

模具材料及性能检测

何军拥 主 讲

学习情境 1

常见模具材料的性能要求及测试

教学情境 1：常见模具材料的性能要求及测试

§1 — 1 模具材料的硬度及测试

§1 — 2 模具材料的耐磨性及测试

§1 — 3 模具材料的强、韧性 及测试

§1 — 4 模具材料的其他性能要求

§1 — 5 常用模具材料的使用性能

一. 冷作模具基本理论知识:

1. 冷作模具概念:

- ❖ 冷作模具是在常温下对材料进行压力加工或其他加工所使用的模具。冷作模具种类繁多、结构复杂，模具在使用中受到压缩、拉伸、弯曲、冲击、摩擦等机械力的作用。冷作模具的正常失效形式主要是磨损、脆断、弯曲、咬合、塌陷、啃伤、软化等，因此要求冷作模具用钢应在相应的热处理后，具有高的变形抗力、断裂抗力、耐磨损、抗疲劳、不咬合等能力，以保证模具具有一定的耐用度。

❖ 热作模具：

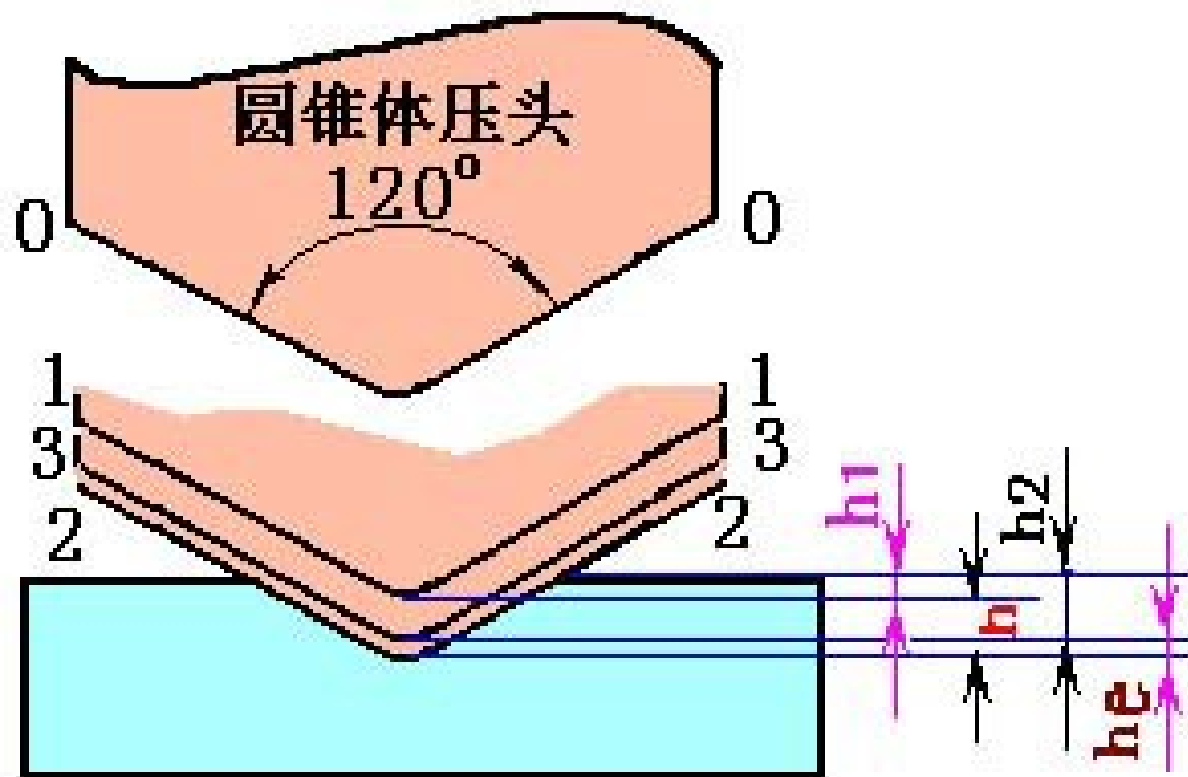
- ❖ 热作模具材料主要用于制造高温状态下进行压力加工的模具，如热锻模具、热挤压模具、压铸模具、热镦模具等。热作模具在工作时承受着很大的冲击力，模腔和高温金属接触后，本身温度常达 $300 \sim 400^{\circ}\text{C}$ ，局部可达 $500 \sim 700^{\circ}\text{C}$ ，有的甚至达到 1000°C 左右，还经受着反复的加热和冷却。在时冷时热状态下，容易使模具的工作表面产生热疲劳裂纹（龟裂），另外炙热金属被强制变形时，与模具型腔表面摩擦，模具极易磨损并且硬度降低。因此热作模具材料要求能稳定地保持各种力学性能，特别是热强性、热疲劳性、韧性和耐磨性。

模具材料的硬度和热硬性

- ❖ 硬度是衡量材料软硬程度的性能指标。作为成形用的模具应具有足够高的硬度，才能确保使用性能和使用寿命。如冷作模具一般硬度在 **52~60HRC** 范围内，而热作模具硬度一般在 **40~52HRC** 范围内。
- ❖ 硬度实际上是一种综合的力学性能，通过硬度可以间接地反映零件的强度、塑性、韧性、疲劳抗力和耐磨性等力学性能指标。因此，模具材料的各种性能要求，在图样上只通过标注硬度来表示。
- ❖ 热硬性是指模具材料在一定温度下保持硬度、组织稳定性及抗软化的能力。对于热作模具热硬性是其重要指标，同时高的高温硬度也是高温耐磨性的重要保证，如果模具没有高的强度和良好的冲击韧度，就容易开裂。

硬度测试实训：

- ❖ 地点：校内材料工程实训室
- ❖ 材料：冷作模具钢 **Cr12**
- ❖ 设备：布洛维硬度计、数显显微硬度计、数显洛氏硬度计等



1-1 加上初载荷后压头的位置

2-2 加上初载荷+主载荷后压头的位置

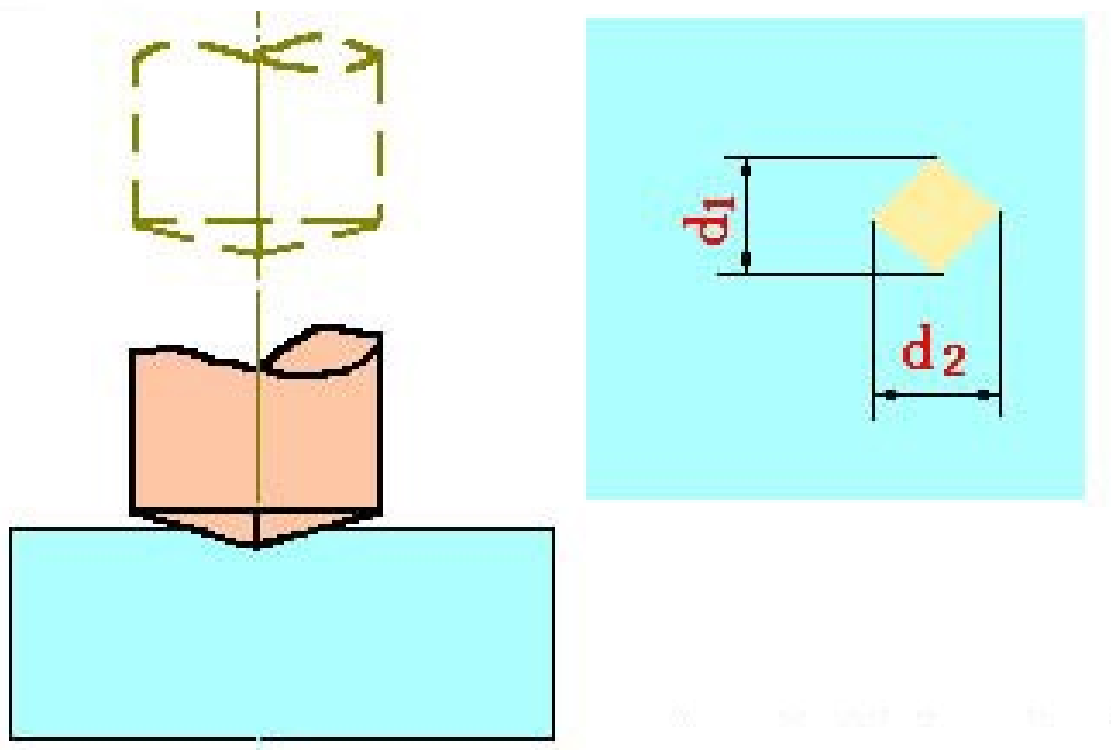
3-3 卸去主载荷后压头的位置

h_e : 卸去主载的弹性恢复

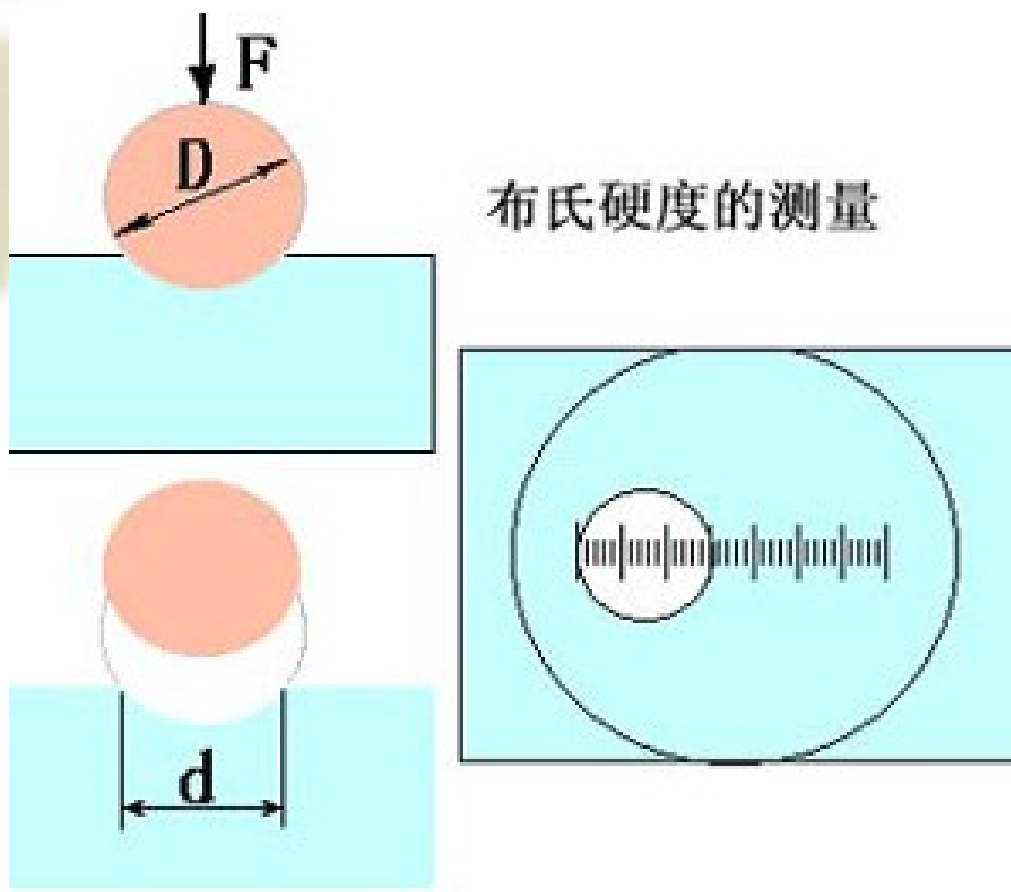
洛氏硬度试验原理示意图



洛氏硬度试验机



维氏硬度试验原理示意图



布氏硬度试验原理示意图



布氏硬度试验机

§1 — 2 模具材料的耐磨性

- ❖ 模具在工作中承受很大的摩擦，从而导致模具工作面磨损。所以，耐磨性能是衡量模具使用寿命的重要指标。
- ❖ 模具的磨损形式很复杂，主要有磨粒磨损、粘着磨损、氧化磨损和疲劳磨损等。如冷作模具的磨损形式通常是磨粒磨损和粘着磨损，而热作模具的磨损形式主要是氧化磨损。
- ❖ 磨损形式不同，影响耐磨性的因素也各不相同。一般情况下，主要的影响因素是硬度和组织。当冲击载荷较小时，耐磨性与硬度成正比关系；当冲击载荷较大时，表面硬度越高并非耐磨性愈好，超过一定的硬度值之后耐磨性反而下降。钢的组织中，铁素体的耐磨性最差、马氏体的耐磨性较好、下贝氏体的耐磨性最好。另外，碳化物的性质、数量和分布状态对耐磨性也有显著的影响。

- ❖ 冷作模具在工作时，表面与坯料之间产生许多次摩擦，模具必须在这种情况下仍能保持较低的表面粗糙度值和较高的尺寸精度，以防早期失效。
- ❖ 由于模具材料的硬度和组织是影响模具耐磨性能的重要因素，因此为了提高冷作模具的抗磨性能，通常要求模具硬度高于加工件硬度 **30 % ~ 50 %**，材料的组织为回火马氏体或下贝氏体，其上分布均匀、细小的粒状碳化物。要达此目的，钢中碳的质量分数一般都在 **0.60 %** 以上。

❖ 模具材料耐磨性（主要影响因素：硬度和组织）——硬度的测试实训

❖ 材料：冷作模具钢 Cr12

❖ 设备：布洛维硬度计、数显显微硬度计、数显洛氏硬度计、金相显微镜等——检验其耐磨性的要求；

§1 — 3 模具材料的强度和韧性

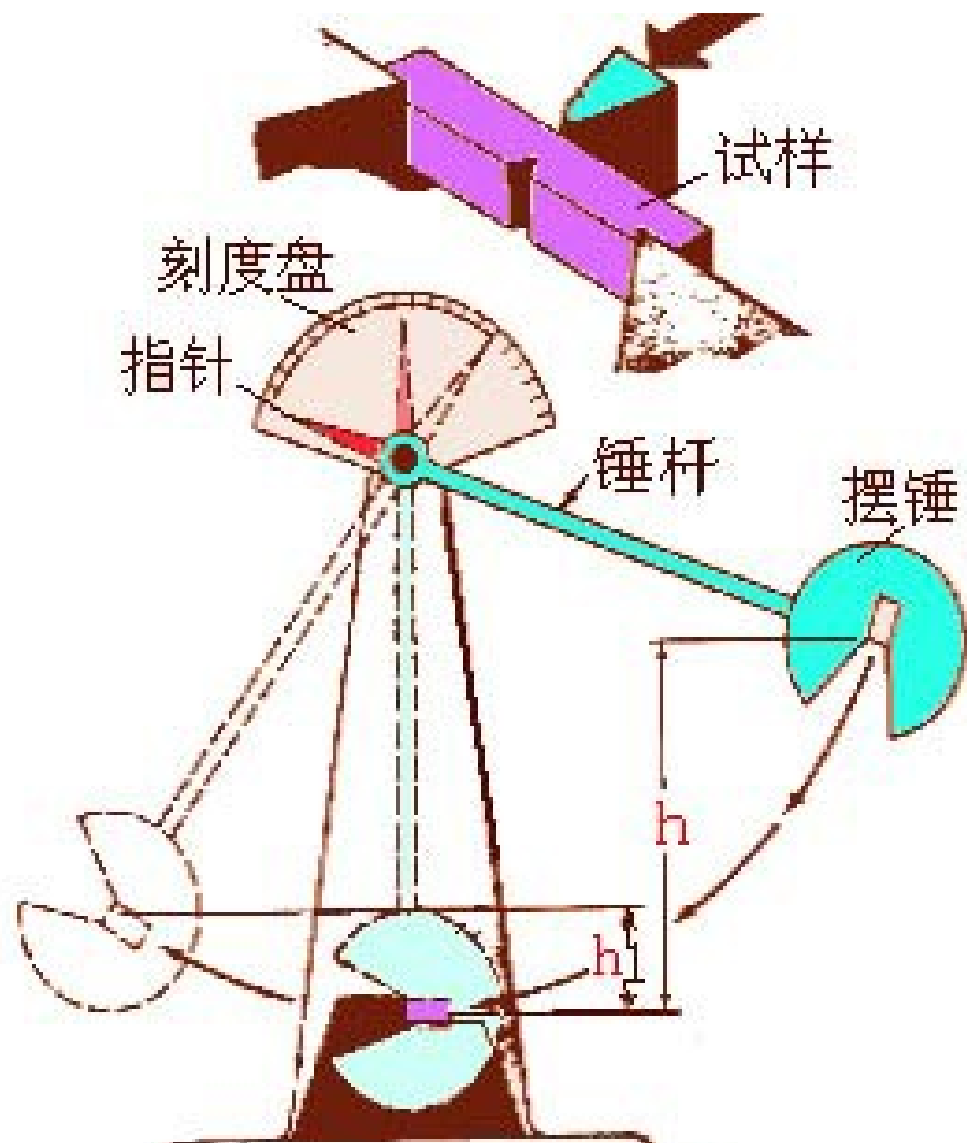
- ❖ 模具的强度即指模具零件在工作过程中抵抗变形和断裂的能力。
- ❖ 强度指标是冷作模具设计和材料选择的重要依据，主要包括：拉伸屈服点、压缩屈服点等。屈服点是衡量模具零件塑性变形抗力的指标，也是最常用的强度指标。为了获得高的强度，在模具制造过程中，要选择合适的模具材料，并通过适当的热处理工艺来达到其要求。

- ❖ 模具材料的韧性，要根据模具工作条件来决定，对于受强烈冲击载荷的模具，如冷作模具的凸模、冷镦模具等，因受冲击载荷较大，需要高的韧性；对于一般工作条件下的冷作模具，通常受到的是小能量多次冲击载荷的作用，模具的失效形式是疲劳断裂，因此模具不必具有过高的冲击韧度值。
- ❖ 影响强度和韧性的主要因素有：材料的化学成分、冶金质量、晶粒大小、组织类型，碳化物的形状、数量、大小及分布。所以，根据模具的工作条件和性能要求，合理地选择模具钢的化学成分、组织状态及热处理工艺，就能够得到最佳的强韧性配合。

❖ 热作模具的工作条件是反复受热受冷，在反复热应力作用下，模具表面会形成网状裂纹（龟裂），这种现象称为热疲劳，这是热作模具失效的主要原因之一。因此热作模具材料必须具备良好的热疲劳性，这是对热作模具材料的基本要求。

强度和冲击实训：

- ❖ 设备：万能材料试验机、电子万能拉力试验机、冲击实验机等
- ❖ 含碳量、晶粒度及组织状态测试
- ❖ 材料：冷作模具钢 Cr12
- ❖ 设备：金相显微镜、扫描电子显微镜等——检验该材料的强韧性，如屈服点、塑性和冲击韧性等；



摆锤式冲击实验示意图

§1 — 4 模具材料的其他性能要求

- ❖ 模具的耐磨性
- ❖ 冷作模具在工作时，表面与坯料之间产生许多次摩擦，模具必须在这种情况下仍能保持较低的表面粗糙度值和较高的尺寸精度，以防早期失效。
- ❖ 由于模具材料的硬度和组织是影响模具耐磨性能的重要因素，因此为了提高冷作模具的抗磨性能，通常要求模具硬度高于加工件硬度 $30\% \sim 50\%$ ，材料的组织为回火马氏体或下贝氏体，其上分布均匀、细小的粒状碳化物。要达此目的，钢中碳的质量分数一般都在 0.60% 以上。

模具的抗疲劳性能：

- ❖ 冷作模具通常是在交变载荷的作用下发生疲劳破坏的，因此为了提高模具使用寿命，需要有较强的抗疲劳性能。导致模具疲劳失效的因素有：钢中带状和网状碳化物、粗大晶粒；模具表面有微小刀痕、凹槽及截面尺寸变化过大和表面脱碳等。

模具的抗咬合性

- ❖ 当冲压材料与模具表面接触时，在高压摩擦下润滑油膜被破坏，此时被冲压件金属“冷焊”在模具型腔表面形成金属瘤，从而在成形工件表面划出道痕。咬合抗力就是对发生“冷焊”的抵抗力。影响咬合抗力的主要因素是成形材料的性质，如镍基合金、奥氏体不锈钢、精密合金等有较强的咬合倾向。模具材料及润滑条件也对抗咬合性有较大的影响。

良好的导热性：

- ❖ 为了使热作模具在工作时不致积热过多，导致力学性能下降，就要尽可能降低模具表面的温度，减小模具内部的温差，要求模具材料具有良好的导热性能。

高的淬透性：

- ❖ 热作模具一般尺寸较大，热锻模尤其如此，为了使模具整个截面的力学性能均匀，要求模具材料有高的淬透性。

§1 — 5 常用模具材料的使用性能

❖ (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。

❖ 2. 力学性能

❖ (1) 含碳量的影响钢的硬度 主要由含碳量和组织决定，含碳量越高，则硬度越高，耐磨性越好。

❖ (2) 淬火温度的影响 适当提高淬火温度可增加硬化层厚度，从而提高模具的承载能力，但过高的淬火温度又会使强韧性下降。

❖ (3) 回火温度的影响 碳素工具钢的硬度随回火温度的升高而下降，在 150 ~ 300°C 回火后，抗弯强度及冲击韧度随回火温度的升高而明显增高，因此应根据不同钢号选择最佳回火温度。

(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) 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。

（1）力学性能 9Mn2V 钢的碳化物量比 CrWMn 钢少，颗粒较大，耐磨性不及 CrWMn 钢，但仍比 T10 钢的耐磨性高 6—7 倍。锰使钢的 Ms 点下降，淬火后残留奥氏体较多，尤甚于 CrWMn 钢，因此淬火变形比 CrWMn 钢还小，但其尺寸稳定性不及 CrWMn 钢。9Mn2V 钢的淬透性接近 9SiCr 钢，低于 CrWMn 钢；

缺点： 回火稳定性较差，几乎与碳素工具钢相近。

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 钢是一种专用刀具钢，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。

(1) 力学性能 9SiCr 钢在室温至 900℃ 的力学性能见下表。

试验温度 /℃	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ / MPa	抗拉强度 σ_b / MPa	断后伸长率 δ (%)	断面收缩率 ψ (%)	抗压强度 σ_{bc} / MPa	扭矩 M/N.m	扭转角 φ (°)	冲击初度 α_k (J/cm ²)	硬度 HBS
20	456	805	26.2	54.2	3610	155	435	40	243
200	330	722	21.9	47.7	2660	141	396	90	218
400	335	635	32.0	63.4	1830	144	332	100	213
600	176	207	51.5	76.8	1900	62	1990	90	172
700	85	100	58.0	77.2	—	27	2270	150	53
750	73	102	59.3	68.4	223	—	—	370	44.6
800	67	87	70.6	62.5	265	12	3300	360	29.3
850	46	67	51.0	48.3	230	—	—	320	33.6
900	42	52	39.7	30.2	265	115	2250	280	22.7

(2) 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℃**，**260 ~ 280℃** 等温 **30min**，则硬度为 **57 ~ 59HRC**，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。

成分： GD 钢的合金总量在 4 % (质量分数) 左右，在 CrWMn 钢的基础上，适当降低含碳量，以减少碳化物偏析，同时添加 Ni 、 Si 、 M 。

(1) 力学性能 强韧性高：强韧性指标接近基体钢，有些韧性指标超过基体钢； GD 钢的冲击韧度、小能量多冲抗力、断裂韧度、抗压屈服点等均优于 CrWMn 钢和 Cr12MoV 钢。

(2) 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取得了可喜的进展。

5. Cr5Mo1V 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。

(1) 力学性能 Cr5Mo1V 钢的含铬量中等，共晶碳化物少，碳化物分布均匀，耐磨性好，热处理变形小，淬透性好。

在
较低的淬火温度获得较高的硬度。

(2) 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。

（1）力学性能 强韧性高、耐磨性低、具有优良的强韧性：抗弯强度为 350—400MPa、冲击韧度比 Cr12MoV 钢高 40 %。

（2）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..
Cr5Mo1V..	940—960..	980—1010..	168..	63—65..
Cr6WV..	950—970..	990—1010..	150..	62—64..
Cr4W2MoV..	960—970..	1020—1040..	142..	≥62..
Cr2Mn2SiWMoV	840 — 860..	..	190..	60 — 63..
8Cr2MnWMoVS..	860—920..	..	220..	62—65..

7. 5CrNiMo 钢

特点： 5CrNiMo 钢具有良好的韧性、强度和高耐磨性。它在室温和 $500 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 时的力学性能几乎相同。在加热到 500°C 时，仍能保持住 HB300 左右的硬度。由于钢中含有钼，因而对回火脆性并不敏感。从 600°C 缓慢冷却下来以后，冲击韧性仅稍有降低。5CrNiMo 钢具有良好的淬透性。300mm×400mm×300mm 的大块钢料，自 820°C 油淬和 560°C 回火后，断面各部分的硬度几乎一致。该种钢用来制造各种大、中型锻模。该种钢易形成白点，需要严格控制冶炼工艺及锻轧后的冷却制度。

应用范围： 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。

❖ 8.5CrMnMo 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。
- ❖ 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。

❖ 9.4CrMnSiMoV 钢

- ❖ **4CrMnSiMoV** 是原冶金部标准中推荐使用的 **5CrMnSiMoV** 的改进型。原钢种的合金元素种类及含量均未变动，只是含碳量降低了约 **0.1 %**。其目的是在保持原有强度水平的基础上提高钢的韧性。此钢具有较高的强度、耐磨性和良好的冲击韧度，其高温性能、抗回火稳定性、热疲劳抗力均比 **5CrNiMo** 好。
- ❖ 此钢适用于大、中型锻模，也适用于中、小型锻模，经与 **5CrNiMo** 等热模钢寿命比较，**4CrMnSiMoV** 使用寿命最高，如连杆模、前梁模、齿轮模、突绿节模 (深型模) 等均比 **5CrNiMo** 模具寿命提高 **0.1 ~ 0.8** 倍，用于矫正模、弯曲模和平锻机锻模使用寿命比 **5CrNiMo** 一般都高 **0.5** 倍，个别超过 **1 ~ 2** 倍。

结 束