

知识点 6-3 工具钢

【学习任务】

掌握工具钢的分类及性能要求。

【知识内容】

用于制造各种刀具、模具、量具等工具用钢，称为工具钢。按化学成分的不同，工具钢可分为碳素工具钢、合金工具钢和高速钢；按用途不同，工具钢又可分为刃具钢、模具钢和量具钢。

一、刃具钢

刃具主要是指用于切削金属或非金属的刀具，如车刀、铣刀、钻头等。刀具在工作时，受到复杂的切削力作用，刃部与切屑间产生强烈的磨擦，使刃部磨损并发热。切削量越大，切削速度越快，刃部温度越高，有时可达到 500℃~600℃。另外，刃具还承受冲击载荷与震动，因此，要求刃具必须具备高的硬度与耐磨性，一般要求硬度都在 60HRC 以上；高的红硬性，也称热硬性，是刀刃在高温下保持高硬度的能力，足够的强度和韧性。

用作刃具的钢有碳素工具钢、低碳合金工具钢和高速钢。

1. 碳素工具钢

(1) 化学成分。为了保证刃具具有高的硬度和耐磨性，碳素工具钢中碳的质量分数=0.65%~1.35%，并且对硅、锰含量限制较严，防止硅、锰含量的变动，对淬透性产生较大的影响。硫、磷含量控制的更严，目的是提高其可锻性及减少淬火开裂倾向。

碳素工具钢的化学成分及性能见表 6-16。

表 6-16 碳素工具钢的化学成分及其性能

钢号	化学成分（质量分数）（%）					退火	淬火后钢的硬	
						后钢	度	
	C	Si	Mn	P	S	的硬	淬火温度	HRC
						度	/℃及淬	≥
						HBS	火介质	
				≤		≤		
T7	0.65~0.74	≤0.35	≤0.40	0.035	0.030	187	800~820，水	62
T8	0.75~0.84	≤0.35	≤0.40	0.035	0.030	187	780~800，水	62
T8Mn	0.80~0.90	≤0.35	0.40~0.60	0.035	0.030	187	780~800，水	62
T9	0.85~0.94	≤0.35	≤0.40	0.035	0.030	192	760~780，水	62
T10	0.95~1.04	≤0.35	≤0.40	0.035	0.030	197	760~780，水	62
T11	1.05~1.14	≤0.35	≤0.40	0.035	0.030	207	760~780，水	62

T12	1.15~	≤0.	≤0.40	0.035	0.030	207	760~	62
	1.24	35					780, 水	
T13	1.25~	≤0.	≤0.40	0.035	0.030	217	760~	62
	1.35	35					780, 水	

（2）热处理。碳素工具钢的热处理包括锻压后、机械加工前的球化退火和加工后的淬火和低温回火。

球化退火的目的是改善切削加工性能，并为最后淬火作组织准备，退火后的组织为球状珠光体，硬度一般低于 217HBS。如果锻压后的网状碳化物或晶粒粗大，应在球化退火之前进行正火处理加以消除。

在淬火时，除了 T7、T7A 的淬火加热在 Ac₃ 以上，其余的过共析钢的淬火温度均在 AC₁ 以上 30~50℃，以保证淬火后得到在马氏体基体上分布着均匀细小颗粒状的碳化物组织，使其具有较高的硬度和耐磨性。由于碳素工具钢的淬透性较低，为了获得马氏体组织，淬火冷却时，除了形状复杂、有效厚度小于 5mm 的小刀具在油中冷却外，一般都选用水冷，故变形和开裂倾向较大。

淬火后应立即进行回火，以免变形或开裂。对于要求高硬度、高耐磨的刀具或其它工具，应采用 160~180℃的低温回火。

（3）常用碳素工具钢及其应用。碳素工具钢淬火后的硬度差别不大，但随着钢中碳的质量分数增大，未溶渗碳体量增多，钢的耐磨性增加，而韧性降低。因此，T7、T8 钢适用于制造承受一定冲击而要求韧性较高的刀具，如木工用的斧、镐、手锤；钳工用的凿子等。T9、T10、T11 钢用于制造冲击较小而要求高硬度、高耐磨性的刀具，如小钻头、丝锥、车刀等。T12、T13 钢具有高硬度、高耐磨性，但韧性低，用于制造不受冲击的刀具，如锉刀、精车刀、铲刮刀等。高级优质的 T7A~T13A 比相应的优质碳素工具钢有较小的淬火变形、开裂倾向，适于制造形状较复杂的刀具。

虽然碳素工具的加工性能好，价格低廉，有较高的硬度和耐磨性，但由于其淬透性差，红硬性差，所以应用受到限制，对于尺寸较大、形状复杂、红硬性要求较高的工具，则需采用合金工具钢制造。

2. 低合金工具钢

（1）化学成分。低合金工具钢的碳的质量分数一般在 $w_C = 0.85\% \sim 1.5\%$ ，以保证钢淬火后具有高的硬度，并形成足够的合金碳化物，提高耐磨性。常加入的合金元素有铬、锰、硅、钨、钒等其总的质量分数在 5% 以下。其中铬、锰、硅的主要作用是提高钢的淬透性和强度。钨和钒主要作用是在钢中形成硬而稳定的碳化物，提高钢的硬度和耐磨性，并防止钢在加热时的过热现象，保持其细小晶粒。另外，硅还能提高回火稳定性，锰还能提高淬火后的残余奥氏体量，使淬火变形小。常用低合金刀具钢的化学成分见表 6-17。

表 6-17 常用低合金刀具钢的化学成分

统一 数字 代号	牌号	化学成分（质量分数）（%）									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	W	Mo	V	其他
		不大 于									
T30100	9SiCr	0.85	1.20	0.30	0.030	0.95	—	—	—	—	—
		~	~	~		~					

		0.95	1.60	0.60		1.25			
T20111	CrWMn	0.90	≤0	0.80	0.030	0.90	1.20	—	—
		~	.40	~		~	~		
		1.05		1.10		1.20	1.60		
T21110	9CrWMn	0.85	≤0	0.90	0.030	0.50	0.50	—	—
		~	.40	~		~	~		
		0.95		1.20		0.80	0.80		
T20000	9Mn2V	0.85	≤0	1.70	0.030	—	—	—	0.10 Co
		~	.40	~				~	≤1
									.00
		0.95		2.00				0.25	
T30201	Cr2	0.85	≤0	≤0	0.030	1.30			
		~	.40	.40		~			
		0.95				1.70			

(2) 热处理。低合金工具钢的热处理与碳素工具钢基本相同。包括毛坯锻压后、加工前的球化退火和加工后淬火、低温回火。

但由于合金元素的作用，使合金钢的导热性较差，所以形状复杂或截面尺寸较大的刀具淬火加热时，要进行一次 600℃~650℃ 预热。淬火加热时既要保证一部分碳化物溶入奥氏体中，以提高钢的淬透性，又要留有一部分碳化物来提高其耐磨性。因此淬火加热温度要根据刀具的形状尺寸、性能要求等具体确定。淬火冷却时，由于低合金工具钢的淬透性较高，一般可采用油淬、分级淬火或等温淬火。回火温度一般为 160℃~200℃。

淬火、低温回火后的组织为回火马氏体和颗粒状的合金碳化物及少量的残余奥氏体，硬度为 60~65HRC。

(3) 常用低合金工具钢。常用的低合金工具钢有：9SiCr、CrWMn、9Mn2V 等。9SiCr 钢有高的淬透性和回火稳定性，适用于制造变形要求小的薄刃刀具，如丝锥、板牙、铰刀等。CrWMn 钢具有高的淬透性，高的硬度和耐磨性，淬火变形小等特点，它适于制造截面较大、切削刃口不剧烈受热，要求淬火变形小、耐磨性高的工具，如长丝锥、长铰刀、拉刀等。而 9Mn2V 钢的价格低（不含铬），常用以代替 CrWMn 钢。它还可制造磨床主轴、精密丝杠等零件。

总之，由于低合金钢的淬透性、耐磨性及回火稳定性都比碳素工具钢高，热处理后变形开裂倾向小，因此，低合金工具钢广泛用于制造精度要求较高、形状复杂、尺寸较大的低速切削刀具。

3. 高速钢

高速钢又名锋钢，是强硬性、耐磨性很高的高合金工具钢，经热处理后，它能在 600℃ 以下保持 60HRC 以上的硬度。可以满足现代工业在切削加工中高速、大切削量的要求。

(1) 化学成分。高速钢含碳量较高，其质量分数为 $w_c = 0.7\% \sim 1.65\%$ ，并含有大量（总的质量分数大于 10%）的钨、钼、铬、钒等碳化物形成元素。

较高的含碳量可以保证形成足够的合金碳化物，从而获得高的硬度、耐磨性及热硬性。含碳量必须与其它合金元素含量相匹配，过高过低对其性能都有不利影响，每种钢号的含碳量都限定在较窄的范围内。

钨是提高热硬性和回火稳定性的主要元素。它在高速钢中形成碳化物。淬火加热时，一部分碳化物溶入奥氏体，淬火后形成含有钨及其它合金元素的、有很高回火稳定性的马氏体，在 560℃ 左右回火时，以 W_2C 形式弥散析出，造成二次硬化，使高速钢具有高的热硬性，并且提高钢的耐磨性。

钼的作用与钨相似，质量分数为 1% 的钼可以代替 20% 的钨。

铬在高速钢中的主要作用是提高淬透性。几乎所有高速钢中铬的质量分数均为 4% 左右，当

为 4% 时，空冷即可得到马氏体组织。其次铬还能提高钢的抗腐蚀能力及抗氧化脱碳能力。

钒能显著提高钢的硬性、硬度及耐磨性，并能细化晶粒，降低钢的过热敏感性。因此，钒是强碳化物形成元素。淬火加热时部分溶入奥氏体中，并在淬火后存在于马氏体中，回火时提高回火稳定性并产生二次硬化。回火时析出的 VC 具有极高的硬度，同时 VC 极为稳定，在 1200℃ 以上才开始明显溶入奥氏体中，未溶解的 VC 阻碍奥氏体晶粒长大。但钒含量过高，其磨削性能差，一般高速钢中钒的质量分数为 1~4%。

(2) 铸态组织。由于高速钢中含有大量合金元素，使碳在 γ -Fe 中的最大溶解度 E 点显著左移。故高速钢的铸态组织中出现了莱氏体，属于莱氏体钢。铸造高速钢的莱氏体中的共晶碳化物呈鱼骨状，组织和化学成分极不均匀，并且不能用热处理的方法加以消除，必须经过反复锻造才能使其破碎、均匀。

(3) 热处理。高速钢的热处理包括锻造后的退火和加工后的淬火与回火。

高速钢锻造后虽然缓冷，但由于其过冷奥氏体的稳定性高，硬度仍然很高，并产生残余应力。为了改善切削加工性能，消除残余应力并为最后淬火作组织准备，必须进行退火。退火温度为 A_{c1} 以上 30℃~50℃，时间根据其尺寸和装炉量来定，为了缩短退火时间可采用等温退火。退火后的组织为索氏体基本上均匀分布着细小的碳化物颗粒，硬度为 207~255HBS。

高速钢刀具的高硬度、高耐磨及高的红硬性等，只有在正确的淬火回火后才能获得。高速钢淬火、回火的特点是，淬火加热温度高（一般为 1200℃~1300℃），淬火后要在 560℃ 左右多次回火。

高速钢含有大量合金元素，其导热性差，淬火加热温度高，淬火加热时，为了减少热应力，防止变形开裂，必须在 800℃~850℃ 进行预热。对于形状复杂、截面较大的刀具需进行 600℃~650℃ 和 800℃~850℃ 两次预热。

高速钢的淬火加热，不仅是为了得到奥氏体组织，更重要的是在奥氏体晶粒不长大的前提下，使足够的碳和合金元素溶于奥氏体中，从而获得高的红硬性和高的硬度及耐磨性。高速钢的淬火加热温度在 1200~1300℃ 之间。

虽然高速钢空冷也能得到马氏体组织，但空冷时可能析出碳化物，影响红硬性，并使刀具严重氧化，故只有小型刀具才采用空冷，一般淬火冷却多采用盐浴分级淬火或油冷。

高速钢淬火后的组织为细小马氏体、颗粒状的碳化物及较多的残余奥氏体。由于高速钢的 M_s 点较低，淬火后残余奥氏体含量可达 20%~25%。

为了消除淬火应力，减少残余奥氏体量、稳定组织，达到所要求的性能，高速钢淬火后，必须及时回火。

高速钢回火过程组织性能变化比较复杂。在 550~570℃ 回火时硬度最高，甚至超过淬火时硬度而达到 64~66HRC。在这一温区回火时，各类合金碳化物从固溶体中呈细小质点弥散析出

（如 VC、WC 等）使钢的硬度大大提高。与此同时，在此温度区间回火后，残余奥氏体在冷却过程中转变成马氏体，这也使钢的硬度升高，即为“二次硬化”现象。一般高速钢采用 560℃左右回火。由于高速钢中残余奥氏体量多，经过第一次回火后，仍有 10%左右的残余奥氏体未转变，只有经过三次回火后，残余奥氏体才基本转变完。同时，后一次回火，还可对前一次回火冷却时转变的马氏体进行回火。有时，为减少回火次数，也可在淬火后，立即进行冷处理（-60℃~-80℃），然后再进行一次 560℃回火。

高速钢淬火、回火后的组织为极细的回火马氏体和较多的颗粒状碳化物及少量残余奥氏体。硬度为 63~66HRC。

（4）常用高速钢。常用高速钢的牌号、化学成分和力学性能见表 6-18。

表 6-18 常用高速钢的牌号、化学成分和力学性能

牌号	化学成分（质量分数）（%）										热处理制度		洛氏硬度 HRC ≥
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	预 热 温 度/℃	淬火温 度/℃	回火温度 /℃	
						不 大 于				温 盐 度	箱 式 炉		
										℃	℃		
W18Cr4V	0. 70	0. 20	0. 10			3. 80	≤ 0. 00	1. 00	17 . 5	8 2	12 70	油 火	6 3
	~	~	~			~	3	~	~	0	~	~	
	0. 80	0. 40	0. 40		0. 03	4. 40		1. 40	19 . 0	~ 8	12 85	12 85	
										7			
										0			
W6Mo5Cr4V2	0. 80	0. 20	0. 15			3. 80	4. 5	1. 75	5. 50	7 3	12 10	油 火	6 3
	~	~	~			~	~	~	~	0	~	~	
	0. 90	0. 45	0. 40			4. 40	5. 5	2. 20	6. 75	~ 8	12 30	12 30	
										4			
										0			
W9Mo3Cr4V	0. 77	0. 20	0. 20			3. 80	2. 70	1. 30	8. 50	8 2	12 10	油 火	6 3
	~	~	~			~	~	~	~	0	~	~	
	0. 87	0. 40	0. 40			4. 40	3. 30	1. 70	9. 50	~ 8	12 30	12 40	
										7			
										0			

在高速钢中最常用的钢号是 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2、W18Cr4。它的红硬性较高（600℃时，61.5~62HRC），过热敏感性小，磨削性好。但碳化物较粗大，热塑性差，热加工废品率较高。W18Cr4 钢适于制造一般高速钢切削刀具，但不适于作薄刃刀具。

W6Mo5Cr4V2 钢是用钼代替一部分钨并提高了钒的含量，使碳化物细小，热塑性好，便于压力加工，并且热处理后韧性较好，耐磨性高。但加热时易过热与脱碳，红硬性稍差。它适于制造耐磨性与韧性需要较好配合的刀具，如齿轮铣刀、插齿刀等。对于扭制、轧制等热加工成型的薄刃刀具，如麻花钻等，更为适宜。

各种高速钢具有高的热硬性、耐磨性及较高的强度和韧性，不仅可以制作高速切削、大切削量的刀具，也可以制造载荷大、形状复杂、贵重的切削刀具，如拉刀、齿轮铣刀等。此外，还可以应用于冷冲模、冷挤压模及某些要求耐磨性高的零件。但高速钢是较贵重的高合金钢，故应该节约使用。

二、模具钢

模具是机械制造工业中制造零件的主要加工工具。根据其工作条件不同，模具又分为使金属在冷态下成型的冷作模具和在热态下成型的热作模具。由于它们的工作条件不同，性能要求不同因此，用钢和热处理方法也不同。

1. 冷作模具钢

冷作模具是使常温金属变形的模具，如冷冲模、拉延模、冷镦模、冷挤压模等。这类模具在工作过程中，工作部位要承受强烈的磨擦和挤压，弯曲和冲击作用。其失效形式一般是磨损，也有因断裂、崩刃和变形超差而提前报废的。因此冷作模具钢与刀具钢相似，主要要求高硬度、高耐磨及足够的强度与韧性，同时要求高的淬透性。另外，冷变形加工后的零件一般不再加工或很少加工因而还要求热处理时变形要小，以保证模具较高的尺寸精度。

（1）常用钢种。为了满足模具的使用要求，其含碳量一般都较高，以保证获得高的硬度和耐磨性。其碳的质量分数大多在 0.85% 以上。加入铬、锰、硅等合金元素，主要是提高淬透性及强度。钨、钒等则是进一步提高耐磨性并防止加热时产生过热。常用冷作模具钢有以下几种：

①碳素工具钢。碳素工具钢如 T8A、T10A、T12A 等。主要用于工作时受力不大、形状简单、尺寸较小、变形要求不太严的模具。

②低合金工具钢。低合金工具钢如 9SiCr、CrWMn、9Mn2V、GCr15 等。用于制造工作时受力不大，但形状复杂或尺寸较大的模具。

③高碳高铬钢。高碳高铬钢如 Cr12、Cr12MoV、Cr4W2MoV 等。主要用于制造要求高耐磨性、高淬透性和变形量小的高精度、重负荷模具。

④高速钢。高速钢如 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2。主要用于制造冷挤、冷镦模具。

（2）典型钢种的热处理。碳素工具钢、低合金工具钢及高速钢的热处理特点与刀具钢基本相同。但冷作模具对淬火变形的要求比刀具高，更应注意防止淬火变形，一般都采用下限加热温度下面主要介绍 Cr12 型模具钢的热处理。

Cr12 型（高碳高铬钢）模具钢，由于碳、铬含量高，淬火后形成高合金的马氏体和大量的合金碳化物，使钢具有高硬度和高耐磨性，同时大大提高钢的淬透性并且淬火变形小，此外，在较高的淬火温度下，这类钢回火稳定性高，在 300~400℃ 时仍具有很高的硬度。但 Cr12 型钢属于莱氏体钢，铸态下有网状共晶碳化物，必须经过锻造改变其组织形态。然后等温球化退火，退火后硬度为 207~269HBS。

Cr12 型钢经过不同淬火温度后，在不同温度回火时，其硬度变化如图 6-1 所示。由此可见，Cr12 型钢获得高硬度有两种方法：

①一次硬化法。采用较低的淬火温度与较低的回火温度。如 Cr12 钢采用 980℃ 左右淬火，160℃~180℃ 回火，可获得 61~63HRC 的高硬度与高的耐磨性，并且淬火变形小。一般采用此法。

②二次硬化法。采用较高的淬火温度与多次回火。如 Cr12 钢采用 1100℃ 左右淬火，由于加热时碳化物溶解的多，Ms 点低，残余奥氏体多，淬火后硬度较低，但经多次 510℃~520℃ 回火，产生二次硬化，硬度可达到 60~63HRC，可获得较高的热硬性，但韧性较低，变形量较大，适用于在 400℃~500℃ 条件下工作的模具或需进行氮化处理的模具。

Cr12 型钢淬火、回火后组织为回火马氏体和颗粒状的碳化物及少量残余奥氏体。

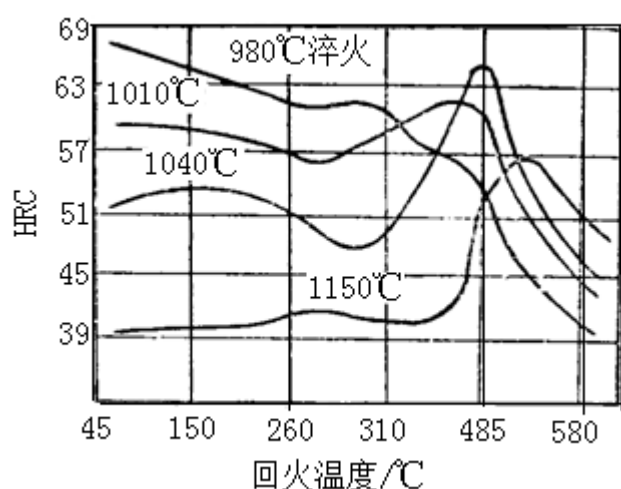


图 6-1 Cr12 钢淬火、回火温度与硬度的关系

2. 热作模具钢

热作模具是用来使液态金属或热态金属获得需要形状的工具。根据模具的具体工作条件，热作模具可分为热锻模、热挤压模和压铸模等。而热挤压模用钢的特性和热处理工艺与压铸模类似。

(1) 热锻模具钢。热锻模是通过冲击加压使被加热金属发生塑性变形的工具。它在工作过程承受很大的冲击载荷、复杂的应力及强烈的磨擦力，同时还要经过反复被加热和冷却。其主要失效形式是产生疲劳裂纹。因此要求热锻模具钢在较高的温度下必须有高的强度、韧性及较好的耐磨性；优良的抗热疲劳性；良好的导热性；较大型锻模还要有高的淬透性等。

为了满足其性能要求，热锻模一般采用碳的质量分数为 0.4%~0.6% 的中碳合金钢，以保证热处理后获得优良的强度与韧性，一定的硬度和耐磨性、良好的导热性。合金元素铬、锰、镍的主要作用是提高淬透性，镍还能提高韧性，合金元素钼的主要作用是提高回火稳定性及防止高温回火脆性。

常用的热锻模具钢有 5CrNiMo、5CrMnMo，其具有良好韧性、强度与耐磨性，并在 500℃~6000℃ 时力学性能几乎不降低，并且淬透性非常好。常用来制造大、中型热锻模。而 5CrMnMo 与 5CrNiMo 相似，用锰代替贵重的镍，使综合力学性能与抗热疲劳性和淬透性稍低，它适用于制造中、小型热锻模。

热锻模经锻造后，需进行退火，退火后的组织为细片状珠光体和铁素体。加工后再进行淬火、回火，以获得要求的使用性能。回火温度按模具大小而定。如表 6-19 所示。

表 6-19 5CrNiMo、5CrMnMo 钢各类锻模硬度及回火温度与回火时间

模具类型	硬度要求(HRC)	回火温度(℃)	回火时间 (h)
小型	44~48	450~500	3~5
中型	40~44	500~540	5~7
大型	36~40	540~580	7~9

(2) 压铸模具钢

压铸模是在高压下使液态金属压铸成形的模具。工作时承受很高的压力，又与高温金属长时间接触，还要受金属液流的冲击和腐蚀作用。所以压铸模除了应具有热锻模要求的性能外，还应具有更高的抗热疲劳性及良好的抗氧化性和耐腐蚀性。

常用的压铸模钢号有 3Cr2W8V、4CrSi、4CrW2Si 等，其中 3Cr2W8V 应用最广。3Cr2W8V 钢碳的质量分数为 0.3%~0.4%，但由于含合金元素多，属于过共析钢。合金元素铬、钨、钒等可使钢的 AC₁ 提高到 820℃~830℃，因而其抗热疲劳性较高。主要用于制造浇注温度较高的铜合金与铝合金的压铸模，也可用于作挤压钢、铜合金的模具。

3Cr2W8V 锻后必须进行球化退火，来改善组织，降低硬度，便于切削加工。切削加工后，一般加热到 1050℃~1150℃空冷或油冷淬火，形状复杂用分级淬火。淬火后在 560℃~660℃范围内 2~3 次回火。淬火、回火后的组织为回火马氏体和粒状碳化物加少量残余奥氏体。

三、量具钢

量具是用来测量工件尺寸的工具，如卡尺、块规、塞规及样板等。对量具的基本要求是在长期使用和存放过程中，保持其尺寸精度。

引起量具尺寸精度降低的原因主要有两个。一个是量具在使用过程中经常与被测工件接触而被磨损；另一个是量具在长期使用和存放过程中由于组织和应力变化引起尺寸变化。为此，量具钢必须有高的硬度和耐磨性；高的尺寸稳定性；足够的韧性；特别精密的量具还要求有良好的耐蚀性。

1. 常用量具钢

常用的量具钢有碳素工具钢、高碳低合金钢及渗碳钢等碳素工具钢，有 T10A、T12A 等，主要用于制造形状简单、精度要求不是很高的量具，如量规、样圈等圆形量具。高碳低合金钢有 GCr15、CrWMn 等，主要用于制造形状复杂、高精度的量具。渗碳钢有 15、20、15Cr、15CrMn 等，主要用于制造长形或平板状量具，并经渗碳、淬火和低温回火后使用。对于要求耐蚀的量具，可用不锈钢制造。

2. 量具的热处理

量具热处理的目的是提高硬度和耐磨性及提高尺寸稳定性。因此，除了要进行球化退火及淬火加低温回火以获得高硬度、高耐磨外，还要采取措施使量具有高的尺寸稳定性。

量具尺寸不稳定的原因有三个：残余奥氏体转变成马氏体，引起体积膨胀；马氏体在使用过程中继续分解，正方度降低，引起体积收缩；残余内应力的存在和重新分布，引起变形。因此，在量具的热处理中，应尽量减少残余奥氏体量，稳定马氏体和消除内应力。采用的措施为：

(1) 淬火。在保证硬度的前提下，尽量降低淬火温度，以减小应力，降低马氏体正方度及残余奥氏体量。

(2) 冷处理。淬火后必须进行冷处理，减少残余奥氏体量。

(3) 回火。一般用低温（ $150^{\circ}\text{C}\sim 160^{\circ}\text{C}$ ）长时间回火，在保证高硬度前提下，尽量降低应力

(4) 时效处理。淬火、回火后，再在 $120^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 进行 24~36 小时的时效处理，尽量使组织变得更加稳定，消除应力。

此外，量具淬火时，一般用分级淬火或等温淬火，以免增加残余奥氏体量而降低尺寸稳定性。