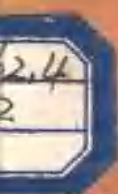


机械工人学习材料

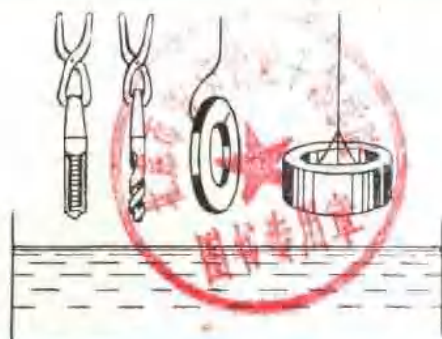
JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

冷作模具用材及热处理

陈蕴博 汤志强 编著



热处理



机械工业出版社

内容提要 本书收集了丰富的模具热处理经验,结合生产实践,叙述了各类冷作模具的工作特点、失效形式、选材和热处理技术,材料与热处理质量的分析和控制方法;通过实例,详细地介绍了有关模具热处理操作要点和特殊热处理操作技术;分析了各类模具热处理缺陷的产生原因以及防止和补救措施并提出了进一步提高冷作模具使用寿命的新材料、新工艺。有实际也有理论分析,不仅对现场生产有实用价值,也可开阔读者的思路,提高读者分析问题的能力。

本书可供热处理工人阅读,也可作为工程技术人员、技工学校 and 模具培训班师生辅助读物。

冷作模具用材及热处理

陈蕴博 汤志强 编著

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业前准出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $3^{1/2}$ ·字数 82 千字

1986年12月北京第一版·1986年12月北京第一次印刷

印数 0,001—7,600·定价 0.73 元

*

科技新书目: 137—112

统一书号: 15033·6464



目 次

一	冷作模具的选材与热处理特点	1
	1 冷作模具的作业条件与性能要求 (1) —— 2 冷作模具必须具备的材料特性 (9) —— 3 常用冷作模具钢及其发展 (10)	
二	冷作模具的热处理	15
	1 冲裁模的热处理 (15) —— 2 拉伸模的热处理 (24) ——	
	3 冷挤压模的热处理 (29) —— 4 冷镦模的热处理 (39) ——	
	5 成型模具的热处理 (43)	
三	冷作模具热处理操作技术	48
	1 模具热处理基本工艺方法 (48) —— 2 冷作模具的特殊热处理操作技术 (63)	
四	冷作模具的热处理质量控制	66
	1 淬火变形的控制 (66) —— 2 模具热处理常见缺陷和防止方法 (78) —— 3 模具用钢的质量控制 (79) —— 4 模具热处理质量检查及要求 (80) —— 5 热处理质量分析实例 (81)	
五	提高冷作模具使用寿命的途径	89
	1 采用高强韧性、高寿命的新型冷作模具材料 (89) —— 2 选用模具表面强化新技术 (93) —— 3 采用新的相变强化热处理工艺 (101)	

冷作模具的工作特点是在一定负荷条件下，使常温金属产生塑性变形并加工成制件。工作时，模具使用温度较低（一般不超过 300℃）。根据加工设备的类型、作业条件和被加工材料性质的不同，冷作模具又可分为冲裁模、挤压模、拉伸模、冷镦模、成型模、压弯模、冷剪模、螺纹滚丝模和拉丝模等，在机械、轻工、电机制造和无线电仪表等行业的零件制造中占有重要的地位，使用极为广泛。

近几年来，随着少无切削加工工艺的发展、难加工成型材料的应用以及成型工件精度要求的提高，使冷作模具的工作条件变得非常复杂，对使用材料的性能和热处理工艺提出了一系列严格而又苛刻的要求。

本书根据有关资料，结合生产实践，简要地叙述了各类冷作模具的工作特点、失效形式、模具选材、热处理特点以及质量控制方法等，并介绍了进一步提高冷作模具使用寿命的途径，以供读者在模具设计制造、选材、热处理和质量检验时参考。

一 冷作模具的选材与热处理特点

1 冷作模具的作业条件与性能要求 在工业生产中，对所用的冷作模具有各种性能要求，但基本的性能要求是硬度、强度、韧性、耐磨性和抗疲劳性能。显然，这些综合的要求是非常复杂的。在这些性能中，有些是互相关联的，在某种程度上又是互相矛盾的。因此，必须根据模具的作业条件与失效分析，确立相应的失效抗力指标，并通过正确的选材与合理制定热处理工艺，进

一步挖掘材料的潜力，满足性能要求；延长其使用寿命。

(一) 淬火与回火硬度：硬度是研究与检验模具最常用的性能指标。高的硬度是保持一定耐磨性的必要条件。图1示出了几种冷作模具钢的淬火温度与硬度的关系。其它的模具钢也具有与图1相类似的曲线，

即随着淬火温度的提高，硬度增加，一直到一个峰值后，随着淬火温度的继续升高，硬度开始下降。这是因为淬火温度愈高，溶于奥氏体中的碳与合金元素的量增加，从而增加了奥氏体的稳定性，降

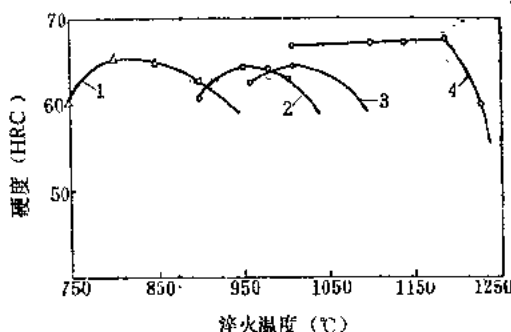


图1 几种冷作模具钢的硬度与淬火温度关系

1—CrWMn油冷 2—Cr12MoV空冷
3—Cr5MoV空冷 4—W6Mo5Cr4V2油冷

低了钢的 M_s 点，增加了淬火钢中的残留奥氏体含量的缘故。通常，选择可获得最高硬度的温度作为合适的淬火温度。

表1列出了Cr12MoV、W6Mo5Cr4V2高速钢和CrW低合金冷作模具钢在淬火状态的碳化物和基体成分。其中基体的碳含

表1 几种冷作模具钢经淬火后相组织成分

钢 种	淬火温度 (°C)	残余碳化物		基体成分 (%)				
		种 类	重量 (%)	C	Cr	W	Mo	V
CrW	850	M ₂₃ C	3	0.37	0.71	1.22	—	—
Cr12MoV	1000	M ₇ C ₃	16	0.5	6.0	—	0.5	—
W6Mo5Cr4V2	1250	M ₆ C + MC	13.6	0.5	4.4	—	2.3	—

量具有更重要的意义，即碳含量较低者，韧性提高。但为了保持基体硬度在 HRC60 以上，其最低的含碳量不得少于 0.5%。钢中残余碳化物的种类、颗粒大小和数量对耐磨性的影响很大，如 Cr12 钢，其所以具有优良的耐磨性，正是由于钢中存在大量硬的 M7C3 碳化物的缘故。

在大尺寸模具淬火时，由于冷却速度较小，为获得所要求的淬火硬度存在一个临界冷却速度。这个临界冷却速度可以根据奥氏体连续冷却转变曲线推算出来（如图 2）。在该图中还示出了几种常用冷作模具钢为达到 HRC60 淬火硬度的冷却曲线。从图说明，与高碳低合金钢（如 CrW 钢）相比，Cr5MoV、Cr12 和 Cr12MoV 钢的 C 曲线鼻尖处的孕育期较长，淬透性较高，较大截面的模具，经淬火后也能获得较高的硬度。通常，为得到中心硬度 HRC60（即心部达到半马氏体区）的最大截面尺寸，Cr12MoV 钢为 150 毫米（空冷），Cr5MoV 钢为 180 毫米（空冷），而高碳低合金钢仅为 50~85 毫米（空冷），说明一些空淬钢适合制作较大尺寸的模具。

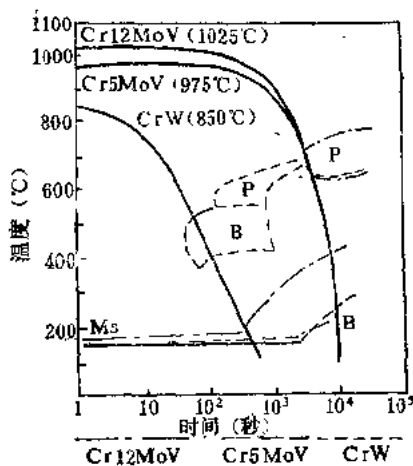


图 2 几种冷作模具钢获得淬火硬度 HRC60 时的冷却曲线

冷作模具钢的回火温度应该根据淬火温度、模具要求的硬度和为获得最好的机械性能与最小的变形条件来确定。CrWMn、Cr12MoV 和 W6Mo5Cr4V2 高速钢的回火硬度与回火温度的关系

示于图3。CrWMn钢的硬度,随着回火温度的升高,其硬度峰值在500℃附近;W6Mo5Cr4V2高速钢,在535℃附近回火的峰值硬度可超过淬火状态的硬度值。由于冷作模具大都在HRC60~62的硬度值下使用,所以对CrWMn钢和Cr12钢一般要求在180~200℃温度下回火,而W6Mo5Cr4V2高速钢用作冷模具时,一般不在峰值温度进行回火。具体温度可根据模具的使用特点予以确定。

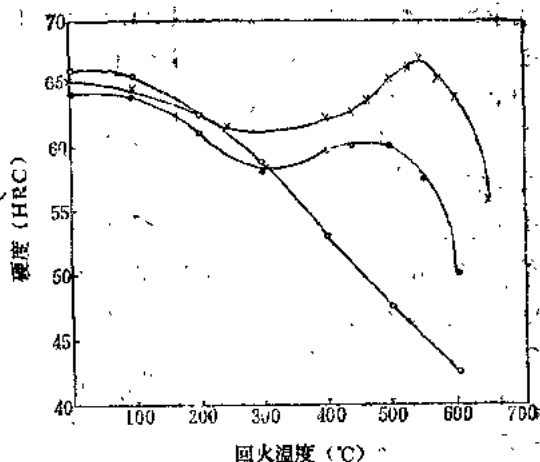


图3 不同钢种的回火温度与硬度的关系

- × — × W6Mo5Cr4V2钢1210℃油冷
- — • Cr12MoV钢1025℃空冷
- — ○ CrWMn钢 325℃油冷

模具热处理后的性能还与其残留奥氏体量的变化密切相关。CrWMn、Cr12MoV与W6Mo5Cr4V2钢在淬火状态的残留奥氏体(r_R)量分别为15%、22%和28%。这三种钢的 r_R 的数量,随着回火温度

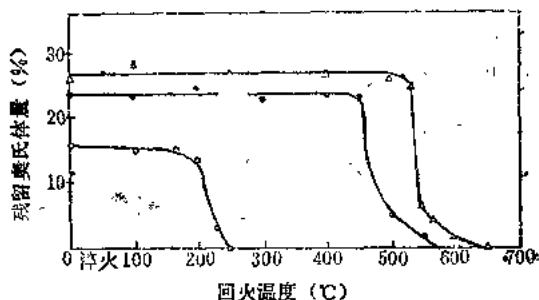


图4 不同钢种的残留奥氏体量与回火温度的关系

- △ — △ W6Mo5Cr4V2钢1210℃油冷
- — • Cr12MoV钢1025℃空冷
- — ○ CrWMn钢 325℃油冷

的升高而变化,如图4所示。CrWMn钢在180~250℃, Cr12MoV钢在450~550℃, W6Mo5Cr4V2钢在500~650℃回火时, r_R 转变成马氏体。这就说明越是高合金钢, γ_R 越稳定, 只有经过高温回火, 才能转变成马氏体。由于CrWMn钢与Cr12MoV钢通常都在180~200℃回火, 所以前者有少量的 γ_R 转变成马氏体, 后者的 γ_R 几乎不分解。因此, 对CrWMn钢至少要进行两次回火以消除奥氏体转变的应力, 而Cr12MoV钢只要一次回火就可以了。W6Mo5Cr4V钢制作冷模具时, 一般均在560~580℃温度下进行回火, 此时 γ_R 已大部分转变, 所以要求进行两次以上的回火。如上所述, 对于初次回火时, r_R 即发生马氏体转变的钢种, 从对该马氏体进行回火考虑, 必须进一步反复回火。另外, 当回火温度不足以使 γ_R 发生转变的情况下, 可采取延长回火保温时间的方法, 以使 γ_R 稳定化。

(二) 冲击性能: 韧性是材料在冲击载荷下抵抗产生裂纹的一个特征, 也是作为防止模具断裂的一个重要依据, 但它不是一个单一的性能指标, 而是材料强度和塑性的综合表现。通常用一次冲击试验和扭转冲击试验来确定冷作模具钢的韧性。

图5示出了几种常用冷作模具钢的夏氏冲击值与硬度的关系。CrWMn钢与W6

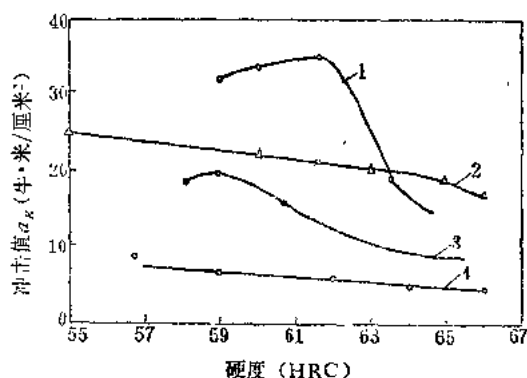


图5 不同钢种的夏氏冲击值与硬度关系
1—Cr12MoV钢 2—W6Mo5Cr4V2
3—Cr5MoV钢 4—CrWMn钢

Mo5Cr4V2 高速钢的冲击值随硬度的增加而降低, 从其它钢种中则未发现这种规律。对硬度均为HRC 61 的几个钢种的冲击值比较如表 2 所示:

表 2 各钢种在HRC61时的夏氏冲击值 (牛·米/厘米²)

钢 种	CrW	CrWMn	Cr12	Cr12MoV	W6Mo5Cr4V2
冲击值	8	6	15	34	22

比较表 1 和表 2 的结果可以明显看出, 基体中碳含量越低, 冲击韧性越高。为获得较高的韧性, 还要注意避免在钢的不可逆回火脆性的温度范围内进行回火。

对韧性的要求, 应根据工作条件考虑, 对受冲击载荷较大(如冷镦模和剪切模)、易受偏心弯曲载荷(如细长的冲头模具)或有应力集中的模具等, 都需要有较高韧性。

实际上, 模具在工作时很少因受到一次剧烈冲击而破坏, 在很多情况下, 如冷镦、冷挤和冷冲都带有重复载荷作用下的疲劳断裂, 整个断裂过程是疲劳裂纹的发生和发展过程, 相当于小能量多次冲击。

(三) 抗弯性能: 图 6 示出了 Cr12MoV 钢的静抗弯性能(经1000℃淬火)与回火温度的关系。该钢在200~400℃温度范围内回火, 强度和韧性都较好。几种主要模具钢经淬火和回火到 HRC 61 硬度时的抗弯强度、屈服强度和挠度(弯曲韧性)列于表 3。从表可以看出, 抗弯强度和屈服强度以 W6Mo5Cr4V2 钢

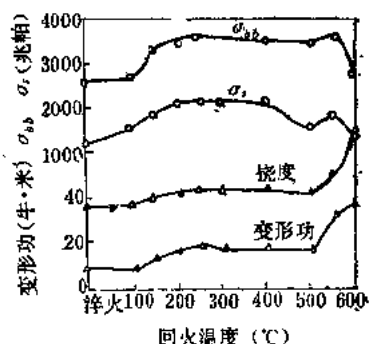


图 6 Cr12MoV 钢的静抗弯性能

表 3 钢在 HRC61 时的静弯曲性能

钢 种	抗弯强度 (兆帕)	屈服强度 (兆帕)	挠 度 (mm)
CrW	3500	1850	2.1
CrWMn	2750	1700	2.3
Cr12	2950	2250	1.7
Cr12MoV	3500	2050	2.4
Cr5MoV	3550	2100	2.7
W6Mo5Cr4V2	4500	3660	2.4

为最高,以高碳低合金钢最差;而弯曲韧性以Cr12MoV和Cr5MoV钢最高,Cr12钢最差。

(四) 扭转性能: Cr12MoV钢的静扭转性能与回火温度的关系如图7所示。扭转强度与硬度的变化规律十分相似。在200~400℃温度回火时,屈服强度很高,同此相应的扭转性能(包括扭转角与变形功)也呈现极大值。表4列出了六种冷作模具钢在HRC61硬度时的扭转性能数据。扭转强度除W6Mo5Cr4V2钢稍低外,其它钢种均无很大差别,屈服强度以CrW、CrWMn和W6Mo5Cr4V钢较高,扭转韧性以Cr12MoV钢最好,其他几个钢种的数值均较低。

(五) 抗压性能: 抗压性能对冲模用的冲头材料的选择,以

表 4 在 HRC61 时的静扭转性能

钢 种	扭转强度 (兆帕)	屈服强度 (兆帕)	扭转角 α (度)
CrW	2000	1400	25
CrWMn	1950	1250	42
Cr12	1850	1170	28
Cr12MoV	1850	1150	53
Cr5MoV	1950	1100	29
W6Mo5Cr4V2	1740	1300	22

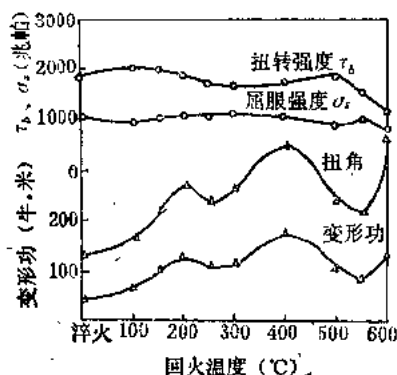


图7 Cr12MoV钢的静扭转性能

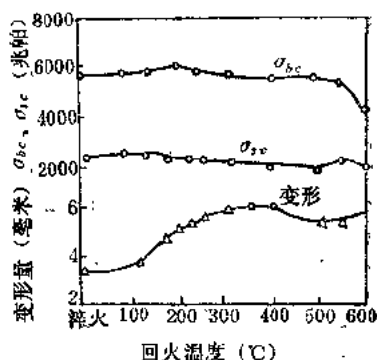


图8 Cr12MoV钢的静抗压性能

及模具设计是一个极为重要的数据。模具的抗压强度与硬度呈正比关系。Cr12MoV钢的抗压性能与回火温度的关系如图8，经200℃左右回火，抗压强度最高，在300~400℃回火抗压韧性最好。在HRC61时，Cr12MoV钢的抗压强度几乎达到高速钢(W6Mo5Cr4V2)的强度，均为6000兆帕。但其屈服强度逊于后者。

(六) 耐磨性：对于在一定条件下工作的冷作模具钢来说，为了得到高的耐磨性，需要在硬度高的基体上均匀分布有大量细小坚硬的碳化物。在相同硬度的情况下，提高钢的强度和韧性也有益于提高耐磨性。几种冷作模具钢经淬火回火到HRC 62时的耐磨

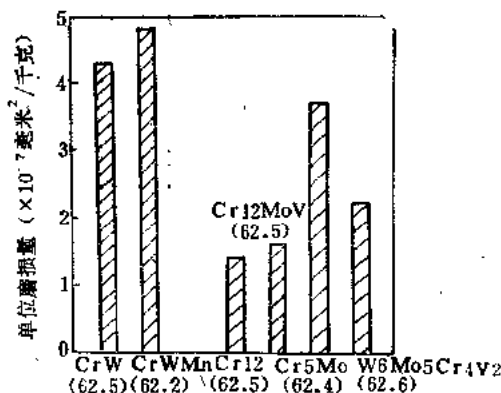


图9 钢的硬度为HRC62时的耐磨性比较

性比较见图9。其中以高碳高铬的Cr12钢的耐磨性最好,并按W6Mo5Cr4V2、Cr5MoV和CrWMn钢的顺序依次降低。

(七) 抗疲劳性能: 模具在交变应力条件下有可能发生疲劳破坏。钢中存在晶粒粗大、碳化物不均匀、模具表面有刮痕、凹槽以及截面突然变化和表面脱碳等因素,都能导致疲劳强度的降低。经淬火回火到HRC61硬度时,钢的疲劳强度曲线如图10所示。与高碳低合金模具钢和Cr12钢相比,高速钢具有较高的疲劳强度。

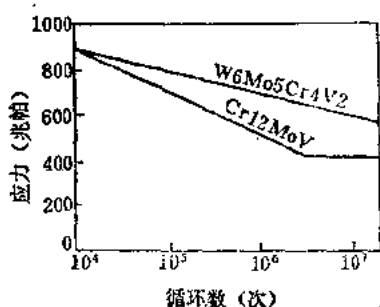


图10 Cr12MoV和W6Mo5Cr4V2钢的疲劳强度曲线

2 冷作模具必须具备的材料特性 根据模具的作业条件进行合理的选材是保证模具质量的根本性问题。选材不当,即使有很好的热处理也不能获得优异的性能和高的耐用度。许多冷作模具尽管其作业条件各不相同,但在选材和机械物理性能方面的要求还是有很多共同之处。

(一) 选择淬透性良好的材料: 大多数模具除要求表面有足够的硬度外,还要求心部有足够的强韧性。对大型模具来讲,若用淬透性差的材料,表面淬硬层下和心部就不能获得马氏体淬火组织,在回火后就不能得到高的强度和韧性。同理,形状简单的小模具,若采用淬透性好的材料就是大材小用。但对形状复杂的小模具,也常采用高淬透性的模具钢来制造,这是为了使其在淬火后能获得较均匀的应力状态(淬火组织均匀,可以用油淬代替水淬或空冷代替油淬),以避免开裂或较大的变形。所以,淬透性的选择要根据具体情况加以灵活应用。如在冲压模具中,凹模通

常要用淬透性较好的材料，而冲头则要求低些。

(二) 要选用抗回火稳定性高的材料：不少冷作模具在工作时由于和被加工材料发生强烈的挤压和摩擦，也会形成较高的温度，这就要求模具材料本身具有高的抗回火稳定性，也就是在一定温度下保持硬度的能力。碳素钢和低合金钢的抗回火能力差，采用不同程度含铬和含钼的合金钢通常能显著提高模具的这种性能。

(三) 要选择热处理时尺寸变化小的模具材料与热处理方法：热处理引起尺寸变化有两种情况，一种是由材料特性决定的，另一种是由热处理工艺决定的。材料特性所引起的尺寸变化，就是在加热冷却过程中产生的热应力和相变应力所引起膨胀与收缩等变化。其变化大小与材料的纤维方向，材料的化学成分、碳化物、残余奥氏体量等有关，这一点在设计时必须加以考虑。通常，由热处理工艺引起的尺寸变化是指翘曲与扭曲等变形，可通过控制加热方法、加热温度、冷却方法等热处理工序，达到一定程度的改善。对形状复杂、截面厚薄不均的模具，从开裂变形角度考虑，不宜采用淬透性差的钢材。此外，一些含高碳、高合金的钢材，由于淬透性很好，可以采取比较缓和的淬火冷却，以避免开裂和减少变形；又由于这些钢材在高温下的奥氏体中溶入的合金元素多，比较稳定，在淬火组织中保留有较多的残留奥氏体，后者淬火时无组织转变而引起的体积变化，因而形成的应力小，可以缓和开裂和变形的倾向。

3 常用冷作模具钢及其发展 我国现有的冷作模具材料，按其合金元素的组成和含量来分，可分为碳素工具钢、低合金工具钢、高铬模具钢、中铬模具钢、空冷微变形（含高锰）钢、高速钢和基体钢等七类。现将常用冷作模具钢牌号、成分、热处理工艺和用途分别列于表5、表6；新发展的冷作模具钢见表7。

表5 常用冷作模具钢牌号及其化学成分

成分 钢种 牌号	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	其他
T8	0.75 ~0.85	0.15 ~0.35	0.2 ~0.40					
T10	0.95 ~1.04	0.15 ~0.35	0.15 ~0.35					
T12	1.15 ~1.24	0.15 ~0.35	0.15 ~0.35					
9SiCr	0.85 ~0.95	1.20 ~1.60	0.3 ~0.60	0.95 ~1.25				
GCr15①	0.95 ~1.05	0.15 ~0.35	0.2 ~0.4	1.30 ~1.65				
9Mn2	0.85 ~0.95	≤0.40	1.7 ~2.0					
9Mn2V	0.85 ~0.95	≤0.35	1.7 ~2.00				0.10 ~0.25	
Cr12	2.0 ~2.5	≤0.35	≤0.35	11.5 ~13.0				
Cr12MoV	1.45 ~1.70	≤0.35	≤0.35	11.0 ~12.5		0.4 ~0.6	0.15 ~0.30	
Cr6WV	1.0 ~1.15	≤0.4	≤0.4	5.6 ~7.0	1.0 ~1.5		0.5 ~0.7	
MnCrWV	0.95 ~1.05	≤0.4	1.0 ~1.3	0.4 ~0.7	0.4 ~0.7		0.15 ~0.3	
CrWMn	0.9 ~1.05	≤0.4	0.8 ~1.10	0.9 ~1.20	1.2 ~1.8			

(续)

成分 钢种 牌号	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	其他
9CrWMn	0.85 ~0.95	≤0.4	0.9 ~1.2	0.5 ~0.80	0.5 ~0.80			
MnSi	0.95 ~1.05	0.65 ~0.95	0.6 ~0.9					
Cr4W2 MoV	1.15 ~1.25	0.4 ~0.7	≤0.40	3.5 ~4.0	2.0 ~2.5	0.8 ~1.2	0.8 ~1.1	
6W6Mo5 Cr4V	0.55 ~0.65	≤0.4	≤0.6	3.7 ~4.8	6.0 ~7.0	4.5 ~5.5	0.7 ~1.10	
W18Cr4V	0.7 ~0.80	≤0.40	≤0.40	3.8 ~4.4	17.5 ~19.0	≤0.3	1.0 ~1.4	
W6Mo5 Cr4V2	0.8 ~0.9	≤0.40	≤0.40	3.8 ~4.4	5.5 ~6.75	4.5 ~5.5	1.75 ~2.2	
5Cr4W5 Mo2V①	0.45 ~0.55	0.15 ~0.4	0.2 ~0.6	3.8 ~4.5	4.5 ~5.3	1.7 ~2.3	0.8 ~1.2	
65Cr4W3 Mo2VNb	0.6 ~0.70	≤0.35	≤0.40	3.8 ~4.4	2.5 ~3.0	2.0 ~2.6	0.8 ~1.1	
5Cr4Mo3 SiMnVA1	0.47 ~0.51	0.8 ~1.1	0.8 ~1.1	3.8 ~4.3	—	2.8 ~3.3	0.9 ~1.2	
6Cr4Mo3 Ni2WV	0.55 ~0.64	≤0.4	≤0.4	3.8 ~4.3	0.9 ~1.3	2.8 ~3.3	0.9 ~1.3	Ni 1.8 ~2.2
7Cr7Mo3 V2Si	0.7 ~0.8	0.7 ~1.2	≤0.5	6.5 ~7.0	—	2.0 ~2.5	1.7 ~2.2	
7CrSiMn MoV	0.65 ~0.75	0.35 ~1.15	0.65 ~1.05	0.91 ~1.20	—	0.25 ~0.50	0.15 ~0.3	

① 有时轴承钢也可用作冷作模具钢。

② 以下六种钢号都属新发展的冷作模具钢。

表 6 常用冷作模具钢的热处理工艺和用途

钢 号	退 火		淬 火		回 火		用 途
	加热温度 (°C)	硬度 (HB)	加热温度 (°C)	冷却剂	硬度 (HRC)	硬度 (HRC)	
T 8	750~760	187	790~820	水、油	62~64	160~180	84~86 工作时受力不大、形状简单、尺寸较小的冲压模、切边模、落料模
T 10	760~780	197	770~800	水、油	62~65	160~180	64~82 工作时受力不大、形状简单、尺寸较小的冲压模、切边模、落料模
T 12	760~780	207	760~790	水、油	62~66	160~180	65~82 工作时受力不大、形状简单、尺寸较小的冲压模、切边模、落料模
9Mn2V	750~770	<229	780~820	油	62~63	150~180	65~66 冲压模、冷压模、塑料模
9SiCr	780~810	214~227	850~870	油	62~64	230~260	≥61 冷冲模、工作时受力较轻、但形状复杂的冷冲模
CrCr15	770~790	228~197	835~855	油	64~67	180~180	≥61 冷冲模、工作时受力较轻、但形状复杂的冷冲模
Cr12	850~870	269~217	1000~1020 或 980	油	50~64	150~170 或 500~520	≥61 形状复杂的冷冲模、拉冲模和冷冲模
Cr12MoV	850~870	255~207	1000~1020 或 940	油	50~63 (50)	150~170 或 500~520	≥61 形状复杂的冷冲模、拉冲模和冷冲模
CrWMn	780~800	255~207	800~830	油	65~63	160~180	≥61 形状复杂、精度要求较高的冲模
Cr4W2MoV	850~870	241~253	960~980 或 1020~1040	油	60	280~300 500~540	60~58 61~59 拉冲模、冷冲模

(续)

钢 号	退 火		淬 火		回 火		用 途
	加热温度 (°C)	硬度 (HB)	加热温度 (°C)	冷却剂	硬度 (HRC)	加热温度 (°C)	
W18Cr4V	870+740 等温	285~207	1250~1240	油	≥60	560~580	适用于重载荷条件下工 作的冷锻凸模和冲头
W6Mo5Cr4V2	870+740 等温	285~207	1150~1180	油	≥60	560~580	

表 7 新发展的冷作模具钢热处理工艺和用途

钢 号	退 火		淬 火		回 火		用 途
	加热温度 (°C)	硬度 (HB)	加热温度 (°C)	冷却剂	硬度 (HRC)	加热温度 (°C)	
65Cr4W3Mo2 VNb	860+740 等温	217~187	1120~1160	油	58~65	540~580	适用于高强度韧性冷 锻、冷锻和冷冲模具等
5Cr4Mo3- SiMnVAI	860+720 等温	200~230	1090~1120	油	61~62	510~540 2次	
6Cr4Mo3Ni2WV	—	241~270	1100~1140	油	51.0 ~62.5	520~560 2次	适用于冷锻、冷冲和 冷挤模
7Cr7Mo3V2Si	860+740 等温	220~250	1100~1150	油	60~61	530~570 2~3次	
5Cr4W5Mo2V	850+750 等温	197~212	1180~1150	油	62~63	400 580~620	适用于高强度韧性冷锻 和冷冲模具
7Cr-SiMnMoV	850+680 等温	217~241	820~1000	空或油淬	>60	180~200	

适用于冷锻和冷冲模

适用于冷锻、冷冲和
冷挤模适用于冷锻、冷冲和
冷挤模适用于冷锻、冷冲和
冷挤模适用于冷锻、冷冲和
冷挤模适用于冷锻、冷冲和
冷挤模适用于冷锻、冷冲和
冷挤模