钢件油中可以淬透。CrWMn 钢经 860°C 加热、 280°C 等温淬火后，强韧性明显提高。

❖ (d) 回火工艺 回火温度 200°C ，回火硬度 $60 \sim 62 \text{ HRC}$ 。

❖ 3. 应用范围 轻载冲裁模具、轻载拉深模具和弯曲翻边模具。

❖ 2. 9Mn2V 钢

❖ 特点： 9Mn2V 钢是利用我国丰富的锰、钒资源研制出来的不含铬的冷作模具钢；

❖ 锰的质量分数高达 1.70 %— 2.00 %；

❖ 钢的淬透性好。

❖ 缺点： 回火稳定性较差，几乎与碳素工具钢相近。

❖ 工艺性能

❖ (a) 锻造工艺 始锻温度 1130 ~ 1160℃，终锻温度 $\geq 800^{\circ}\text{C}$ ，空冷到 650 ~ 700℃，再缓冷。

❖ (b) 退火工艺 加热温度 750 ~ 770℃，保温 3 ~ 5h，等温温度 680 ~ 700℃，保温 4 ~ 6h。

❖ (c) 淬火工艺 淬火温度 780 ~ 820℃，油冷，硬度 62HRC 以上，热处理变形较小。

❖ (d) 回火工艺 回火温度 150 ~ 200℃，空冷，硬度 60 ~ 62HRC，回火温度在 200 ~ 300℃，有回火脆性及显著的体积膨胀，应设法预防。

❖ 应用： 适于制造一般要求的尺寸较小的冷冲模、冷压模、雕刻模、落料模等。

❖ 3. 9SiCr 钢

❖ 9SiCr 钢是一种专用刃具钢，也可用来制造机床附件和冷作模具，如打印模、滚齿模、搓丝板、冷冲模等，目前正逐步应用到载荷较大的模具，部分取代 Cr12 钢。

❖ 工艺性能

❖ (a) 锻造工艺 始锻温度 $1050 \sim 1100^{\circ}\text{C}$ ，终锻温度 $850 \sim 800^{\circ}\text{C}$ ，锻后缓冷；

❖ (b) 退火工艺 加热温度 $780 \sim 810^{\circ}\text{C}$ ，保温 $2 \sim 4\text{h}$ ；等温温度 $680 \sim 720^{\circ}\text{C}$ ，保温 $4 \sim 6\text{h}$ ；

❖ (c) 淬火工艺 淬火温度 $860 \sim 880^{\circ}\text{C}$ ，油冷，硬度 $62 \sim 65\text{HRC}$ ，可采用分级或等温淬火；

❖ (d) 回火工艺 回火温度 $180 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ，硬度 $60 \sim 62\text{HRC}$ ，在 250°C 回火脆性，应避免在此温度范围回火。

❖ 应用范围

❖ 适于制造冷冲模和打印模等。如用 9SiCr 钢制造的螺栓十字槽冲模，经 900°C ， $260 \sim 280^{\circ}\text{C}$ 等温 30min ，则硬度为 $57 \sim 59\text{HRC}$ ，强韧性好，使用寿命比经常规处理的冲模提高 3 倍。

❖ 4. 6CrNiSiMnMoV(GD) 钢

❖ 特点: GD 钢是一种碳化物偏析小而淬透性高的高强韧钢。

❖ 工艺性能

❖ (a) 锻造工艺 GD 钢的碳化物偏析小, 下料后可直接使用。若需改锻, 锻造性能好, GD 钢锻造温度区间宽, 可以一次成形, 成材率可达 80 % 以上。其加热温度 $1080 \sim 1120^{\circ}\text{C}$, 始锻温度 $1040 \sim 1060^{\circ}\text{C}$, 终锻温度 $\geq 850^{\circ}\text{C}$ 。

❖ (b) 退火工艺 加热到 $760 \sim 780^{\circ}\text{C}$, 保温 2h, 然后以 30°C/h 的速度冷到 680°C , 再保温 6h, 炉冷到 550°C 出炉空冷。

❖ (c) 淬火及回火 淬火温度 $870 \sim 930^{\circ}\text{C}$, 以 900°C 最佳, 盐浴炉加热, 加热系数为 45s/mm , 可油淬、空冷或风冷。回火温度为 $175 \sim 230^{\circ}\text{C}$, 回火硬度为 $58 \sim 62\text{HRC}$ 。

❖ 3 应用范围 可代替 CrWMn、Cr12 型、GCr15、6CrW2Si、9SiCr、9Mn2V 等钢制作各种类型的易崩刃、易断裂的冷作模具, 如冷挤模、冷弯模、冷镦模、精密塑料模、温热挤压模等, 另外, 应用于火焰淬火模具也已

❖ 5. Cr5MoIV 钢

❖ **特点：**具有较好的淬透性、较高的耐磨性和较小的热处理变形。

❖ **工艺性能**

在 950℃ 空淬： 50mm×152mm×254 mm 的工件淬硬到 62 ~ 65HRC 。 Cr5MoIV 钢的退火加热温度为 840 ~ 860℃ ， 等温温度为 740 ~ 760℃ ， 退火硬度为 202 ~ 229HBS 。

❖ **应用范围** 用于制造重负荷、高精度的冷作模具。

❖ 6. Cr6WV 钢

- ❖ **特点：** Cr6Wv 钢淬火变形小，淬透性好，具有较好的耐磨性和一定的韧性。
- ❖ **工艺性能** 淬火温度为 960—980℃，油淬硬度高于 60HRC₀
- ❖ **应用范围** 用于制造大批量生产薄板和中等厚度板料零件的大型冲模，也可用于制造小型精冲模、中等载荷冷挤压凸模。

钢 号	低温淬火温度	高温淬火温度/	临界点	淬火硬度 HRC ₀
Cr5Mo1V ₀	940—960 ₀	980—1010 ₀	168 ₀	63—65 ₀
Cr6WV ₀	950—970 ₀	990—1010 ₀	150 ₀	62—64 ₀
Cr4W2MoV ₀	960—970 ₀	1020—1040 ₀	142 ₀	≥62 ₀
Cr2Mn2SiWMoV ₀	840 — 860 ₀		190 ₀	60 — 63 ₀
8Cr2MnWMoVS ₀	860—920 ₀		220 ₀	62—65 ₀

❖ 5CrNiMo 钢

❖ 5CrNiMo 钢的热加工工艺

项目	加热温度 /℃	开始温度 /℃	终止温度 /℃	冷却
钢锭	1140~1180	1100~1150	880~800	缓冷（坑或砂冷）
钢坯	1100~1150	1050~1100	850~800	缓冷（坑或砂冷）

- ❖ 5CrNiMo 钢在空气中冷却既能淬硬，并易形成白点，因此，锻造以后应缓慢冷却。对于大型锻件，必须放到加热至 600℃ 的炉中，待其温度一致以后，再缓慢冷却到 150 ~ 200℃，然后在空气中冷却。对于较大的锻件，建议在冷却到 150 ~ 200℃ 以后，立即进行回火加热。

❖ 实际应用

- ❖ **5CrNiMo** 是目前国内用量较大的锻模钢，通用性强，大、中、小型模块，深、浅型槽的模块均用 **5CrNiMo**。由于新钢种的研制成功，**5CrNiMo** 应用范围在逐渐缩小。由于该钢淬透性好，更适合用于大批量生产的大、中型模块。
- ❖ **5CrNiMo** 模块因淬火出油温度低，容易开裂，实际操作时为避免开裂，常于 **200℃** 左右即出油，这样，在模具表面虽获得了一层马氏体组织，但心部却仍处于奥氏体状态，当模块于 **380 ~ 450℃** 回火时，心部的过冷奥氏体即转变为上贝氏体组织，冲击韧度极差，模具寿命很低。
- ❖ 为了提高热锻模使用寿命，可采用等温处理方法，即淬火加热后，将模具于 **160 ~ 180℃** 硝盐中分级停留，使发生部分马氏体转变，然后再转入 **280 ~ 300℃** 硝盐中等温停留 **2 ~ 3 h**；或先将模具放入 **150℃** 油中，再转入 **280 ~ 300℃** 硝盐中停留 **2 ~ 3 h**。此时，模具钢的组织由马氏体 + 下贝氏体 + 少量残余碳化物组成，回火后获得回火下贝氏体组织，模具寿命明显提高。
- ❖ 对 **5CrNiMo** 锻模采用 **150℃** 出油，再进入 **300℃** 硝盐中等温 **3 h**，使用寿命可提高 **20 % ~ 50 %**。

❖ 5CrMnMo 钢

- ❖ 此钢与 5CrNiMo 的各种性能相类似，由于考虑我国资源情况，为节约镍而以锰代镍研制的。使用中发现，此钢淬透性不如 5CrNiMo，在高温下工作时，其热疲劳性能也较差。此钢对 3 t 锤以下的浅型槽中小型锻模使用效果还可以，但对大截面或深型槽锻模，其使用寿命很低。

❖ 工艺性能

❖ (1) 锻造

- ❖ 钢坯锻造加热温度 1 100 ~ 1 150℃，开锻温度 1 050 ~ 1 100℃，终锻温度 800 ~ 850℃、锻后缓冷 (坑冷或砂冷)，注意防止模具开裂。

❖ (2) 退火

- ❖ 等温退火加热温度 850 ~ 870℃，等温温度 680℃，退火硬度 197 ~ 241 HBS。

❖ (3) 淬火

- ❖ 加热温度 840 ~ 860℃ 油淬，冷到 150 ~ 180℃ 左右出油并立即回火。为减少变形及开裂，淬火时最好延时冷却，可空冷到 740 ~ 780℃，然后入油。

❖ (4) 回火

❖ 实际应用

- ❖ 与 5CrNiMo 比较，该钢淬透性及韧性均较低，因此，只适用于制造要求较高强度和耐磨性，而韧性要求不甚高时的各种中、小型锤锻模具及部分压力机模块，也可用于工作温度低于 500℃ 的其他小型热作模具。

❖ 4Cr5MoSiV(H11) 钢

- ❖ **4Cr5MoSiV** 钢是一种空冷硬化的热作模具钢。该钢在中温条件下具有很好的韧性，较好的热强度、热疲劳性能和一定的耐磨性，在较低的奥氏体化温度条件下进行空淬，热处理变形小，空淬时产生氧化铁皮的倾向小，而且可以抵抗熔融铝的冲蚀作用。该钢通常用于制造铝铸件用的压铸模、热挤压模和穿孔用的工具和芯棒、压力机锻模、塑料模等。此外，由于该钢具有好的中温强度，亦被用于制造飞机，火箭等耐 **400 ~ 500℃** 工作温度的结构件。

❖ 4Cr5MoSiV 钢的热加工工艺示表

项目	加热温度 /℃	开锻温度 /℃	终锻温度 /℃	冷却方式
钢锭	1140 ~ 1180	1100 ~ 1150	≥900	砂冷或坑冷
钢坯	1120 ~ 1150	1070 ~ 1100	900 ~ 850	砂冷或坑冷

结束