

## 模具的力学性能要求--常规力学性能

模具材料的性能是由模具材料的成分和热处理后的组织所决定的。模具钢的基本组织是由马氏体基体以及在基体上分布着的碳化物和金属间化合物等构成。

模具钢的性能应该满足某种模具完成额定工作量所具备的性能，但因各类模具使用条件及所完成的额定工作量指标均不相同，故对模具性能要求也不同。又由于不同钢的化学成分和组织对各种性能的影响不同，即使同一牌号的钢也不可能同时获得各种性能的最佳值，一般某些性能的改善会损失其他的性能。因而，模具工作者常根据模具工作条件及工作定额要求选用模具钢及最佳处理工艺，使之达到主要性能最优，而其他性能损失最小的目的。

对各类模具钢提出的性能要求主要包括：硬度、强度、塑性和韧性等。

### 模具的力学性能要求--硬度

硬度表征了钢对变形和接触应力的抗力。测硬度的试样易于制备，车间、试验室一般都配备有硬度计，因此，硬度是很轻易测定的一种性能，而且硬度与强度也有一定关系，可通过硬度强度换算关系得到材料硬度值。按硬度范围规定的模具种别，如高硬度（52~60HRC），一般用于冷作模具，中等硬度（40~52HRC），一般用于热作模具。

钢的硬度与成分和组织均有密切关系，通过热处理，可以获得很宽的硬度变化范围。如新型模具钢 012AI 和 CG-2 可分别采用低温回火处理后硬度为 60~62HRC，采用高温回火处理后硬度为 50~52HRC，因此可用来制作硬度要求不同的冷、热作模具。因而这类模具钢可称为冷作、热作兼用型模具钢。

模具钢中除马氏体基体外，还存在更高硬度的其他相，如碳化物、金属间化合物等。

相 硬度 HV

铁素体 约 100

马氏体： $\omega$  C 0.2% 约 530

马氏体： $\omega$  C 0.4% 约 560

马氏体： $\omega$  C 0.6% 约 920

马氏体： $\omega$  C 0.8% 约 980

渗碳体(Fe<sub>3</sub>C) 850~1100

氮化物 1000~3000

金属间化合物 500

模具钢的硬度主要取决于马氏体中溶解的碳量（或含氮量），马氏体中的含碳量取决于奥氏体化温度和时间。当温度和时间增加时，马氏体中的含碳量增多马氏体硬度会增加，但淬火加热温度过高会使奥氏体晶粒增大，淬火后残留奥氏体量增多，又会导致硬度下降。因此，为选择最佳淬火温度，通常要先作出该钢的淬火温度—晶粒度—硬度关系曲线。

马氏体中的含碳量在一定程度上与钢的合金化程度有关，尤其当回火时表现更明显。随回火温度的增高，马氏体中的含碳量在减少，但当钢中合金含量越高时，由于弥散的合金碳化物析出及残留奥氏体向马氏体的转变，所发生的二次硬化效应越明显，硬化峰值越高。

常用硬度丈量方法有以下几种：

1.洛氏硬度（HR）是最常用的一种硬度丈量法，丈量简便、迅速，数值可以从表盘上直接选出。洛氏硬度常用三种刻度，即 HRC、HRA、HRB。

硬度符号 硬度头规格 试验力/L 应用范围

HRC 120°金刚石圆锥 1471 20~70

HRA 120°金刚石圆锥 588.4 20~88

HRB  $\phi$ 1.588mm 钢球 980.6 20~100

2.布氏硬度 (HB) 用淬火钢球作硬度头, 加上一定试验力压入工件表面, 试验力卸掉以后丈量压痕直径大小, 再查表或计算, 使得出相应的布氏硬度值 HB。

布氏硬度测试主要用于退火、正火、调质等模具钢的硬度测定。

3.维氏硬度 (HV) 采用的压头是具有正方形底面的金刚石角锥体, 锥体相对两面间的夹角为 136°, 硬度值即是试验力 F 与压痕表面积之比值。

此法可以测试任何金属材料的硬度, 但最常用于测定显微硬度, 即金属内部不同组织的硬度。

三种硬度大致有如下的关系:  $HRC \approx 1/10HB$ ,  $HV \approx HB$  (当  $< 400HBS$  时)

模具的力学性能要求--强度

强度即钢材在服役过程中, 抵抗变形和断裂的能力。对于模具来说则是整个型面或各个部位在服役过程中抵抗拉伸力、压缩力、弯曲力、扭转力或综协力的能力。

衡量钢材强度常用的方法是进行拉伸试验。拉伸试验是在拉伸试验机上进行的, 试棒需按规定的标准制备, 拉伸过程中在记录纸上绘出拉伸力 F 与伸长量  $\Delta L$  之间的关系图, 即所谓的拉伸曲线图, 分析拉伸曲线图就可以得出金属的强度指标。对于在压缩条件下工作的模具, 还经常给出抗压强度。

对于模具钢, 特别是含碳量高的冷作模具钢, 因塑性很差, 一般不用抗拉强度而是以抗弯强度作为实用指标。抗弯试验甚至对极脆的材料也能反映出一定的塑性。而且, 弯曲试验产生的应力状态与很多模具工作表面产生的应力状态极相似, 能比较精确地反映出材料的成分及组织因素对性能的影响。

在拉伸曲线图上有一个特殊点, 当拉力到达这一点时, 试棒在拉力不增加或有所下降情况下发生明显伸长变形, 这种现象称为屈服。这时的应力称为这种材料的屈服点。而当外力往除后不能恢复原状的变形, 这部分变形被保存下来, 成为永久变形, 称为塑性变形。屈服点是衡量模具钢塑性变形抗力的指标, 也是最常用的强度指标。对模具材料要求具有高的屈服强度, 假如模具产生了塑性变形, 那么模具加工出来的零件尺寸和外形就会发生变化, 产生废品, 模具也就失效了。

模具的力学性能要求--塑性

淬硬的模具钢塑性较差, 尤其是冷变形模具钢, 在很小的塑性变形时即发生脆断。衡量模具钢塑性好坏, 通常采用断后伸长率和断面收缩率两个指标表示。

断后伸长率是指拉伸试样拉断以后长度增加的相对百分数, 以  $\delta$  表示。断后伸长率  $\delta$  数值越大, 表明钢材塑性越好。热模钢的塑性明显高于冷模钢。

断面收缩率是指拉伸试棒经拉伸变形和拉断以后, 断裂部分截面的缩小量与原始截面之比, 以  $\psi$  表示。塑性材料拉断以后有明显的缩颈, 所以  $\psi$  值较大。而脆性材料拉断后, 截面几乎没有缩小, 即没有缩颈产生,  $\psi$  值很小, 说明塑性很差。

### 模具的力学性能要求--韧性

韧性是模具钢的一种重要性能指标，韧性决定了材料在冲击试验力作用下对破裂的抗断能力。材料的韧性越高，脆断的危险性越小，热疲惫强度也越高。对于衡量模具脆断倾向，冲击韧性试验具有重要意义。

冲击韧性是指冲击试样缺口处截面积上的冲击吸收功，而冲击吸收功是指规定外形和尺寸的试样在冲击试验力一次作用下折断时所吸收的功。冲击试验有夏比 U 形缺口冲击试验（试样开成 U 形缺口）、夏比 V 形缺口冲击试验（试样开成 V 形缺口）以及艾式冲击试验。

影响冲击韧性的因素很多。不同材质的模具钢冲击韧性相差很大，即使同一种材料，因组织状态不同、晶粒大小不同、内应力状态不同冲击韧性也不相同。通常是晶粒越粗大，碳化物偏析越严重（带状、网状等），马氏体组织越粗大等都会促使钢材变脆。温度不同，冲击韧性也不相同。一般情况是温度越高冲击韧性值越高，而有的钢常温下韧性很好，当温度下降到零下 20~40℃时会变成脆性钢。

为了进步钢的韧性，必须采取公道的铸造及热处理工艺。铸造时应使碳化物尽量打碎，并减少或消除碳化物偏析，热处理淬火时防止晶粒过于长大，冷却速度不要过高，以防内应力产生。模具使用前或使用过程中应采取一些措施减少内应力。

### 模具的力学性能要求--热稳定性

热稳定性表征钢在受热过程中保持金相组织和性能的稳定能力。通常，钢的热稳定性用回火保温 4h，硬度降到 45HRC 时的最高加热温度表示。这种方法与材料的原始硬度有关，有资料将达到预定强度级别的钢加热，保温 2h，使硬度降到一般热锻模失效硬度 35HRC 的最高加热温度定为该钢热稳定性指标。对于因耐热性不足而堆积塌陷失效的热作模具，可以根据热稳定性猜测模具的寿命水平。

### 模具的力学性能要求--回火稳定性

回火稳定性指随回火温度升高，材料的强度和硬度下降快慢的程度，也称回火抗力或抗回火软化能力。通常以钢的回火温度-硬度曲线来表示，硬度下降慢则表示回火稳定性高或回火抗力大。回火稳定性也是与回火时组织变化相联系的，它与钢的热稳定性共同表征钢在高温下的组织稳定性程度，表征模具在高温下的变形抗力。

### 模具的力学性能要求-- 热疲惫抗力及断裂韧性

热疲惫抗力表征了材料热疲惫裂纹萌生前的工作寿命和萌生后的扩展速率。热疲惫通常以 20℃—750℃条件下反复加热冷却时所发生裂纹的循环次数或当循环一定次数后测定裂纹长度来确定。热疲惫抗力高的材料不易发生热疲惫裂纹，或当裂纹萌生后，扩展量小、扩展缓慢。断裂韧性则表征了裂纹失稳扩展抗力，断裂韧度高，则裂纹不易发生失稳扩展。

### 模具的力学性能要求-- 高温磨损与抗氧化性能

高温磨损是热作模具主要失效形式之一，正常情况下，绝大多数锤锻模及压力机模具都因磨损而失效。抗热磨损是对热作模具的使用性能的要求，是多种高温力学性能的综合体现。现在国内已有单位在自制的热磨损机上进行模具热磨损试验，收到较理想的试验效果。

实际使用表明，模具材料抗氧化性能的优劣，对模具使用寿命影响很大。因氧化会加剧模具工作过程中的磨损，导致模具型腔尺寸超差而报废。氧化还会使模具表面产生腐蚀沟，成为热疲惫裂纹起源，加剧模具热疲惫裂纹的萌生与扩展。因此，要求模具具备一定的抗氧化性能。

对冷作模具钢除常规力学性能外，还常要求具有下列性能：

耐磨性能，断裂抗力，抗咬合及抗氧化能力。

模具的力学性能要求-- 耐磨性能

冷作模具服役时，被成形的坯料会沿着模具表面既滑动又活动，在模具与坯料间产生很大摩擦力。这种摩擦力使模具表面受到切应力作用，在其表面划刻出凹凸痕迹，这些痕迹与坯料不平整表面相咬合，逐渐在模具表面造成机械破损即磨损。冷作模具，特别是正常失效的冷作模具，多数因磨损而报废。因此，对冷作模具最基本的要求之一就是耐磨性。一般条件下材料硬度越高，耐磨性越好。但耐磨性与在软基体上存在的硬质点的外形、分布也有很大关系。

冷作模具的磨损包括磨料磨损、粘着磨损、腐蚀磨损与疲惫磨损。

模具的力学性能要求-- 断裂抗力

除常规力学性能如冲击韧度、抗压强度、抗弯强度等一次性断裂抗力指标外，小能量多次冲击断裂抗力更切合冷作模具实际使用状态性能。作为模具材料性能指标还包括抗压疲惫强度、接触疲惫强度等。这种疲惫断裂抗力指标是由在一定循环应力下测得的断裂循环次数，或在一定循环次数下导致断裂的载荷来表征的。关于是否把断裂韧度作为冷作模具材料的一项重要性能指标，尚待研究和探讨。

模具的力学性能要求-- 抗咬合能力及抗软化能力

抗咬合及抗软化能力分别表征了模具对发生“冷焊”及承载时因温度升高对硬度、耐磨性抵抗能力。