

工模具材料应用手册

HotMold.com 收集整理 欢迎转载

目 录

第一部分

第一章 工具钢	(1)
一、工具钢的分类和特性.....	(8)
1. 高速钢.....	(10)
2. 热模钢.....	(14)
3. 冷模钢.....	(16)
4. 耐冲击钢.....	(20)
5. 低合金特殊用途钢.....	(20)
6. 型腔模钢.....	(21)
7. 水淬工具钢.....	(23)
二、典型的热处理工艺和性能.....	(26)
三、工具钢的性能测试.....	(41)
1. 使用性能.....	(41)
2. 制作性能.....	(43)
四、加工余量.....	(46)
五、粉末冶金钢.....	(50)
六、精铸的热作模具.....	(53)
七、表面处理.....	(54)
八、马氏体时效钢.....	(55)
第二章 超硬工具材料	(57)
一、超硬工具材料的分类.....	(57)
二、硬质合金.....	(64)
三、硬质合金的性能.....	(68)
四、涂层硬质合金.....	(77)

五、镍结碳化钛硬质合金	(80)
六、钢结硬质合金	(82)
七、铸造 Co-Cr-W-Nb-C 合金	(84)
八、陶瓷	(87)
九、多晶立方氮化硼	(90)
十、金刚石	(92)
第三章 工具钢的变形	(95)
一、变形的种类和原因	(96)
二、工具钢的变形尺寸	(98)
三、工具钢的形状变形	(99)
四、控制形状变形的特殊技术	(101)
第四章 切削工具材料的选择	(104)
一、单刃刀具	(104)
二、钻头	(108)
1. 高速钢钻头	(108)
2. 硬质合金钻头	(110)
三、铰刀	(112)
四、丝锥	(113)
五、立铣刀	(114)
六、铣刀	(117)
七、滚刀	(119)
1. 滚刀材料的选择	(119)
2. 影响滚刀材料选择的因素	(120)
第五章 剪切工具材料的选择	(122)
一、金属的冷剪切	(122)
二、金属的热剪切	(124)
三、剪刀的寿命	(126)
四、极薄金属和非金属材料的剪切工具	(128)
1. 工具种类	(128)

2. 机刀材料.....	(129)
第六章 落料模和冲孔模材料的选择.....	(133)
一、模具材料.....	(134)
二、特殊材料的应用.....	(140)
第七章 冲压成形模材料的选择.....	(143)
第八章 拉延模材料的选择.....	(153)
一、模具性能.....	(154)
二、特殊模具材料.....	(156)
三、对有争论的特殊应用问题的材料选择.....	(161)
第九章 强力旋压工具材料的选择.....	(165)
一、工具材料.....	(166)
二、表面的完整性与表面光洁度.....	(167)
第十章 金属加工的轧辊材料的选择.....	(168)
一、轧辊的要求.....	(170)
二、铸铁轧辊.....	(174)
三、铸钢轧辊.....	(177)
四、锻钢轧辊.....	(178)
五、套筒式轧辊.....	(180)
六、其它锻造轧辊.....	(181)
七、硬质合金轧辊.....	(181)
第十一章 压印模材料的选择.....	(183)
一、装饰性压印.....	(183)
二、在级进模中压印.....	(186)
三、工作硬度.....	(188)
四、齿轮和类似零件的压印.....	(188)
五、用粉末冶金钢制作压印模.....	(189)
六、硬质合金压印模.....	(190)
第十二章 冷锻模材料的选择.....	(191)
一、工具钢模具.....	(191)

二、硬质合金模具·····	(192)
三、重复加工和重新刃磨·····	(193)
第十三章 冷挤压模材料的选择 ·····	(194)
一、凸模与凹模材料·····	(195)
二、次要的模具零件·····	(202)
三、特种材料的应用·····	(203)
第十四章 拉拔(丝、棒料和管子)模材料的选择 ·····	(208)
一、拉丝模·····	(208)
二、拉拔棒料和管子·····	(214)
第十五章 闭式热锻模材料的选择 ·····	(218)
一、模具损坏的原因·····	(218)
二、模具材料·····	(220)
三、切边模·····	(229)
四、等温锻造模具·····	(230)
第十六章 热锻模材料的选择 ·····	(233)
一、镦头模与夹紧模·····	(234)
二、附属工具·····	(238)
第十七章 热挤压工具材料的选择 ·····	(240)
一、模具损坏的原因·····	(243)
二、工具材料·····	(244)
第十八章 压铸模材料的选择 ·····	(249)
第十九章 粉末压实模具材料的选择 ·····	(253)
第二十章 塑料与橡胶模材料的选择 ·····	(256)
一、模具材料的选择·····	(258)
二、使用对模具材料选择的影响·····	(265)
三、选择时的其它因素·····	(266)
第二十一章 滚丝模材料的选择 ·····	(268)
第二十二章 量规材料的选择 ·····	(273)
一、量规的材料·····	(273)

二、表面处理·····	(281)
第二十三章 工具材料用于结构件的选择 ·····	(283)
一、抗磨性·····	(283)
二、热硬度·····	(284)
三、韧性·····	(284)
四、耐冲击性·····	(285)
五、热处理的安全性·····	(285)
六、尺寸的稳定性·····	(285)

第二部分

第二十四章 我国的工模具材料概况 ·····	(286)
一、切削工具用钢·····	(287)
1. 切削工具的工作条件和对刀具材料的性能要求·····	(287)
2. 切削工具用钢的一般选择·····	(289)
3. 高速工具钢 (简称高速钢) ·····	(289)
4. 超硬高速钢·····	(295)
5. 粉末冶金高速钢·····	(300)
6. 切削工具用的合金工具钢·····	(301)
二、硬质合金及其它超硬工具材料·····	(304)
1. 硬质合金的性能·····	(304)
2. 硬质合金的分类·····	(305)
3. 新型硬质合金·····	(309)
4. 陶瓷刀具材料·····	(320)
5. 金刚石和立方氮化硼刀具材料·····	(322)
三、冷作模具材料·····	(324)
1. 冷作模具的工作条件和对模具材料的性能要求·····	(324)
2. 冷冲模·····	(326)

3.	冷锻模	(330)
4.	冷挤模	(332)
5.	新型冷作模具钢	(333)
四、	热作模具材料	(339)
1.	热作模具的工作条件和对模具材料的性能 要求	(339)
2.	锤锻模	(340)
3.	热挤压、热锻及精锻模	(346)
4.	新型热作模具钢	(349)
5.	压铸模	(355)
6.	塑料模	(357)
附录 1	本书出现的标准代号	(359)
附录 2	中国、美国、西德、日本工具钢钢号对 照表	(360)
附录 3	本书出现的其它钢材与我国钢号对照表	(364)
附录 4	中国、苏联、美国、瑞典、日本和国际标 准硬质合金牌号对照表	(365)

第一部分

第一章 工具钢

工具钢是一种用于切削、成形等各种工具的钢材，或把它制作成适应于一定用途的零部件。最早的工具钢是简单的碳素钢，但从1868年开始，就发展了多种复杂的高合金的工具钢，并在20世纪初就有很大程度的发展。这些复杂的合金工具钢，由于含有较多的钨、钼、锰和铬等其他元素，就使其有可能满足日益增长的使用要求，并在热处理时能更好的控制尺寸及避免裂纹的形成。许多合金工具钢也广泛地被用于机器零件及构件，以满足一些特别苛刻的使用条件的要求，如高温弹簧、超高强度紧固件、特殊性能要求的阀以及较高温度下工作的各种轴承。

在使用中，大多数工具受到极高的、快速作用的负荷。它们必须经受住这些外加负荷的多次重复作用，不发生断裂，不产生过量的磨损和变形。许多应用场合中，工具钢必须在高温下具备上述能力。但没有一种工具材料可同时既具有最高的耐磨性、韧性，又有高温下最高的抗软化能力。通常在选择工具材料时，对有些性能需要作某些取舍，才能达到使用性能的最佳配合。

大多数工具钢是锻轧的，但也有用精密铸造的。粉末冶金（P/M）法也被用于制造工具钢，并能提供：①在大截面钢材中碳化物的大小及分布更加均匀；②用冶炼、铸造、然后机械加工铸件的方法很难，甚至不可能获得的特殊成分的材料。

对常用的锻轧工具钢，为了保证合金含量和成品的纯净度及

表1

基本类型的

钢号						
AISI	SAE	UNS	C	Mn	Si	
钨高速钢						
M1	M1	T11301	0.78-0.88	0.15-0.40	0.20-0.50	
M2	M2	T11302	0.78-0.88; 0.95-1.05	0.15-0.40	0.20-0.45	
M3, (1)	M3	T11313	1.00-1.10	0.15-0.40	0.20-0.45	
M3, (2)	M3	T11323	1.15-1.25	0.15-0.40	0.20-0.45	
M4	M4	T11304	1.25-1.40	0.15-0.40	0.20-0.45	
M6	...	T11306	0.75-0.85	0.15-0.40	0.20-0.45	
M7	...	T11307	0.97-1.05	0.15-0.40	0.20-0.55	
M10	...	T11310	0.84-0.94; 0.95-1.05	0.10-0.40	0.20-0.45	
M30	...	T11330	0.75-0.85	0.15-0.40	0.20-0.45	
M33	...	T11333	0.85-0.92	0.15-0.40	0.15-0.50	
M34	...	T11334	0.85-0.92	0.15-0.40	0.20-0.45	
M36	...	T11336	0.80-0.90	0.15-0.40	0.20-0.45	
M41	...	T11341	1.05-1.15	0.20-0.60	0.15-0.50	
M42	...	T11342	1.05-1.15	0.15-0.40	0.15-0.65	
M43	...	T11343	1.15-1.25	0.20-0.40	0.15-0.65	
M44	...	T11344	1.10-1.20	0.20-0.40	0.30-0.55	
M46	...	T11346	1.22-1.30	0.20-0.40	0.40-0.65	
M47	...	T11347	1.05-1.15	0.15-0.40	0.20-0.45	
钨高速钢						
T1	T1	T12001	0.65-0.80	0.10-0.40	0.20-0.40	
T2	T2	T12002	0.80-0.90	0.20-0.40	0.20-0.40	
T4	T4	T12004	0.70-0.80	0.10-0.40	0.20-0.40	
T5	T5	T12005	0.75-0.85	0.20-0.40	0.20-0.40	
T6		T12006	0.75-0.85	0.20-0.40	0.20-0.40	
T8	T8	T12008	0.75-0.85	0.20-0.40	0.20-0.40	
T15	...	T12015	1.50-1.60	0.15-0.40	0.15-0.40	
铬热模钢						
H10	...	T20810	0.35-0.45	0.25-0.70	0.80-1.20	
H11	H11	T20811	0.33-0.43	0.20-0.50	0.80-1.20	
H12	H12	T20812	0.30-0.40	0.20-0.50	0.80-1.20	
H13	H13	T20813	0.32-0.45	0.20-0.50	0.80-1.20	
H14		T20814	0.35-0.45	0.20-0.50	0.80-1.20	
H19		T20819	0.32-0.45	0.20-0.50	0.20-0.50	
钨热模钢						
H21	H21	T20821	0.26-0.36	0.15-0.40	0.15-0.50	
H22	...	T20822	0.30-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	

工 具 钢 的 成 分 范 围

成分			Cr	Ni	Mo	W	V	Co
3.50-4.00	0.30	最大	8.20-9.20	1.40-2.10	1.00-1.35	...	...	...
3.75-4.50	0.30	最大	4.50-5.50	5.50-6.75	1.75-2.20	...	...	...
3.75-4.50	0.30	最大	4.75-6.50	5.00-6.75	2.25-2.75	...	...	...
3.75-4.50	0.30	最大	4.75-6.50	5.00-6.75	2.75-3.75	...	...	...
3.75-4.75	0.30	最大	4.25-5.50	5.25-6.50	3.75-4.50	...	...	...
3.75-4.50	0.30	最大	4.50-5.50	3.75-4.75	1.30-1.70	11.00-13.00	...	...
3.50-4.00	0.30	最大	8.20-9.20	1.40-2.10	1.75-2.25	...	...	...
3.75-4.50	0.30	最大	7.75-8.50	...	1.80-2.20	...	...	...
3.50-4.25	0.30	最大	7.75-9.00	1.30-2.30	1.00-1.40	4.50-5.50	...	...
3.50-4.00	0.30	最大	9.00-10.00	1.30-2.10	1.00-1.35	7.75-8.75	...	...
3.50-4.00	0.30	最大	7.75-9.20	1.40-2.10	1.90-2.30	7.75-8.75	...	...
3.75-4.50	0.30	最大	4.50-5.50	5.50-6.50	1.75-2.25	7.75-8.75	...	...
3.75-4.50	0.30	最大	3.25-4.25	6.25-7.00	1.75-2.25	4.75-5.75	...	...
3.50-4.25	0.30	最大	9.00-10.00	1.15-1.85	0.95-1.35	7.75-8.75	...	...
3.50-4.25	0.30	最大	7.50-8.50	2.25-3.00	1.50-1.75	7.75-8.75	...	...
4.00-4.75	0.30	最大	6.00-7.00	5.00-5.75	1.85-2.20	11.00-12.25	...	...
3.70-4.20	0.30	最大	8.00-8.50	1.90-2.20	3.00-3.30	7.80-8.80	...	...
3.50-4.00	0.30	最大	9.25-10.00	1.30-1.80	1.15-1.35	4.75-5.25	...	...
3.75-4.00	0.30	最大	...	17.25-18.75	0.90-1.30	...	...	...
3.75-4.50	0.30	最大	1.00 最大	17.50-19.00	1.80-2.40	...	...	...
3.75-4.50	0.30	最大	0.40-1.00	17.50-19.00	0.80-1.20	4.25-5.75	...	...
3.75-5.00	0.30	最大	0.50-1.25	17.50-19.00	1.80-2.40	7.00-9.50	...	...
4.00-4.75	0.30	最大	0.40-1.00	18.50-21.00	1.50-2.10	11.00-13.00	...	...
3.75-4.50	0.30	最大	0.40-1.00	13.25-14.75	1.80-2.40	4.25-5.75	...	...
3.75-5.00	0.30	最大	1.00 最大	11.75-13.00	4.50-5.25	4.75-5.25	...	...
3.00-3.75	0.30	最大	2.00-3.00	...	0.25-0.75	...	...	...
4.75-5.50	0.30	最大	1.10-1.60	...	0.30-0.60	...	...	...
4.75-5.50	0.30	最大	1.25-1.75	1.00-1.70	0.50 最大	...	...	...
4.75-5.50	0.30	最大	1.10-1.75	...	0.80-1.20	...	...	...
4.75-5.50	0.30	最大	...	4.00-5.25	...	...	...	...
4.00-5.50	0.30	最大	0.30-0.55	3.75-4.50	1.75-2.20	4.00-4.50	...	...
3.00-3.75	0.30	最大	...	8.50-10.00	0.30-0.60	...	...	...
1.75-3.75	0.30	最大	...	10.00-11.75	0.25-0.50	...	...	...

续表

钢号						
AISI	SAE	UNS	C	Mn	Si	
H23	...	T20823	0.25-0.35	0.15-0.40	0.15-0.60	
H24	...	T20824	0.42-0.53	0.15-0.40	0.15-0.40	
H25	...	T20825	0.22-0.32	0.15-0.40	0.15-0.40	
H26	...	T20826	0.45-0.55(b)	0.15-0.40	0.15-0.40	
铝热模钢						
H42	...	T20842	0.55-0.70(b)	0.15-0.40	...	
空冷硬化中合金冷模钢						
A2	A2	T30102	0.95-1.05	1.00 最大	0.50 最大	
A3	...	T30103	1.20-1.30	0.40-0.60	0.50 最大	
A4	...	T30104	0.95-1.05	1.80-2.20	0.50 最大	
A6	...	T30106	0.65-0.75	1.80-2.50	0.50 最大	
A7	...	T30107	2.00-2.85	0.80 最大	0.50 最大	
A8	...	T30108	0.50-0.60	0.50 最大	0.75-1.10	
A9	...	T30109	0.45-0.55	0.50 最大	0.95-1.15	
A10	...	T30110	1.25-1.50(c)	1.60-2.10	1.00-1.50	
高碳高铬冷模钢						
D2	D2	T30402	1.40-1.60	0.60 最大	0.60 最大	
D3	D3	T30403	2.00-2.35	0.60 最大	0.60 最大	
D4	...	T30404	2.05-2.40	0.60 最大	0.60 最大	
D5	D5	T30405	1.40-1.60	0.60 最大	0.60 最大	
D7	D7	T30407	2.15-2.50	0.60 最大	0.60 最大	
油淬冷模钢						
O1	O1	T31501	0.85-1.00	1.00-1.40	0.50 最大	
O2	O2	T31502	0.85-0.95	1.40-1.80	0.50 最大	
O6	O6	T31506	1.25-1.55(c)	0.30-1.10	0.55-1.50	
O7	...	T31507	1.10-1.30	1.00 最大	0.60 最大	
耐冲击钢						
S1	S1	T41901	0.40-0.55	0.10-0.40	0.15-1.20	
S2	S2	T41902	0.40-0.55	0.30-0.50	0.90-1.20	
S5	S5	T41905	0.50-0.65	0.60-1.00	1.75-2.25	
S6	...	T41906	0.40-0.50	1.20-1.50	2.00-2.50	
S7	...	T41907	0.45-0.55	0.20-0.80	0.20-1.00	
低合金特殊用途工具钢						
L2	...	T61202	0.45-1.00(b)	0.10-0.90	0.50 最大	
L6	L6	T61206	0.65-0.75	0.25-0.80	0.50 最大	
低碳型腔模钢						

成分						
Cr	Ni	Mo	W	V	Co	
11.00-12.75	0.30 最大	...	11.00-12.75	0.75-1.25	...	
2.50-3.50	0.30 最大	...	14.00-16.00	0.40-0.60	...	
3.75-4.50	0.30 最大	...	14.00-16.00	0.40-0.60	...	
3.75-4.50	0.30 最大	...	17.25-19.00	0.75-1.25	...	
3.75-4.50	0.30 最大	4.50-5.50	5.50-6.75	1.75-2.20	...	
4.75-5.50	0.30 最大	0.90-1.40	...	0.15-0.50	...	
4.75-5.50	0.30 最大	0.90-1.40	...	0.80-1.40	...	
0.90-2.20	0.30 最大	0.90-1.40	...	...	...
0.90-1.20	0.30 最大	0.90-1.40	...	...	...
5.00-5.75	0.30 最大	0.90-1.40	0.50-1.50	3.90-5.15	...	
4.75-5.50	0.30 最大	1.15-1.65	1.00-1.50	...	...
4.75-5.50	1.25-1.75	1.30-1.80	...	0.80-1.40	...	
...	1.55-2.05	1.25-1.75	...	...	...
11.00-13.00	0.30 最大	0.70-1.20	...	1.10最大	1.00 最大	
11.00-13.50	0.30 最大	...	1.00最大	1.00最大	...	
11.00-13.00	0.30 最大	0.70-1.20	...	1.00最大	...	
11.00-13.00	0.30 最大	0.70-1.20	...	1.00最大	2.50-3.50	
11.50-13.50	0.30 最大	0.70-1.20	...	3.80-4.40	...	
0.40-0.60	0.30 最大	...	0.40-0.60	0.30最大	...	
0.35 最大	0.30 最大	0.30 最大	...	0.30最大	...	
0.30 最大	0.30 最大	0.20-0.30	...	...	...
0.35-0.85	0.30 最大	0.30 最大	1.00-2.00	0.40最大	...	
1.00-1.80	0.30 最大	0.50 最大	1.50-3.00	0.15-0.30	...	
...	0.30 最大	0.30-0.60	...	0.50 最大	...	
0.35 最大	...	0.20-1.35	...	0.35 最大	...	
1.20-1.50	...	0.30-0.50	...	0.20-0.40	...	
3.00-3.50	...	1.30-1.80	...	0.20-0.30(d)	...	
0.70-1.20	...	0.25 最大	...	0.10-0.30	...	
0.60-1.20	1.25-2.00	0.50 最大	...	0.20-0.30(d)	...	

续表

钢号						
AISI	SAE	UNS	C		Mn	Si
P2	...	T51602.....	0.10 最大		0.10-0.40	0.10-0.40
P3	...	T51603.....	0.10 最大		0.20-0.60	0.40 最大
P4	...	T51604.....	0.12 最大		0.20-0.60	0.10-0.40
P5	...	T51605.....	0.10 最大		0.20-0.60	0.40 最大
P6	...	T51606.....	0.05-0.15		0.35-0.70	0.10-0.40
P20	...	T51620.....	0.28-0.40		0.60-1.00	0.20-0.80
P21	...	T51621.....	0.18-0.22		0.20-0.40	0.20-0.40
水淬工具钢						
W1	W108, W109, W110, W112	T72301.....	0.70-1.50(e)		0.10-0.40	0.10-0.40
W2	W209, W210	T72302.....	0.85-1.50(e)		0.10-0.40	0.10-0.40
W5	...	T72305.....	1.05-1.15		0.10-0.40	0.10-0.40

注: (a) 除W组外, 所有各组含Cu 0.25 (最大), P、S 0.03(最大); W组钢含Cu 0.20 (最大), P、S 0.025 (最大)。同时规定H、M和T组中硫可提高0.06~0.15%以改善机加工性能。

(b) 按几种碳含量范围供应。

(c) 显微组织中有游离石墨。

(d) 可任意选择。

(e) 在尾标上注出特殊的含碳范围。

成分					
Cr	Mn	Mo	W	V	Co
0.75-1.25	0.10-0.50	0.15-0.40	...	...	...
0.40-0.75	1.00-1.50	...	...	...	...
4.00-5.25	...	0.40-1.00	...	...	...
2.00-2.50	0.35 最大	...	...	...	...
1.25-1.75	3.25-3.75	...	...	...	...
1.40-2.00	...	0.30-0.55	...	...	...
0.20-0.30	3.90-4.25	...	...	0.15-0.25	1.00-1.25Al
0.15 最大	0.20 最大	0.10 最大	0.15 最大	0.10 最大	...
0.15 最大	0.20 最大	0.10 最大	0.15 最大	0.15-0.35	...
0.40-0.60	0.20 最大	0.10 最大	0.15 最大	0.10 最大	...

均匀性，要精心地选用好的原料（包括废料残渣），工具钢一般在小吨位的电弧炉中冶炼，以便经济地控制成分范围、纯净度及精确地控制冶炼条件。特殊精炼法及二次重熔法也被推荐用于工具钢，以满足对质量和性能提出的特殊要求。中到高合金含量的许多工具钢在锻轧加工过程中会经常发生大量的生产废料，因此，需要小心地控制锻造和轧制。对棒材半成品和成品，要进行严格的检验。包括：对每根棒料的两端进行宏观组织（酸浸）、纯净度及硬度、晶粒尺寸，退火组织及淬透性等的检验，还要用磁性和超声波法检查棒材表面及内部的缺陷。此外，工具钢棒材的退火要求在密封的条件下进行，以减少脱碳。

工具钢由于生产操作精细和质量控制严格，再加上它们的合金元素价值昂贵，因此，工具钢的成本是很高的。制造者对这类专业用钢在质量方面的高要求是有理由的，因为工具钢钢材所制切削和成形工具的价值，一般为钢材成本的好几倍。虽然某些合金结构钢在成分上与工具钢相似，但很少用作贵重的工具，因为它们的质量控制并不像工具钢那样严格。

工具的使用性能取决于工具的设计、制造精度、钢种选用及热处理。只有在上述四方面的要求都得到满足时，工具才能有好的使用性能。

除少数外，所有工具钢必须经过热处理，以获得耐磨性，高负荷下抗变形和抗断裂的能力，以及在高温下抗软化的能力等综合性能。有些形状简单的模块可由生产厂进行热处理。总之，大多数工具钢首先要经过成形或切削加工，达到要求的形状，然后由生产厂或使用厂再进行热处理。

一、工具钢的分类和特性

表1为1978年常用的工具钢成分范围。成分和性能相似的工具钢使用同一大写字母表示，而在同一系内，每个钢种用数码表

示。表 2 所列的工具钢种已被取消，通常已不再应用了。

表2 一般不再使用的工具钢成分

钢号	成分%					
	C	W	Mo	Cr	V	其它
高速钢						
M8	0.80	5.00	5.00	4.00	1.50	1.25Nb
M15	1.50	6.50	3.50	4.00	5.00	5.00Co
M35	0.80	6.00	5.00	4.00	2.00	5.00Co
M45	1.25	8.00	5.00	4.25	1.60	5.50Co
T3	1.05	18.00	...	4.00	3.00	...
T7	0.75	14.00	...	4.00	2.00	...
T9	1.20	18.00	...	4.00	4.00	...
热模钢						
H15	0.40	...	5.00	5.00	...	...
H16	0.55	7.00	...	7.00	...	...
H20	0.35	9.00	...	2.00	...	...
H41	0.65	1.50	8.00	4.00	1.00	...
H43	0.55	...	8.00	4.00	2.00	...
冷模钢						
D1	1.00	...	1.00	12.00	...	...
D6(a)						
A5	1.00	...	1.00	1.00	...	3.00Mn
耐冲击钢						
S3	0.50	1.00	...	0.74	...	...
S4	0.55	...	...	...	...	2.00Si, 0.80Mn
型腔模钢						
P1	0.10	...	...	...	...	...
特殊用途工具钢						
L1	1.00	...	...	1.25	...	...
L3	1.00	...	...	1.50	0.20	...
L4	1.00	...	...	1.50	0.25	0.60Mn
L5	1.00	...	0.25	1.00	...	1.00Mn
L7	1.00	...	0.40	1.40	...	0.35Mn
F1	1.00	1.25	...	...	...	...

续表

钢号	成分%					
	C	W	Mo	Cr	V	其它
F2	1.25	3.50	...	...	...	...
F3	1.25	3.50	...	0.75	...	...
水淬工具钢						
W3	1.00	...	...	...	0.50	...
W4	0.60/1.40(b)	...	...	0.25	...	...
W6	1.00	...	...	0.25	0.25	...
W7	1.00	...	...	0.50	0.20	...

注：(a) 现为表1中的D₃。

(b) 可有不同的含碳量。

规范 工具钢按照 ASTM 几种规范中不同的标准进行生产。参考文献 1 中有许多有用的资料，它们扼要地阐明了大多数工具钢的制造工艺。常常是，个别生产者出于商业上的目的而要求更严格的化学和（或）冶金标准。工具钢的标准规范——ASTM A600、A681 及 A686——可作为订货协议的基础。ASTM A600 中列入了对钨和钼两种高速钢的标准要求；A681 用于热作、冷作、耐冲击、特殊用途及型腔模用钢；A686 适用于水淬工具钢。然而，在很多情况下，工具钢也使用商业名称订购，因为使用者发现：某特定生产厂所制的某种特定的工具钢比按另一种资料订购的相同的 AISI 型工具钢，在特定的应用条件下给出更好的性能。

1. 高速钢

高速钢主要用作高速切削刀具的材料。高速钢分为两类：钼高速钢（M组）及钨高速钢（T组）。M组大约占美国高速钢总生产量的95%。

M组和T组高速钢在使用性能上是相同的，但M组高速钢的主要优点是生产成本较低。（比相近似的T组钢低近40%）。这种成本差别是由于钼的原子量大约为钨的一半，按照某一重量百分

比计算，为提供同样的原子比，需要钼仅仅约为钨的一半。

钼高速钢和钨高速钢在其它很多方面，包括淬透性，也是相似的。M组和T组钢典型的应用包括各类切削刀具。某些牌号用于冷作模具也是令人满意的，如冷镦模的镶块、滚丝模、凸模和落料凹模。M40系列的钢用于制作切削近代的、强韧性和高强度钢的切削刀具。

对于凹模镶块和凸模，为了提高韧性，高速钢常常用低温淬火处理——即在低于推荐用于切削刀具的奥氏体化淬火温度。

钼高速钢 钼高速钢中的基本元素是钼、钨、钒、铬、钴和碳。在相同硬度下，M组钢比T组钢有稍高的韧性。除此之外，这两组钢的机械性能是相似的。

提高M组钢中碳和钒的含量，可增加钢的耐磨性；提高钴含量可改善钢的红硬性，但会降低韧性。由于高的合金含量，M2钢在高温下抗软化能力高于普通的工具钢（见图1）。

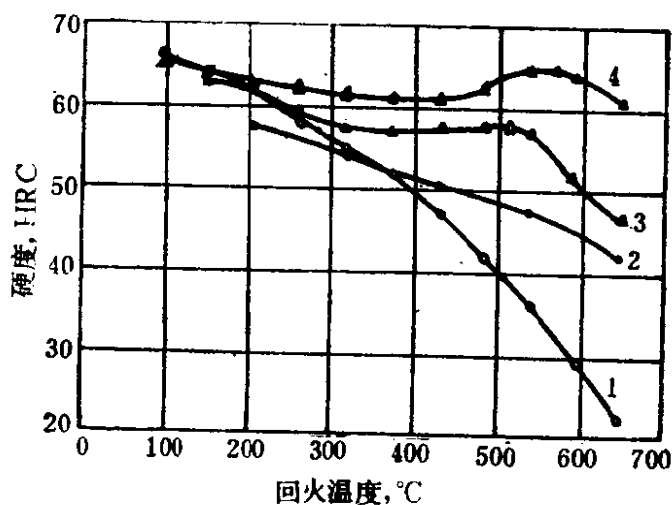


图1 四种典型的工具钢的硬度随回火温度的变化

各曲线皆回火一小时。曲线1表明在高温下有低的抗软化能力，如W和O组工具钢。曲线2表明中等抗软化能力，如S1工具钢。曲线3及4表明有高的和很高的抗软化能力，如分别为有二次硬化的工具钢A2及M2。

由于M组钢在不良的奥氏体化环境下易于脱碳，易产生损耗，它们就比T组钢对淬火条件更敏感些——特别是对奥氏体化

温度及保护气氛中，高钼、低钨的钢尤其如此。

M组钢是深淬透钢。为了防止早期溶化，奥氏体化的温度要低于T组钢。M高速钢在1175~1230℃淬火时可达到最高的硬度水平。M10钢的淬透性低于其它钼高速钢，当截面尺寸大于40~50毫米时，必须使用油淬。

M组钢可能达到的最高硬度会因成分的变化有所不同。对含碳较低——M1、M2、M10（低碳）、M33、M34及M36钢——最高硬度一般为HRC65。含碳较高的M3、M4及M7最高硬度可达约HRC66。低碳高钨的M6钢也可达HRC66。高碳高钨的M41、M42、M43、M44及M46的最高硬度为HRC69~70。但是，M40系钢在工业上很少在这一最高硬度下应用，经常是把回火温度加予控制以便获得硬度HRC66~68。

钨高速钢 钨高速钢中的基本元素是钨、铬、钒、钴及碳。T1钢的出现，部分地是由泰劳（Taylor）和怀特（white）的工作成果。他们早在1900年就发现在含M14%以上，含Cr约4%、含V约0.3%的工具钢在温度高到足以发射可见光的情况下，仍可有高的抗软化能力，换句话说，就是具有红硬性。最早出现T1钢，约含0.68C、18W、4Cr及0.3V。到1920年，钒量被提高到约1%。碳含量目前已提高到0.75%的水平。

T组工具钢以具有高的红硬性和耐磨性为其特征。并有高的淬透性，厚度或直径为75毫米的工件，在油或熔盐中冷却时，硬度可达HRC65以上。由于有高的合金和碳含量，特别是碳和钒分别在1.5%和1.0%以上时，显微组织中存在有大量的硬而耐磨的碳化物。T15钢是这组钢中最耐磨的钢。

由于有高的耐磨性和红硬性的良好配合，T组高速钢可适用于制造许多高性能的切削刀具；用于脆弱刀具和断续切削，其韧性则超过硬质合金。T组工具钢主要用于切削刀具，如刀头、钻头、铰刀、丝锥、拉刀、铣刀及滚刀等。这些钢也可用于制造凹模、凸模、以及重载高温结构件如航空轴承及泵中的零件。

当在推荐的淬火温度 $1200\sim 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 淬火时，T组工具钢都是深淬透的。但很少用它们制造截面尺寸大于75毫米全部淬硬的工具。即使是大型的切削刀具，如直径75毫米和100毫米的钻头，也只要求淬硬较小的有效截面，因为在开排屑槽时，许多金属已被切掉了。某些大直径的整体工具，包括直径大于100毫米至125毫米的拉刀及冷挤压凸模也用T组高速钢制造。对这些工具，表面的硬度是最重要的。

如图2所示，表面和心部硬度的差别是取决于棒材的尺寸，也进一步指出了一般的变化趋势。截面尺寸和总重量对淬火处理后硬度的影响，要等于或大于工具钢种类的影响。对于特大直径或大截面的工具，通常要采用较快的速度冷却，即用油淬火以获得最高的硬度。采用上述操作，仅能比用熔盐或空冷对小于75毫米工件淬火时所得最高硬度值提高 $1\sim 2\text{HRC}$ 。但是在这样高的硬度下，提高一、两个洛氏硬度都可能是十分有意义的。

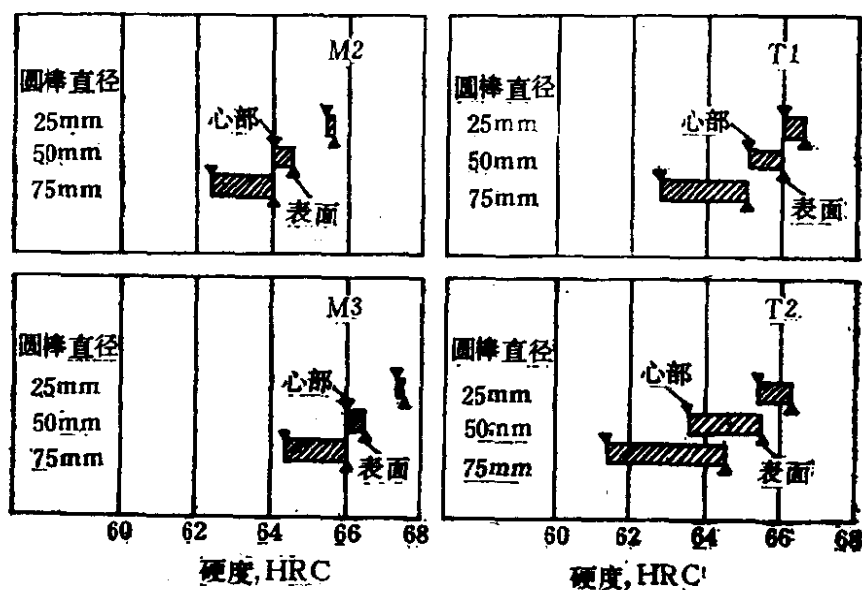


图2 四种高速钢的表面及心部硬度随圆棒直径的变化

M2及M3钢分别经 $1205\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $1230\text{ }^{\circ}\text{C}$ 油淬，T1及T2钢 $1290\text{ }^{\circ}\text{C}$ 油淬。

钨高速钢的最高硬度值依碳含量而变，合金元素含量仅在较

小的程度上起作用。任何高速钢都可获得至少HRC64的硬度。具有高的碳含量及硬的碳化物的那类钢，如T15，硬度可达HRC67。

2. 热模钢

许多机器制造工序包含了在高温下金属的冲裁、剪切或成型。热作模具钢（H组）已发展到能经受伴随上述加工而产生的热，压力和摩擦之联合作用。表3给出这组钢中的四个钢种从480~760℃经100小时后的抗软化能力。

表3 四种热作模具钢的高温抗软化能力

钢号	原始硬度	在下述温度下保持100小时后的硬度(a), HRC					
	HRC	480℃	540℃	600℃	650℃	700℃	760℃
H13	50.2	48.7	45.3	29.0	22.7	20.1	13.9
	41.7	38.6	39.3	27.7	23.7	20.2	13.2
H21	49.2	48.7	47.6	37.2	27.4	19.8	15.2
	36.7	34.8	34.9	32.6	27.1	19.8	14.9
H23	40.8	40.0	40.6	40.8	38.6	33.2	25.8
	38.9	38.9	38.0	38.0	37.1	32.5	25.6
H26	51.0	50.6	50.3	47.1	38.4	26.9	21.3
	42.9	42.4	42.3	41.3	34.9	26.4	21.1

注：(a) 在室温下测定的硬度。

H组工具钢一般含有中等碳量（0.35~0.45%）并含有总量为6~25%铬、钨、钼和钒。这一类钢可分为：铬热作模具钢（H16~H19）、钨热作模具钢（H21~H26）及钼热作模具钢（H42）。

铬热作模具钢 铬热作模具钢（H10~H19）具有良好的高温抗软化能力，这是由于钢中含适量的铬并添加有钼、钨和钒等碳化物形成元素，但在碳和合金元素总含量较低时，在正常的工作硬度（HRC40~50）下，可以有较高的韧性。提高钨和钼的含量可增加热强度，但略降低韧性。钒的加入是为了增加高温时抗冲蚀（腐蚀耗损）能力。硅含量的增加改善800℃以下的高温

抗氧化性能。这类钢中应用最广泛的是 H11、H12、H13 和 H19。

铬热模钢属深淬透钢。截面尺寸小于150毫米的H11、H12、H13在空冷下可得到高的工作硬度；H组的其它钢在截面尺寸小于300毫米时，可空淬硬化。这组钢因空淬性好，合金元素含量适当，淬火时变形较小。铬热作模具钢，适于各种热模具，特别是对铝和镁的挤压模及压铸模、锻模、芯棒及热剪切刀更为适用。因该类钢所含的合金元素和碳量较低，所以，在使用中，进行水冷时，一般可以不导致开裂。

H11钢还被用于制造高应力，特别是用于宇航技术中的一些结构零件。用于这类零件时，材料要采用真空电弧重熔法冶炼。真空电弧重熔法可达到极低的残余气体含量、有优良的显微纯净度及高度的组织均匀性。

H11钢相对一般高强度钢的优点，是在540℃以下可以保持有长时间的抗软化能力，并且在室温下具有良好的综合性能，如韧性、塑性和抗拉强度（1720~2070MPa）。此外，由于有二次硬化特性，H11钢可在高温下进行回火，因此，几乎可完全消除残余硬化应力；有利于在高强度水平下保持高的韧性。H11、H12及H13钢在用于热作模具时的其它主要优点，是易于加工成型，有良好的可焊性，较低的热膨胀系数，有较好的热传导性和抗氧化及抗腐蚀的能力。

钨热作模具钢 钨热作模具钢（H21~H26）中基本的合金元素是碳、钨、铬及钒，这些钢由于合金含量较高，因此具有比H11及H13热作钢更高的抗高温软化及抗冲蚀的能力。然而，高的合金含量也使它们在正常的工作硬度（HRC45~55）下有大的脆性倾向，并使得模具在使用时难于采用水冷。

虽然钨热作模具钢可空冷淬硬，但它们通常仍用油或熔盐淬火，以尽可能减少氧化皮。当空冷淬火时，它们变形较少。钨热作模具钢要求淬火温度高于铬热作钢，当在含氧的大气中加热

时，就更易于产生氧化皮。

这类钢虽然冲击韧性较高，但还是有很多特性是与高速钢相似的；事实上，H26就是一种低碳的T1高速钢。如果将钨热作钢制的模具在使用前预热到操作时的温度，则可将破损减至最小程度。这些钢已用来制造高温下工作的心轴和黄铜、镍基合金及钢的热挤压模，也适于坚固结构的热锻模。

钼热作模具钢 目前应用的只有一种H42钼热作模具钢。它含有钼、铬、钒和碳等元素。钨含量是变动的，它与钨热作钢相似，有着相类似的特性和用途。它的成分虽然类似于一系列钼高速钢，但H42却含有较低的碳，因而具有较高的韧性。H42钢比钨热作钢有生产成本较低，抗热龟裂*较高等优点。但是，通常所有高钼钢都要求热处理时更加小心——特别在防止脱碳及奥氏体化温度的控制方面。

3. 冷模钢

由于冷模钢不含有使钢具有高温抗软化能力的合金元素，所以，一般被限制在不经受200~260℃以上长时或反复加热的工作条件下使用。冷模钢有三种：空冷硬化钢（A组）；高碳高铬钢（D组）；以及油冷硬化钢（O组）。

中合金空冷硬化冷模钢 中合金、空冷硬化冷模钢（A组）含有足够的合金元素，当截面直径在100毫米以下时，完全可以空冷淬硬（A6钢可在边长175毫米的截面上淬透）。A组工具钢淬火时具有最小的变形和最大的可靠性（形成裂纹倾向性最小）。常采用锰、铬和钼这些主要的合金元素，以便增加其深淬透性。A2、A3、A7、A8及A9钢的含铬量高（5%），因而具有良好的高温抗软化能力（图1曲线3为A2钢不同温度回火后的硬度）。

A4、A6及A10含铬量较低（1%），而含锰量较高（2%），可

* 热疲劳——译者注。

以在比高铬钢所要求的淬火温度低100℃的温度下淬火，以进一步减少热处理变形及不希望出现的表面化学反应。

为改善韧性，A8中加入硅，A9及A10中同时加入硅和镍。A10钢由于碳和硅含量高，显微组织中会出现石墨；有助于改善退火状态的机加工性能。在淬硬状态下有高于A组其它工具钢的抗擦伤和咬合性能。

A组工具钢的典型应用包括剪切刀、凸模，落料和切边模、成型模和压印模。由于这些钢特有的尺寸稳定性，因而，适用于制作量规和精密测量工具。另外，A7钢有极好的抗磨损性，适于制造砖模、陶瓷模及其它高磨损之场合。

A组钢中复杂的铬或铬-钒碳化物可进一步提高由马氏体基体提供的耐磨性。因而，这种钢虽然淬到较低硬度，它在磨损工作条件下的使用性能反而比淬到最高硬度更好。虽然大多数工具钢可以空淬即可淬到高硬度，但对大截面工具应当采用吹风冷却或热油分级淬火。

高碳高铬冷模钢 高碳高铬冷模钢（D组）含有1.50~2.35%碳及12%铬，除D3外，还含有1%钼。除D3外，D组钢都是空冷硬化的，且在空气中冷却就可获最高硬度。D3钢通常在油中淬火（小件在真空炉中奥氏体化，然后用气冷淬火）；因而，D3所制工具在淬火时有变形开裂倾向。

D组钢有高的抗软化能力，并有良好的耐磨性——尤其是碳和钒量较高的D7钢。D组的每个钢号——特别是高碳型的D3、D4及D7——因含有大量的碳化物，刃部的脆性有增大的倾向。

D组钢的典型应用包括大批量生产的落料、成型、滚丝和拉延模；铁芯叠片模；制砖模；量规；压光工具；轧辊及各种剪和切刀片。

油淬冷模钢 油冷硬化冷模钢（O组）具有高的碳含量和足够的合金元素，中小截面工件经奥氏体化后，在油中冷却时，

可获得高的硬度。O组工具钢随合金种类以及合金含量不同而异，但它们基本性能是相似的，并且用于相似的用途。O1钢含有锰、铬和钨。O2钢主要含锰。O6钢含有硅、锰和钼，并有高的总含碳量，(包括游离碳及化合碳)可达到最大的淬火硬度。O7钢含有锰及铬，并有比O1钢更高的钨含量。

O组钢由于有高的含碳量，所以在常温下有高的耐磨性，但O组钢的高温抗软化能力则较低。

O组钢在较缓和的淬火介质中，有充分硬化的能力，因此比水淬工具钢变形小、开裂倾向小。如果有必要，这些钢所制的工具还可以成功地用焊接方法进行修补或更新。此外，由于O6钢的显微组织中有石墨，因而可大大改善退火料的机加工性能，并有助于减轻淬硬料的擦伤和咬合磨损。

O组钢广泛用于落料、切边、拉延、翻边和成型模的凸模及凹模。油淬后在175~315℃下回火，表面硬度可达HRC56~62，

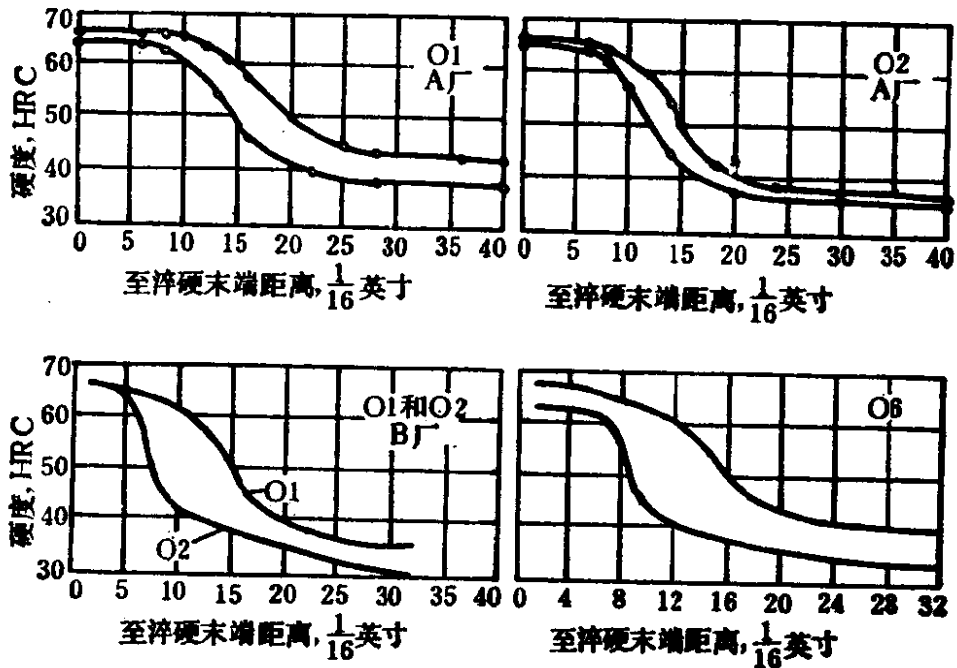


图3 O组工具钢的淬透性带

B厂提供的淬透性带数据各取自O1及O2钢的五个炉号。A厂提供的数据仅为硬度的平均值，不能作为淬透性带。O6原始组织为球化组织。O1和O6钢是815℃淬火，O2是790℃淬火。

O1、O2或O6钢制模具可获得各项机械性能合理的配合。与其它O组钢比，O7钢具有较低的淬透性，但有较好的耐磨性，较多地用于要求有锋利切刃的工具。油淬工具钢也用于机械零件（如凸轮、衬套和导向件）及量规（要求有好的尺寸稳定性及耐磨性）。

O组钢的淬透性用Jominy端淬法测定，其淬透带如图3所示。O组钢圆棒在油中淬火以后，中心、表面及半径3/4处的硬度随直径的变化如图4所示。

在通常的淬火温度下，O组钢保留有较多的未溶碳化物，因

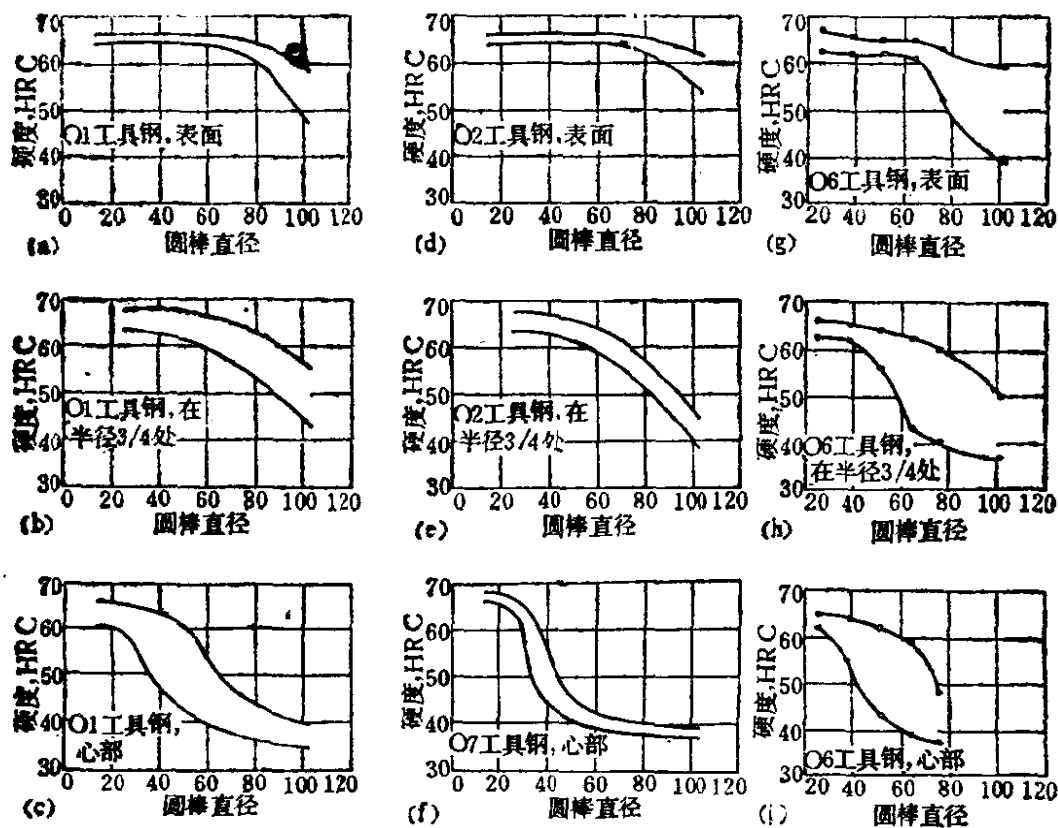


图4 四种油冷硬化工具钢的淬火硬度随试棒直径的变化

(a)、(b)、(d)及(e)的数据各由A厂提供的每种钢五个炉号测定。(c)的数据由B厂提供的O1钢的二十三个炉号测定。(f)由九个炉号得出(来源不详)。(g)、(h)及(i)炉号数及来源皆不详。O2未提供心部硬度数据，O7未提供表面及3/4半径的硬度数据。O1钢在A厂815℃油淬，在B厂则775℃油淬。O2在790℃奥氏体化。O6及O7未提供奥氏体化温度。

而淬硬深度不如合金含量相近而含碳量较低的钢。但O组钢有较高的表面硬度。提高淬火温度,将使晶粒长大,合金元素溶解量增多,使残余碳化物分解消失,因而提高了淬透性。然而,淬火温度的升高可能对机械性能产生不利作用——特别是塑性和韧性——还增加淬火时开裂的可能。

4. 耐冲击钢

耐冲击钢(S组)主要的合金元素是锰、硅、铬、钨和钼,它们取各种不同配比。S组钢的碳含量都在0.50%左右,具有一个高强度、高韧性和低~中耐磨性的综合性能。S组钢主要用于鑿子、铆接用具、冲头、锤头及其它要求高韧性和抗冲击载荷的场合。S1和S7钢也用于要求有一定的耐热性的热冲头及热剪切刀。

S组钢在淬透性方面,从浅淬透(S2)到深淬透(S7)有所差别。对这些中等合金含量的钢,化学成分对淬透性的影响比晶粒大小和冶炼方法等其它因素大,而后者对W组钢的淬透性的影响确是很大的。S组钢要求较高的奥氏体化温度,以获得理想的硬度;因而,未溶碳化物不成为控制淬透性的一个因素。S2钢一般用水淬,S1、S5和S6钢用油淬;S7除大件以外一般用空冷,大件则用油冷淬火。

由于S组钢在高强度下,具有良好的韧性,因此经常被用于非工具或结构件上。其退火和调质状态的S1、S5和S7钢的常规机械性能列于表4。

5. 低合金特殊用途钢

低合金特殊用途工具钢(L组)含有少量铬、钒、镍和钼。过去这组钢中共有七个钢种,但由于需求的减少,只保留了L2及L6钢。L2钢可以在0.50~1.10%的范围内选取不同的碳含量,它的主要合金元素是铬和钒,是细晶粒的油淬钢;L6含有少量铬和钼,加上1.50%的镍可提高韧性。

虽然L2和L6一般被认为是油淬钢,但大截面的L2经常采

用水冷淬火。含碳0.50%的L2钢可在油淬后获得HRC57硬度,但当截面厚度大于13毫米时,将不能淬透。L6钢含碳为0.70%时,淬火态的硬度约为HRC64;截面厚度在75毫米以上时,可淬到硬度HRC60以上。

L组钢一般用于机器零件,如心轴、凸轮、卡盘、弹性卡头及其它要求高强度和韧性的特殊用途。L2及L6钢退火和调质状态的常规机械性能列于表4。

6. 型腔模钢

型腔模钢(P组)所含的主要合金元素为铬和镍。P2~P6钢是按照工具钢的质量标准生产的渗碳钢。它们在退火态有很低的硬度和低的抗加工硬化能力。因而可采用冷挤压法制造模具型腔。在型腔成型后,模具经渗碳、淬火和回火到表面硬度HRC58左右。P4和P6是深淬透钢;P4钢空冷时渗碳表面可以淬透。

P20和P21钢通常供货时已热处理到HRC30~36,在这种状态,可以很容易地进行切削加工,制成大型及复杂的模具。由于这些钢是预先热处理好的,加工成型后不需作高温热处理,故可避免变形和尺寸变化。然而,当用于塑料成型模时,P20钢有时在机加工型腔后要进行渗碳与淬火。P21是一种含铝的析出硬化钢,在预先淬火到HRC32~36的硬度下使用。经机加工和低温时效后,在和生产实际一样大的大截面上,P21钢硬度可达到HRC38~40。

除P4及P21外,所有P组钢都具有低的高温抗软化能力,P4和P21则只有中等的高温抗软化能力。P组钢几乎专门用于低温的压铸模及塑料注射模或压胶模。塑料模常常要求庞大的钢块,有时厚度可达750毫米,重量可达10吨。这些大模块往往对无疵病、纯净度和淬透性有严格的要求。用电炉、真空脱氧和特殊脱氧处理已经成为P组工具钢的标准生产方法。另外,浇铸和锻造方法已被改进,以获得高度均匀性。

表4 L和S组工具钢的室温常规机械性能

钢号	状态	抗拉强度 MPa*	0.2% 屈服 强度MPa	延伸率 (a)%	断面 收缩率%	硬度 HRC	冲击 韧性J
L2	退火	710	510	25	50	HRB96	...
	855℃ 油淬并回火						
	205 ℃	2000	1790	5	15	54	28(b)
	315 ℃	1790	1655	10	30	52	19(b)
	425 ℃	1550	1380	12	35	47	26(b)
	540 ℃	1275	1170	15	45	41	39(b)
	650 ℃	930	760	25	55	30	125(b)
L6	退火	655	380	25	55	HRB93	...
	845℃ 油淬并回火						
	315 ℃	2000	1790	4	9	54	12(b)
	425 ℃	1585	1380	8	20	46	18(b)
	540 ℃	1345	1100	12	30	42	23(b)
	650 ℃	965	830	20	48	32	81(b)
S1	退火	690	415	24	52	HRB96	...
	930℃ 油淬并回火						
	205 ℃	2070	1895	...	...	57.5	249(c)
	315 ℃	2030	1860	4	12	54	233(c)
	425 ℃	1790	1690	5	17	50.5	203(c)
	540 ℃	1680	1525	9	23	47.5	230(c)
	650 ℃	1345	1240	12	37	42	...
S5	退火	725	440	25	50	HRB96	...
	870℃ 油淬并回火						
	205 ℃	2345	1930	5	20	59	206(c)
	315 ℃	2240	1860	7	24	58	232(c)
	425 ℃	1895	1690	9	28	52	243(c)
	540 ℃	1520	1380	10	30	48	188(c)
	650 ℃	1035	1170	15	40	37	...
S7	退火	640	380	25	55	HRB95	...
	940℃ 风扇冷却并回火						

续表

钢号	状态	抗拉强度 MPa	0.2% 屈服 强度MPa	延伸率 (a)%	断面 收缩率	硬度 HRC	冲击 韧性J
205	℃	2170	1450	7	20	58	244(c)
315	℃	1935	1585	9	25	55	309(c)
425	℃	1895	1410	10	29	53	243(c)
540	℃	1820	1380	10	33	51	324(c)
650	℃	1240	1035	14	45	39	358(c)

注：(a) 在50毫米内。

(b) 夏氏V-缺口。

(c) 夏氏无缺口。

• 1MPa=0.102公斤(力)/毫米², 1J=0.102公斤(力)·米——译注。

7. 水淬工具钢

水淬工具钢(W组)中, 碳是基本的合金元素。大多数W组钢中加入少量铬和钒——铬提高淬透性和耐磨性, 而钒则可极大地细化晶粒, 提高韧性。W组钢可按几个不同的额定碳量生产(从0.60~1.40%); 最常用的为含碳约1.00%的钢。

W组钢是表面硬化工具钢, 所以甚至在激烈的淬火条件下也只能获得很薄的淬硬层。厚度大于13毫米的截面, 一般淬火后得到的是硬的表层, 包着一个强、韧而有弹性的心部。

W组钢的高温抗软化能力差。它们适用于冷镦、冲压、压印和压花模具; 木工工具; 硬性金属切削刀具如丝锥和铰刀; 耐磨的机床零件; 以及刃具等。

W组中相同名义成分的钢, 又可按四个不同的等级或质量水平进行生产。这些质量水平由不同的制造厂给出不同的名称, 其质量变化范围, 可从严格控制淬透性、晶粒大小、显微组织和退火硬度的纯碳素工具钢到控制不太严格, 但令人满意地适用于非临界低生产率应用条件下的级别。

美国汽车工程师协会(SAE)将碳素工具钢分为四个级别:

① 专用级, 它是具有最高质量水平的水淬工具钢。要严格

控制淬透性，限制成分范围。对棒材要经受严格的检验以保证使用性能的均一性。

② 特别级，它是高质量的水淬工具钢。要控制淬透性，并进行质量检验，以保证在一般的使用条件下有良好的性能。

③ 标准级，它是有良好质量的水淬工具钢。不控制淬透性。推荐用于对质量均一性要求不太严格的工具。

④ 商业级，它是一般质量的水淬工具钢。既不控制淬透性，也不作特殊检验。

“专用”和“特别”级的钢一般对锰、硅和铬含量范围不提出严格要求，而用谢菲尔德 (Shepherd) 淬透性带取代：

淬透性类别	径向淬硬层深度(P*)	最小的断口晶粒度(F)
	0.4毫米($\frac{1}{64}$ 英寸)	级
碳含量0.70~0.95%		
浅	最大10	8
正常	9~13	8
深	最小12	8
碳含量0.95~1.30%		
浅	最大 8	9
正常	7~11	9
深	10~16	8

*: 1P=0.4毫米 (1/64吋) ——译注

(有关谢菲尔德淬透性的资料，详见本章“工具钢的性能测试”)。

在“标准级”和“商业级”的钢中，锰、硅和铬的总含量不应超过0.75%。通常，所有“标准级”和“商业级”钢中锰和硅都达0.35%(最大)；铬在“标准级”中达0.15%(最大)，在“商业级”中达0.20%(最大)。

在许多情况下，W组钢的使用性能主要取决于淬硬层深度。

而这组钢的淬硬深度主要受奥氏体晶粒大小、冶炼方法、合金含量、淬火温度下过剩碳化物数量，以及在较小程度上还受淬火加热前原始组织所控制。

谢菲尔德PF试验的结果表明，对同一级钢，奥氏体晶粒每提高一个ASTM号，P值增加0.80毫米($\frac{2}{64}$ 英寸)。淬火时未溶碳化物数量的增多将使淬透性下降。这对过共析钢是更为重要的，因为这些钢为提高耐磨性，能淬火时要求保留一定量的未溶碳化物。淬火前为细片状的显微组织（例如正火态），在淬火后的未溶碳化物数量要比球化的少些。减少奥氏体化温度下的碳化物数量，可提高淬透性，因为更多的碳化物溶入奥氏体，减少了可作为非马氏体转变产物核心的碳化物。因此同级的正火棒材比球化棒材的淬透性深。

钒的加入，往往由于在正常淬火条件下会存在大量细小碳化物而降低淬透性，这些细小碳化物不仅可作为非马氏体转变产物之核心，而且还细化奥氏体晶粒。若高于正常的加热温度，因过剩碳化物的溶解，从而可使淬透性提高。

碳含量低于共析成分的W组钢，其淬透性往往高于亚共析钢。其原因之一是采用了比亚共析钢更高的奥氏体化温度，从而使晶粒长大，提高了淬透性，另一原因是亚共析钢在奥氏体化温度下不存在过剩碳化物。

图5示出了三种W1工具钢圆棒直径和硬化层(HRC60或更

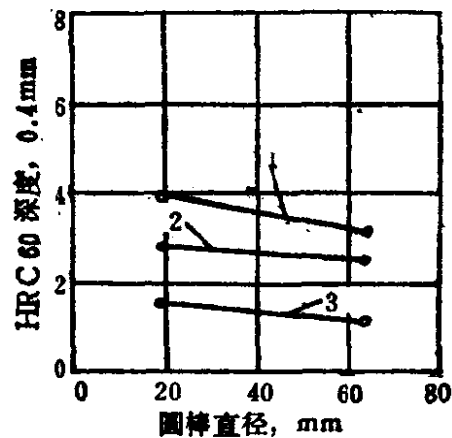


图5 含碳1%的W1钢，三个淬透性级别的淬硬层深度与圆棒直径的关系

1—深淬透 2—中淬透 3—浅淬透

高)深度之间的关系,这三种钢具有相同的碳含量(1% C),但淬透性不同。淬透性的变化是由锰、硅含量及脱氧方法的不同所引起。这些关系表明了在选择钢的级别时,在技术条件中精确地规定淬透性是必要的;不按淬透性要求购买来的W组工具钢,可能在性能上会有很大的差异,导致使用过程的困难或实际上不能使用。

W组钢淬火时,若采用快速冷却,则有较大的淬裂倾向。因而,大多数制造者宁愿采用可顺利地在油或空气中冷却淬硬的工具钢,以免淬火开裂等造成的损失。

二、典型的热处理工艺和性能

表5~7简明地列出了有关工具钢的生产工艺和使用特性的数据。这些资料是了解包含工具钢的选用、工艺和应用等问题的基础。

各种钢的更详细的热处理资料可在金属手册中的热处理部分*查到。有关高温下抗软化能力的更详细的资料,即硬度随回火温度而变化,已在图1中作了概括。本章涉及的大多数工具钢,其类似的曲线,见参考文献2。

在工具钢的技术样本中,各厂都给出热处理后的性能数据。参考这些数据,可以花费最低的总成本,获得最大程度地满足使用条件要求的性能。

某些工具钢的物理性能——密度、热膨胀和热传导——在表8和9中给出。

• 本书未译——校者注。

表5

工具钢的正火和退火温度

钢号	正火温度(a)	退火(b)		硬度 HB
	℃	温度 ℃	冷速不大于℃/小时	
钨高速高				
M1, M10	不作正火	815~870	22	207~235
M2	不作正火	870~900	22	212~241
M3, M4	不作正火	870~900	22	223~255
M6	不作正火	870	22	248~277
M7	不作正火	815~870	22	217~255
M30, M33,				
M34, M36,				
M41, M42,				
M46, M47	不作正火	870~900	22	235~269
M43	不作正火	870~900	22	248~269
M44	不作正火	870~900	22	248~293
钨高速钢				
T1	不作正火	870~900	22	217~265
T2	不作正火	870~900	22	223~255
T4	不作正火	870~900	22	229~269
T5	不作正火	870~900	22	235~277
T6	不作正火	870~900	22	248~293
T8	不作正火	870~900	22	229~255
T15	不作正火	870~900	22	241~277
铬热模钢				
H10, H11,				
H12, H13,	不作正火	845~900	22	192~229
H14	不作正火	870~900	22	207~235
H19	不作正火	870~900	22	207~241
钨热模钢				
H21, H22,				
H25	不作正火	870~900	22	207~235
H23	不作正火	870~900	22	212~255

续表

钢号	正火温度(a)	温度 ℃	退火(b)	硬度 HB
	℃		冷速不大于℃/小时	
H24, H26, 铝热模钢	不作正火	870~900	22	217~241
H41, H43, H42	不作正火 不作正火	815~870 845~900	22 22	207~235 207~235
高碳高铬冷模钢				
D2, D3, D4	不作正火	870~900	22	217~255
D5	不作正火	870~900	22	223~255
D7	不作正火	870~900	22	235~262
中合金空冷硬化冷模钢				
A2	不作正火	845~870	22	201~229
A3	不作正火	845~870	22	207~229
A4	不作正火	740~760	14	200~241
A6	不作正火	730~745	14	217~248
A7	不作正火	870~900	14	235~262
A8	不作正火	845~870	22	192~223
A9	不作正火	845~870	14	212~248
A10	不作正火	765~795	8	235~269
油淬冷模钢				
O1	870	760~790	22	183~212
O2	845	745~775	22	183~212
O6	870	765~790	11	183~217
O7	900	790~815	22	192~217
耐冲击钢				
S1	不作正火	790~815	22	183~229(c)
S2	不作正火	760~790	22	192~217
S5	不作正火	775~800	14	192~229
S7	不作正火	815~845	14	187~223
型腔模钢				

续表

钢号	正火温度(a)		退火(b)		硬度 HB
	℃	温 度 ℃	冷速不大于℃/小时	温 度 ℃	
P2	不要求	730~815	22		103~123
P3	不要求	730~815	22		109~137
P4	不作正火	870~900	14		116~128
P5	不要求	845~870	22		105~116
P6	不要求	845	8		183~217
P20	900	760~790	22		149~179
P21	900				
低合金特殊用途钢					
L2	871~900	760~790	22		163~197
L3	900	790~815	22		174~201
L6	870	760~790	22		183~212
碳-钨特殊用途钢					
F1	900	760~800	22		183~207
F2	900	790~815	22		207~235
水淬钢					
W1, W2	790~925(d)	740~790(e)	22		156~201
W5	870~925	760~790	22		183~201

注: (a) 各温度下的保温时间: 小截面为15分, 大截面为1小时。在空气中冷却。正火不应与低温退火相混。

(b) 上限用于大截面, 下限用于小截面。各温度下的保温时间, 小截面为1小时, 大截面及大批量装炉的高合金钢4小时。

(c) 对于25Si的钢, HB为183~207; 对于1.00Si钢, 为HB207~229。

(d) 温度随含碳量而变化: 0.60~0.75C, 816℃; 0.75~0.90C, 788℃; 0.90~1.10C, 871℃; 1.10~1.40C, 871~927℃。

(e) 温度随含碳量而变化: 0.60~0.90C, 738~788℃; 0.90~1.40C, 760~788℃。

表6

工具钢的淬火和回火

钢号	加热速度	预热温度 ℃	淬火温度 ℃	在淬火温度 下的时间,分	淬火介质 (a)	回火温度 ℃
钨高速钢						
M1, M7						
M10	预热后快速加热	730~845	1177~1219	2~5	O, A或S	540~595(c)
M2	预热后快速加热	730~845	1190~1230	2~5	O, A或S	540~595(c)
M3, M4, M30,						
M33, M34	预热后快速加热	730~845	1200~1230(b)	2~5	O, A或S	540~595(c)
M5	预热后快速加热	790	1180~1200(b)	2~5	O, A或S	540~595(c)
M36	预热后快速加热	730~845	1220~1250(b)	2~5	O, A或S	540~595(c)
M41	预热后快速加热	730~845	1190~1220(b)	2~5	O, A或S	540~595(d)
M42	预热后快速加热	730~845	1190~1210(b)	2~5	O, A或S	510~595(d)
M43	预热后快速加热	730~845	1190~1220(b)	2~5	O, A或S	510~595(d)
M44	预热后快速加热	730~845	1200~1230(b)	2~5	O, A或S	540~625(d)
M46	预热后快速加热	730~845	1190~1220(b)	2~5	O, A或S	525~565(d)
M47	预热后快速加热	730~845	1180~1200(b)	2~5	O, A或S	525~595(d)
钨高速钢						
T1, T2						
T4, T8	预热后快速加热	815~870	1260~1300(b)	2~5	O, A或S	540~595(c)
T5, T6	预热后快速加热	815~870	1270~1300(b)	2~5	O, A或S	540~595(c)
T15	预热后快速加热	815~870	1200~1260(b)	2~5	O, A或S	540~650(d)
钨热模钢						
H10	预热后中速加热	815	1010~1040	15~40(e)	A	540~650
H11, H12	预热后中速加热	815	995~1020	15~40(e)	A	540~650
H13	预热后中速加热	815	995~1040	15~40(e)	A	540~650
H14	预热后中速加热	815	1010~1070	15~40(e)	A	540~650
H19	预热后中速加热	815	1090~1200	2~5	A或O	540~705
钨热模钢						
H21, H22	预热后快速加热	815	1090~1200	2~5	A或O	595~675
H23	预热后快速加热	845	1204~1260	2~5	O	650~815
H24	预热后快速加热	815	1090~1230	2~5	O	565~650

续表

钢号	加热速度	预热温度 ℃	淬火温度 ℃	在淬火温度 下的时间,分	淬火介质 (a)	回火温度 ℃
H25	预热后快速加热	815	1150~1260	2~5	A或O	565~675
H26	预热后快速加热	870	1180~1260	2~5	O, A或S	565~675
钨热模钢						
H41, H43	预热后快速加热	730~845	1090~1190	2~5	O, A或S	565~650
H42	预热后快速加热	730~845	1120~1220	2~5	O, A或S	565~650
高碳高铬冷模钢						
D1, D5	缓慢地加热	815	980~1020	15~45	A	205~540
D3	缓慢地加热	815	925~ 980	15~45	O	205~540
D4	缓慢地加热	815	970~1010	15~45	A	205~540
D7	缓慢地加热	815	1010~1070	30~60	A	150~540
中合金空冷硬化冷模钢						
A2	慢速加热	790	925~ 980	20~45	A	175~540
A3	慢速加热	790	955~ 980	25~60	A	175~540
A4	慢速加热	675	815~ 870	20~45	A	175~425
A6	慢速加热	650	830~ 870	20~45	A	150~425
A7	缓慢地加热	815	955~ 980	30~60	A	150~540
A8	慢速加热	790	980~1010	20~45	A	175~595
A9	慢速加热	790	980~1020	20~45	A	510~620
A10	慢速加热	650	790~ 815	30~60	A	175~425
油淬冷模钢						
O1	慢速加热	650	790~ 815	10~30	O	175~260
O2	慢速加热	650	760~ 800	5~20	O	175~315
O6	慢速加热	...	790~ 815	10~30	O	175~315
O ⁻	慢速加热	650	W, O, 790~ 830 845~ 885	10~30	O或W	175~290
耐冲击钢						
S1	慢速加热	...	900~ 955	15~45	O	205~650
S2	慢速加热	650(f)	845~ 900	5~20	B或W	175~425
S5	慢速加热	760	870~ 925	5~20	O	175~425

续表

钢号	加热速度	预热温度 ℃	淬火温度 ℃	在淬火温度 下的时间,分	淬火介质 (a)	回火温度 ℃
S7	慢速加热	650~705	925~955	15~45	A或O	205~620
型腔模钢						
P2		900~925(g)	830~845(h)	15	O	176~260
P3		900~925(g)	800~830(h)	15	O	175~260
P4		970~995(g)	970~995(h)	15	A	175~480
P5		900~925(g)	845~870(h)	15	O或W	175~260
P6		900~925(g)	790~815(h)	15	A或O	175~230
P20		870~900(h)	815~870	15	O	480~595(j)
P21(K)	慢速加热	不预热	705~730	60~180	A或O	510~550
低合金特殊用途钢						
L2	慢速加热	---	W, 790~845 O, 845~925		O或W	175~540
L3	慢速加热	---	W, 775~815 O, 815~870	10~30	O或W	175~315
L6		---	790~845	10~30	O	175~540
铬钨特殊用途钢						
F1, F2	慢速加热	650	790~870	15	W或B	175~260
水淬钢						
W1, W2						
W3	慢速加热	565~650(m)	760~815	10~30	B或W	175~345

注: (a) O=油淬; A=空冷; S=盐浴淬火; W=水淬; B=盐水淬。

(b) 当高温加热在盐炉内进行时, 此温度范围应低于本栏所示值约 14℃。

(c) 建议两次回火, 每次不短于1小时。

(d) 建议三次回火, 每次不短于1小时。

(e) 适用于箱式炉热处理的加热时间。装箱时, 一般按箱子横截面每25毫米加热30分钟计算。

(f) 用于大工具以减少脱碳。

(g) 渗碳温度。

(h) 渗碳后。

(j) 对非渗碳体的回火。(原文此处注解为“渗碳层硬度”, ——译注。)

(k) P21为析出硬化型钢, 热处理为固溶处理加时效, 而不是淬火、回火。

(m) 建议用于大工具和截面形状复杂的工具。

表7

工具钢的生产工艺和使用特性

AISI		淬火和回火				加工和使用			
钢号	抗脱碳能力	淬透性	变形量 (a)	抗开裂能力	硬度范围 HRC(b)	机加工性	韧性	抗软化能力	耐磨性
钨高速钢									
M1	低	深	A或S, 小 O, 中	中	60~65	中	低	很高	很高
M2	中	深	A或S, 小 O, 中	中	60~65	中	低	很高	很高
M3(级1和 级2)	中	深	A或S, 小 O, 中	中	61~66	中	低	很高	很高
M4	中	深	A或S, 小 O, 中	中	61~66	差~中	低	很高	最高
M6	低	深	A或S, 小 O, 中	中	61~66	中	低	最高	很高
M7	低	深	A或S, 小 O, 中	中	61~66	中	低	很高	很高
M10	低	深	A或S, 小 O, 中	中	60~65	中	低	很高	很高
M30	低	深	A或S, 小 O, 中	中	60~65	中	低	最高	很高
M33	低	深	A或S, 小 O, 中	中	60~65	中	低	最高	很高
M34	低	深	A或S, 小 O, 中	中	60~65	中	低	最高	很高
M36	低	深	A或S, 小 O, 中	中	60~65	中	低	最高	很高
M41	低	深	A或S, 小 O, 中	中	65~70	中	低	最高	很高
M42	低	深	A或S, 小 O, 中	中	65~70	中	低	最高	很高

续表

AISI		淬火和回火					加工和使用			
钢号	抗脱碳能力	淬透性	变形量 (a)	抗开裂能力	硬度范围 HRC(b)	机加工性	韧性	抗软化能力	耐磨性	
M43	低	深	A或S, 小 O, 中	中	65~70	中	低	最高	很高	
M44	低	深	A或S, 小 O, 中	中	62~70	中	低	最高	很高	
M46	低	深	A或S, 小 O, 中	中	67~69	中	低	最高	很高	
M47	低	深	A或S, 小 O, 中	中	65~70	中	低	最高	很高	
钨高速钢										
T1	高	深	A或S, 小 O, 中	高	60~65	中	低	很高	很高	
T2	高	深	A或S, 小 O, 中	高	61~66	中	低	很高	很高	
T4	中	深	A或S, 小 O, 中	中	62~66	中	低	最高	很高	
T5	低	深	A或S, 小 O, 中	中	60~65	中	低	最高	很高	
T6	低	深	A或S, 小 O, 中	中	60~65	差~中	低	最高	很高	
T8	中	深	A或S, 小 O, 中	中	60~65	中	低	最高	很高	
T51	中	深	A或S, 小 O, 中	中	63~68	差~中	低	最高	最高	
铬热模钢										
H10	中	深	很小	最高	39~56	中~好	高	高	中	
H11	中	深	很小	最高	38~54	中~好	很高	高	中	
H12	中	深	很小	最高	38~55	中~好	很高	高	中	
H13	中	深	很小	最高	38~53	中~好	很高	高	中	
H14	中	深	小	最高	40~47	中	高	高	中	
H19	中	深	A, 小 O, 中	最高	40~57	中	高	高	中~高	
钨热模钢										

续表

AISI		淬火和回火				加工和使用			
钢号	抗脱碳能力	淬透性	变形量 (a)	抗开裂能力	硬度范围 HRC(b)	机加工性	韧性	抗软化能力	耐磨性
H21	中	深	A, 小 O, 中	高	36~54	中	高	高	中~高
H22	中	深	A, 小 O, 中	高	39~52	中	高	高	中~高
H23	中	深	中	高	34~47	中	中	很高	中~高
H24	中	深	A, 小 O, 中	高	45~55	中	中	很高	高
H25	中	深	A, 小 O, 中	高	35~44	中	高	很高	中
H26	中	深	A或S, 小 O, 中	高	43~58	中	中	很高	高
铝热模钢									
H42	中	深	A或S, 小 O, 中	中	50~60	中	中	很高	高
空冷硬化中合金冷模钢									
A 2	中	深	最小	最高	57~62	中	中	高	高
A 3	中	深	最小	最高	57~65	中	中	高	很高
A 4	中~高	深	最小	最高	54~62	差~中	中	中	中~高
A 6	中~高	深	最小	最高	54~60	差~中	中	中	中~高
A 7	中	深深	最小	最高	57~67	差	中低	中高	最高
A 8	中	深	最小	最高	50~60	中	高	高	中~高
A 9	中	深	最小	最高	35~56	中	高	高	中~高
A 10	中~高	深	最小	最高	55~62	中~好	中	中	高
高碳高铬冷模钢									
D 2	中	深	最小	最高	54~61	差	低	高	高~很高
D 3	中	深	很小	高	54~61	差	低	高	很高
D 4	中	深	最小	最高	54~61	差	低	高	很高
D 5	中	深	最小	最高	54~61	差	低	高	高~很高
D 7	中	深	最小	最高	58~65	差	低	高	最高
油淬冷模钢									
O 1	高	中	很小	很高	57~62	好	中	低	中
O 2	高	中	很小	很高	57~62	好	中	低	中

续表

AISI		淬火和回火				加工和使用			
钢号	抗脱碳能力	淬透性	变形量 (a)	抗开裂能力	硬度范围 HRC(b)	机加工性	韧性	抗软化能力	耐磨性
O6	高	中	很小	很高	58~63	最好	中	低	中
O7	高	中	W, 大 O, 很小	W, 低 O, 很高	58~64	好	中	低	中
耐冲击钢									
S1	中	中	中	高	40~58	中	很高	中	低~中
S2	低	中	大	低	50~60	中~好	最高	低	低~中
S5	低	中	中	高	50~60	中~好	最高	低	低~中
S6	低	中	中	高	54~56	中	很高	低	低~中
S7	中	深	A, 最小 O, 小	A, 最高 O, 高	45~57	中	很高	高	低~中
低合金特殊用途钢									
L2	高	中	W, 小 O, 中	W, 高 O, 中	45~63	好	很高(c)	低	低~中
L6	高	中	小	高	45~62	中	很高	低	中
低碳型腔模钢									
P2	高	中	小	高	58~64(c)	中~好	高	低	中
P3	高	中	小	高	58~64(c)	中	高	低	中
P4	高	深	很小	高	58~64(c)	差~中	高	中	高
P5	高	...	W, 大 O, 小	高	58~64(c)	中	高	低	中
P6	高	...	A, 很小 O, 小	高	58~61(c)	中	高	低	中
P20	高	中	小	高	28~37	中~好	高	低	低~中
P21	高	深	最小	最高	30~40(d)	中	中	中	中
水淬钢									
W1	最高	浅	大	中	50~64	最好	高(e)	低	低~中
W2	最高	浅	大	中	50~64	最好	高(e)	低	低~中
W5	最高	浅	大	中	50~64	最好	高(e)	低	低~中

注: (a) A, 空冷; B, 盐水淬火; O, 油淬; S, 盐浴淬火; W, 水淬。
 (b) 该钢种在回火后推荐的正常的硬度范围。
 (c) 渗碳层硬度。
 (d) 经过510~550℃时效后。
 (e) 韧性随含碳量及淬硬层深度之增加而下降。

表8

某些工具钢的密度和热膨胀系数

钢号	密度 Mg/m ³	热膨胀系数, $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$ 从20℃至下述温度				
		100℃	200℃	425℃	540℃	650℃
W1 ...	...7.84	10.4	11.0	13.1	13.8(a)	14.2(b)
W2 ...	...7.85	...	...	14.4	14.8	14.9
S1 ...	...7.88	12.4	12.6	13.5	13.9	14.2
S2 ...	...7.79	10.9	11.9	13.5	14.0	14.2
S5 ...	...7.76	...	...	12.6	13.3	13.7
S6 ...	...7.75	...	...	12.6	13.3	...
S7 ...	...7.76	...	12.6	13.3	13.7(a)	13.3
O1 ...	...7.85	...	10.6(c)	12.8	14.0(d)	14.4(d)
O2 ...	...7.66	11.2	12.6	13.9	14.6	15.1
O7 ...	...7.8	...	...	...	...	...
A2 ...	...7.86	10.7	10.6(c)	12.9	14.0	14.2
A6 ...	...7.84	11.5	12.4	13.5	13.9	14.2
A7 ...	...7.66	...	...	12.4	12.9	13.5
A8 ...	...7.87	...	...	12.0	12.4	12.6
A9 ...	...7.78	...	...	12.0	12.4	12.6
D2 ...	...7.70	10.4	10.3	11.9	12.2	12.2
D3 ...	...7.70	12.0	11.7	12.9	13.1	13.5
D4 ...	...7.70	...	...	12.4	...	...
D5 ...	...	...	...	...	12.0	...
H10...	...7.81	...	...	12.2	13.3	13.7
H11...	...7.75	11.9	12.4	12.8	12.9	13.3
H13...	...7.76	10.4	11.5	12.2	12.4	13.1
H14...	...7.89	11.0	...	...	...	...
H19...	...7.98	11.0	11.0	12.0	12.4	12.9

续表

钢号	密度 Mg/m ³	热膨胀系数, $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{k}$ 从20℃至下述温度				
		100℃	200℃	425℃	540℃	650℃
H21...	...8.28	12.4	12.6	12.9	13.5	13.9
H22...	...8.36	11.0	...	11.5	12.0	12.4
H26...	...8.67	...	...	...	12.4	...
H42...	...8.15	...	...	...	11.9	...
T1 ...	...8.67	...	9.7	11.2	11.7	11.9
T2 ...	...8.67	...	...	...	...	...
T4 ...	...8.68	...	...	...	11.9	...
T5 ...	...8.75	11.2	...	...	11.5	...
T6 ...	...8.89	...	...	...	...	...
T8 ...	...8.43	...	...	...	...	...
T15...	...8.19	...	9.9	11.0	11.5	...
M1 ...	...7.89	...	10.6(c)	11.3	12.0	12.4
M2 ...	...8.16	10.1	9.4(c)	11.2	11.9	12.2
M3,						
(1)	...8.15	...	...	11.5	12.0	12.2
M3,						
(2)	...8.16	...	...	11.5	12.0	12.2
M4 ...	...7.97	...	9.5(c)	11.2	12.0	12.2
M7 ...	...7.95	...	9.5(c)	11.5	12.2	12.4
M10...	...7.88	...	...	11.0	11.9	12.4
M30...	...8.01	...	...	11.2	11.7	12.2
M33...	...8.03	...	...	11.0	11.7	12.0
M36...	...8.18	...	...	...	...	...
M41...	...8.17	...	9.7	10.4	11.2	...

续表

钢 号	密 度 Mg/m ³	热膨胀系数, $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{k}$ 从20℃至下述温度				
		100 ℃	200 ℃	425 ℃	540 ℃	650 ℃
M42...	...7.98	...	...	...	...	...
M46...	...7.83	...	...	...	...	...
M47...	...7.96	10.6	11.0	11.9	...	12.6
L2 ...	...7.86	...	...	14.4	14.6	14.8
L6 ...	...7.86	11.3	12.6	12.6	13.5	13.7
P2 ...	...7.86	...	...	13.7	...	...
P5 ...	...7.80	...	...	...	...	...
P6 ...	...7.85	...	...	...	...	...
P20...	...7.85	...	...	12.8	13.7	14.2

- 注: (a) 从20~500℃。
 (b) 从20~600℃。
 (c) 从20~260℃。
 (d) 从38℃~表中所示温度。

表9

某些工具钢的热传导系数

钢 号	回火温度, °C	热传导系数, 瓦/米·绝对度
W 1	100	48.3
	260	41.5
	400	38.1
	540	34.6
	675	29.4
	815	24.2
H11	100	42.2
	260	36.3
	400	33.4
	540	31.5
	675	30.1
	815	28.6
H13	215	28.6
	350	28.4
	475	28.4
	605	28.7
H21	100	27.0
	260	29.8
	400	29.8
	540	29.4
	675	29.1
T 1	100	19.9
	260	21.6
	400	23.2
	540	24.7
T15	100	20.9
	200	24.1
	400	25.4
	540	26.3

续表

钢 号	回火温度, °C	热传导系数, 瓦/米·绝对度
M 2	100	21.3
	200	23.5
	400	25.6
	540	27.0
	675	28.9

三、工具钢的性能测试

由于在实验室测定的工具钢的性能数据与实际使用的性能之间还不可能建立起可靠的关系, 因此实验室性能数据只能作为一般性的比较, 而不能作为有效的性能数值指标。

1. 使用性能

决定工具钢使用性能的最基本的性能是抗磨损、抗变形和抗开裂的能力; 韧性; 以及很多情况下还有高温抗软化能力。通常, 这些特性可直接用硬度来衡量或推断。工具钢最普通的性能测试是测量硬度, 在美国采用洛氏(HRC), 而在英国和欧洲则用维氏(HV)硬度。应当注意到HRC和HV的变换关系不是线性的(见图6)。

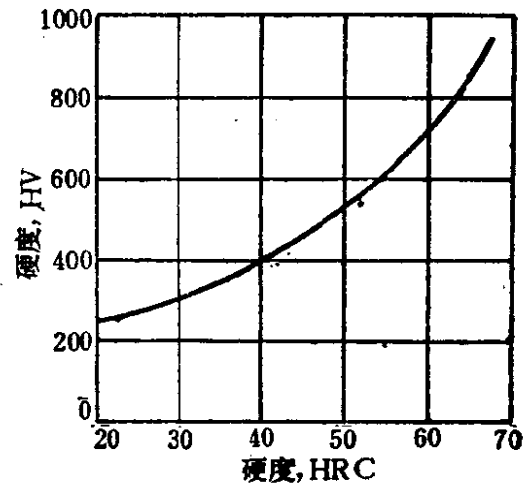


图6 维氏和洛氏硬度的对应关系

例如, 当从HRC67增高到HRC68时, HRC的增值为1HRC, 而对应的维氏硬度却是40个HV单位的增量, 当由HRC57增到HRC58, 及由HRC49增至HRC50时, 则相应地为20和10个HV单位的增量。

一定硬度的某种工具钢，其耐磨性可因磨损机构和热处理的不同而可在很宽的范围内变动。同时具有相同硬度而成分不同的工具钢，在相同的磨损条件下，耐磨性的变动也是很大的。

为了实用目的，所有工具钢在各种状态下的室温抗弹性变形能力（弹性模数）约为 $200 \times 10^3 \text{ MPa}$ 。在 260°C 时降到 $185 \times 10^3 \text{ MPa}$ ，而在 540°C 则降到 $150 \times 10^3 \text{ MPa}$ 。

除个别钢种之外，对大多数工具钢都要求有很高的抗塑变能力，并根据这一要求选定成分和热处理规范。由于工具钢的塑性变形吸收能力比较小，因此是比较脆的。在高硬度下作拉伸试验时，甚至在用专门的试样夹头时，虽然试验能精确定位⁹⁾，但也很难精确地确定可靠的强度值。在某些情况下已用压缩试验检测钢的抗变形能力。用三点或四点弯曲试验可得出工具钢之间相互比较的实用资料，但其结果也常常难以作定量的评价。扭转试验可有效地用于测定工具钢的韧性，特别适用于作像钻头和其他使用中受扭转载荷的工具。

高硬度的工具钢（某些钢种除外）的开槽试样在冲击（夏氏

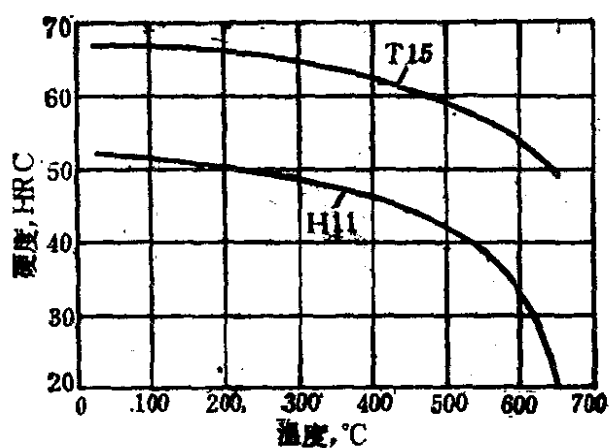


图7 H11和T15工具钢的热硬度

H11具有高的高温抗软化能力，T15具有最高的高温抗软化能力。本试验中H11经 1010°C 空冷， $2+2$ 小时 565°C 回火；T15经 1230°C 油冷， $2+2$ 小时 550°C 回火。在 650°C 测定热硬度时，T15钢仍能保持室温的硬度值HRC63.4。

试验)断裂时吸收能如此之小，以致很难测出可用来预测使用性能的韧性的区别。曾试用无缺口冲击试验，但因夹持器的过度变形，很难得到良好的重复性结果。为研究成分和热处理的影响，扭转冲击法可得出重复性良好的结果，然而却难将其结果与使用条件联系起来。还采用了疲劳试验法，但仅有少数情况与使用经验相

符。

一般说，工具钢抗快速高负荷的破断能力是随硬度之下降而增高的。但硬度相同，成分不同的钢，或成分相同，但冶炼方法和热处理工艺不同的钢之间，其抗破断能力却可能表现出很大的区别。

工具钢的高温抗软化能力与下述因素有关：①二次硬化能力；②显微组织中存在的特殊相，如过剩合金碳化物的数量。工具钢的高温抗软化能力可以从图1那样的回火曲线中得到有实用价值的数值。高温硬度试验也可得到这种数据（见图7）。

2. 制作性能

影响工具钢制作的性能包括：可切削加工性、可磨削性、可焊接性、淬透性，以及热处理时的变形程度、免除开裂的安全性和脱碳倾向。

可切削加工性 工具钢的可切削加工性可按结构钢使用的方法进行测定。测定的结果，以水淬工具钢的可切削加工性的百分数值表示（见表10）；工具钢可切削性的100%等于结构钢的30%，而在结构钢中是以易加工结构钢如B1112为100%。如果在制造工具时须作大量的切削加工，并且工具制造批量又很大时，用改变化学成分或预先热处理的办法来改善可切削加工性是十分重要的。

表10 退火工具钢可加工性的大致级别

钢号	可加工性级别
O6	125
W1、W2、W5	100(a)
A10	90
P2、P3、P4、P5、P6	75~90
P20、P21	65~80
L2、L6	65~75
S1、S2、S5、S6、S7	60~70

续表

钢号	可加工性级别
H10、H11、H13、H14、H19	60~70(b)
O1、O2、O7	45~60
A2、A3、A4、A6、A8、A9	45~60
H21、H22、H24、H25、H26、H42	45~55(b)
T1	40~50
M2	40~50
T4	35~40
M3	35~40
D2、D3、D4、D5、D7、A7	30~40
T15	25~30
M15	25~30

注：(a) 大约等于B1112钢可加工性的30%。

(b) 在HB150~200的硬度范围。

表11 高速钢的磨削比

钢号	硬 度 HRC	磨削比(a)		
		32A46-H8VBE	32A60-H8VBE	32A80-H8VBE
T15	65.7	0.49	0.62	0.51
M44	67.7	0.97	0.99	0.88
M41	68.7	1.2	1.6	1.4
M43	67.5	1.4	2.2	1.7
M42	68.8	4.8	6.5	3.8
M2	64.9	6.1	7.2	6.7
M1	64.9	7.8	8.0	11.9

注：(a) 加工条件如下：被磨削面长152毫米，宽38毫米。砂轮直径200毫米，宽13毫米。砂轮速度（空转）为30米/秒。工作台移动速度为0.3米/秒。横向进给为1.27毫米，垂直进给为0.025毫米。四次垂直进给后，用金刚石工具修整砂轮，总垂直进给量为0.25毫米。磨削冷却剂一般为含1.25%油的水基乳化液。

可磨削性 可磨削性的衡量，是工具钢在热处理后，能否很容易地使用标准的砂轮进行磨削。磨削比（磨削指数）是被磨削去的金属体积与砂轮消耗体积之比。磨削指数越高，金属越容易被磨削。这种指数仅对某一具体的磨削操作条件有效。表11给出几种高速钢的磨削比。应当注意到，磨削比不表明磨削过程或以后的开裂敏感性，也不表明表面（或次表面）应力分布是否合乎要求，或能否达到所要求的表面光洁度的难易。

可焊接性 在用焊接的方法来制造、更新或修理工具时而不引起材料的开裂，是选择工具材料时的一个重要因素，特别是对大型工具更是如此。但对小工具材料的选择，并不那么重要。可焊接性在很大程度上取决于成分，但焊接方法和操作也影响到焊件的坚固性。通常认为，深淬透的、在淬火时又有较好的安全性的工具钢是属于易焊的工具钢之列。

淬透性 (Hardenability)* 淬透性同时包含当淬火钢为全马氏体时的最高硬度以及采用一种特定方法淬火时获得的硬化深度。从这个意义讲，必须对硬化深度下一定义——通常是根据一个特定的硬度值，或者一种特定的显微组织。作为一个普遍规律，工具钢的最高硬度随其含碳量的增加而提高；增大奥氏体晶粒度及增加合金元素含量会减少为了获得最高硬度所要求的淬火冷却速度（增加硬化深度）。Jominy端淬试验可用于测定结构钢的淬透性（见《金属手册》（原著）第9版第一卷471~525页），也可有限地用于工具钢。这种试验仅对油冷硬化钢能给出有用的资料。空冷硬化钢因淬透性深，不能采用标准的端淬试验来评定其淬透性。

已经研究了一种空冷淬透性试验方法。它是基于端淬试验的原理，但采用空冷，并加一个直径150毫米的端部套筒，以产生

* 通常对淬透性 (Hardenability) 一词之定义，只包括“淬火时硬化层的深度”这一概念。淬火钢可达到的最高硬度则称为“淬硬性”。有关淬透性定义可参阅 C.A. Siebert 等著的：“The Hardenability of Steel”，1977——译者注。

大截面钢件所具有的、很慢的冷却速度。这种试验方法可提供对研究工作有用数据，但尚不能用于产品的热处理。与此同时，因水淬工具钢的硬化层太浅，端淬试验的灵敏度不够，也不能采用。专门的试验法，如谢菲尔德PF法，除用于研究工作外，专用于测定水淬工具钢的淬透性。

所谓谢菲尔德法，是把直径为19毫米的正火态试棒，从740℃淬入盐水中并打断后，以0.4毫米（1/64英寸）为一单位进行测定淬硬层深度（P），而其断口的晶粒度（F）则用跟标准试样比较的方法确定。当硬化深度为2.40毫米（P=6），断口晶粒度为8级时，称为“PF值6~8”。细晶粒的水淬工具钢是指那些断口晶粒（F）为8以上的钢。这类钢中的深淬透者P值在12以上，中等淬透者P值为9~11，而浅淬钢为6~8。

淬火变形和安全性 对于必须严格要求尺寸的工具，热处理时要尽可能减少变形。有关此问题的更详细的讨论见本书第三章“工具钢变形”。一般说，变形量和开裂倾向是随淬火急冷度的增大而增加。

抗脱碳能力 是在热处理时是否需要使用保护气氛的一个重要的考虑因素。在脱碳气氛内，脱碳速度随奥氏体温度的升高而迅速增加；而在一定的奥氏体化温度下，脱碳深度则随保持时间的延长而成比例地增加。在保护气氛、奥氏体化温度和时间都相同的条件下，各钢种的脱碳倾向的差别可能是很大的。

四、加工余量

标准的加工余量是推荐的机加工量的总和。由于表面缺陷可能对热处理和使用产生不良作用，故使用者应当从供料上消除缺陷，以得到良好的表面。

工具钢的锻造和轧制时，暴露的表面由于氧化而造成的脱碳是决定其机加工量的主要因素。在工具钢生产中，虽然采用了特

表12

热轧方钢和扁钢标准的加工余量

指定宽度 毫米	加工余量(a)	
	上、下表面, 毫米	各边, 毫米
厚度 < 12.7 毫米		
0 ~ 12.7	0.64	0.64
> 12.7 ~ 25.4	0.64	0.89
> 25.4 ~ 50.8	0.76	1.02
> 50.8 ~ 76.2	0.89	1.27
> 76.2 ~ 101.6	1.02	1.65
> 101.6 ~ 127.0	1.14	2.03
> 127.0 ~ 152.4	1.27	2.41
> 152.4 ~ 177.8	1.40	2.67
> 177.8 ~ 203.2	1.52	3.05
> 203.2 ~ 228.6	1.52	3.30
> 228.6 ~ 304.8	1.52	3.56
厚度 > 12.7 ~ 25.4 毫米		
> 12.7 ~ 25.4	1.14	1.14
> 25.4 ~ 50.8	1.14	1.27
> 50.8 ~ 76.2	1.27	1.52
> 76.2 ~ 101.6	1.40	1.90
> 101.6 ~ 127.0	1.52	2.41
> 127.0 ~ 152.4	1.65	2.92
> 152.4 ~ 177.8	1.78	3.30
> 177.8 ~ 203.2	1.90	3.81
> 203.2 ~ 228.6	1.90	3.94
> 228.6 ~ 304.8	1.90	3.94

续表

指定宽度 毫米	加工余量(a)	
	上、下表面, 毫米	各边, 毫米
厚度 > 25.4 ~ 58.8 毫米		
> 25.4 ~ 50.8	1.65	1.65
> 50.8 ~ 76.2	1.65	1.78
> 76.2 ~ 101.6	1.78	2.16
> 101.6 ~ 127.0	1.78	2.67
> 127.0 ~ 152.4	1.90	3.18
> 152.4 ~ 177.8	2.03	3.68
> 177.8 ~ 203.2	2.03	4.19
> 203.2 ~ 228.6	2.41	4.32
> 228.6 ~ 304.8	2.54	4.32
厚度 > 50.8 ~ 76.2 毫米		
> 50.8 ~ 76.2	2.16	2.16
> 76.2 ~ 101.6	2.16	2.54
> 101.6 ~ 127.0	2.16	3.05
> 127.0 ~ 152.4	2.16	3.43
> 152.4 ~ 177.8	2.29	3.94
> 177.8 ~ 203.2	2.54	4.32
> 203.2 ~ 228.6	2.54	4.83
> 228.6 ~ 304.8	2.54	4.83

厚度 > 76.2 ~ 101.6 毫米。

续表

指定宽度 毫米	加工余量(a)	
	上、下表面, 毫米	各边, 毫米
> 76.2~101.6	2.92	2.92
>101.6~127.0	2.92	3.18
>127.0~152.4	2.92	3.56
>152.4~177.8	2.92	4.32
>177.8~203.2	3.18	4.83
>203.2~228.6	3.18	4.83
>228.6~304.8	3.18	4.83

注: (a) 热处理前每边允许的最大机加工余量。最大允许脱碳层厚为机加工余量的80%。

别的措施, 但仍可能出现锈皮、发纹及其他表面缺陷, 如果这样, 就必须予以去除。

表12给出各种尺寸的热轧方钢和扁钢的标准加工余量。在ASTM规范A 600、A 681和A 686中, 相似的表格对其他型材和其他成型方法及精加工是通用的。

在标准加工余量之外, 还必须留出足够的余量以清除最终热处理时发生的脱碳及变形。这个留量随工具钢钢种、热处理设备类型及工具的形状和尺寸而有所不同。

W和O组钢被认为是抗脱碳能力高的钢, 而M组钢、含钴的T组钢、D组钢和H42、A2及S5则是易于脱碳的钢。

最终热处理时不希望有脱碳, 因为它将改变表面层的成分, 因而改变了这层的热处理特性, 并常常对热处理后的性能产生有害的作用。在盐炉或控制气氛及真空炉中的热处理可以控制或防止脱碳。当在真空炉中热处理时, 如果炉子操作条件良好, 漏气速度很小的话, 其效果是令人满意的。对大多数工具钢来说,

100~200微米Hg的真空度就够了。然而，只要有可能，仍然建议采用50~100微米Hg的真空度。

如果没有合适的专用热处理设备，则可将工具包装在不锈钢箔之中，这也可以防止脱碳。321不锈钢箔可在1000℃以下的奥氏体化温度下使用；309或310钢箔则可用到1000~1200℃。

五、粉末冶金钢

近年来，已经生产了用粉末冶金(P/M)法来改善工具钢的性能。这种方法，是将一定成分的预合金熔体，用气体雾化并冷却得到的细粉末，经筛分并压入到抽真空的钢容器中，再经热等静压法使之完全压实达到紧密程度。粉末压块可用通常的冶金设备轧制或锻制到要求的尺寸，在某些情况下，可直接用压坯制成工具。

P/M工具钢有两个最主要的优点：可完全消除宏观偏析和具有细小均匀的碳化物分布。因而可获得更深的硬化层及高的硬化特性曲线（指在高温下较短的保温就可淬硬——译注）（见图8）。这对有脱碳倾向的钨高速钢是很重要的。对大尺寸的棒材，P/M产品还可有较少椭圆度变形（见表13）。

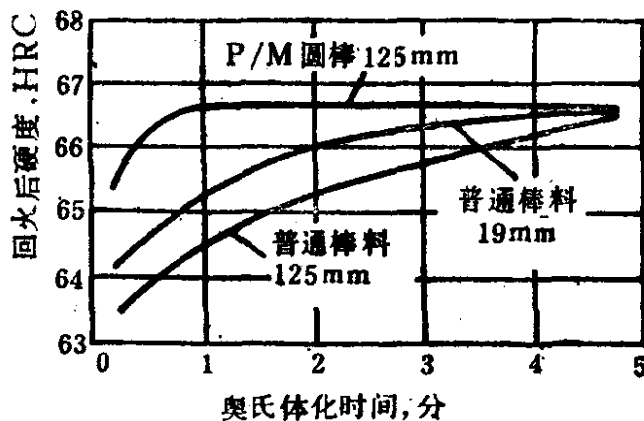


图8 P/M材和普通材M2S(HC)工具钢淬硬特性曲线的比较
棒材直径1200℃淬火，550℃2+2+2小时回火，在半径的中部测定硬度。

表13

大圆棒M2S钢椭圆度变形

圆棒直径 毫米	生产方法	椭圆度(a) 毫米
75	P/M	0.008
	普通	0.020
125	P/M	0.013
	普通	0.033
190	P/M	0.015
	普通	0.051

注：(a) 经正常热处理大直径减去最小直径。

在P/M工具钢中加入硫时，呈现有非常细小、均匀的硫化物。这些硫化物的存在可改善切削加工性。而且与普通法生产的工具钢相比，还具有更为良好的可磨削性（图9），及较高的韧性（图10及表14），这是由于它的显微组织得到了细化的缘故。

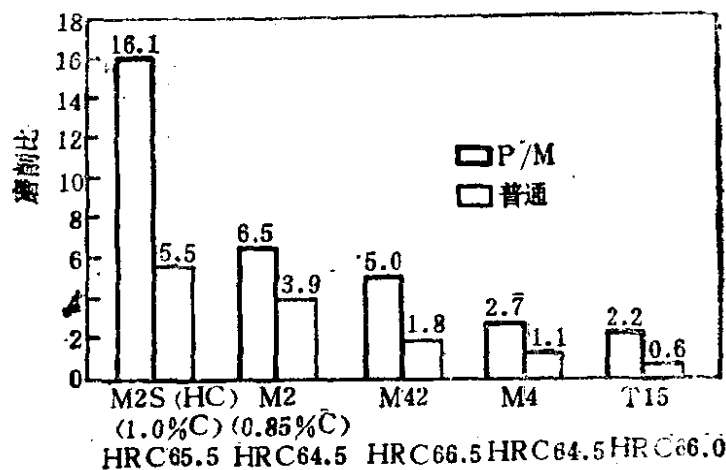


图9 P/M和普通生产的工具钢磨削比的比较

磨削比是用被磨掉的金属量除以磨轮的磨损量来测量的（高的磨削比意味着金属磨掉的效率较高）

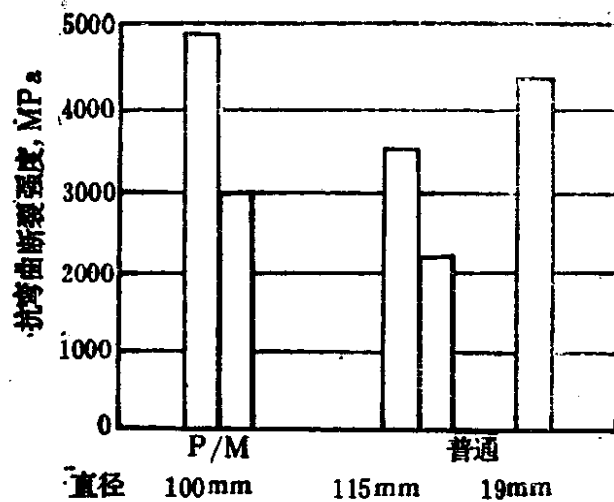


图 10 P/M和普通生产的M2S (HC) 工具钢抗弯强度的比较

试样淬火并回火到HRC65。细线条为纵向抗弯强度；粗线条为横向抗弯强度

表 14 P/M 和普通工具钢的机械性能

品 种	硬 度 HRC	夏氏C型缺口冲击值 J	韧性	抗弯强度 MPa
T15, P/M	67	19		4675
T15, 普通	66	5		2150
M 2, 普通	65	23		3820

据1979年报导，用P/M法生产的AISI高速钢产品有：M2、高硫和高碳M2、含硫M3 (2)、M4、含硫M35、M42和T15。在各类用途中，P/M钢可以代替与之相对应的普通钢，特别适于大尺寸工具。

P/M法可消除有害的宏观偏析，可以较容易地制造出新的高合金工具钢。据报导现在可以供货的一种含1.50C，3.75Cr，3.00V，10W，5.25Mo及9Co的工具钢，其热硬度比任何高速钢都高。它已用于要求苛刻的切削刀具，如某些航天合金的切削加工及要求高速度、大进刀的切削刀具。另一种CPM10V钢，含

2.45C, 5.25Cr, 9.75V及1.30Mo,是针对要求具有极高的耐磨性的冷作和温作模具而设计的。这种钢的显微组织中,在基体上分布有硬而耐磨的钒碳化物。CPM10V钢在常温下的耐磨性超过T15钢。

六、精铸的热作模具

用精铸法制作接近于最终尺寸的模具,由于减少了消耗及切削加工量,对成本带来很大的好处。特别当主模型制造费用可分摊给相当大数量的模具时,其效益更大。

铸造的锻模和挤压模的使用经验已表明,铸造模具有比较高的抗热龟裂(热疲劳裂纹)性能;在形成细小的裂纹后,它们的扩展速度却比同一钢种、同一硬度的锻制金属模要慢得多,从而可以有效地延长模具的寿命。铸造和锻造的H13钢的机械性能试验证明,在从室温到600℃时,其屈服和抗拉强度实际上是相同的,但铸造金属的塑性稍微低些。在温度约300℃以上,铸造的H13钢之热硬度高于锻造的H13;其差别随温度之升高而加大,如图11所示,在650℃测定了8个洛氏硬度点。

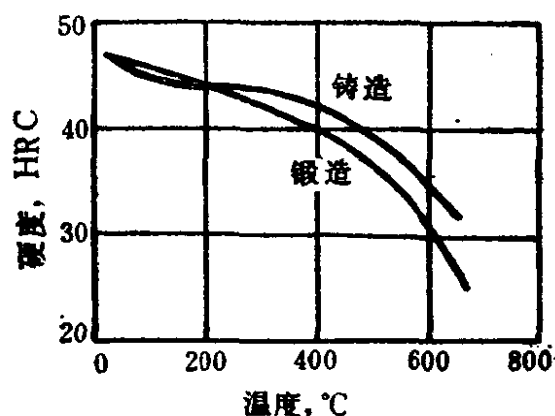


图 11 铸造的和锻造的H13工具钢的热硬度比较

由于铸造模具有各向均匀性,故不存在各向异性问题。初始的模具制成后,铸件的尺寸可稳定地控制,任何必要的修正包括在主模型制造之中。型腔面合理的精加工余量为0.25~0.38毫米,分型面为0.8~1.5毫米,背面和侧边面为1.6~3.2毫米。最常用

于铸造的热作模具钢，包括有H12、H13、H21及H25等。

七、表面处理

高速钢工具的使用寿命在许多场合下，可以通过表面处理得到提高。

氧化法 精磨的工具可在碱性的硝酸盐槽或蒸气中形成氧化物覆盖层，可防止或减少工具和被加工件的粘合。经氧化处理的工具寿命可提高一倍——特别对粘着性大的材料，如软铜和非易削的低碳钢更为有效。

电镀 在精加工的高速钢工具上镀以0.0025~0.0125毫米厚的铬层，也可减少与被加工件间的粘合，提高工具寿命。电镀铬是比较昂贵的，并且还必须采取预防措施，以便防止在使用时由于氢脆而破断。

(3) **渗碳** 渗碳不推荐用于高速钢刀具，因渗碳后工具表面硬化层很脆。但是，象冷作模具这类要求极高耐磨性，而不易受到冲击或高度集中的加载的情况下，是适用的。渗碳在1035~1065℃下进行，时间10~60分，渗层厚度0.05~0.25毫米。在渗碳时，同时也就进行了整个工具的奥氏体化。高速钢渗碳层的硬度为HRC65~70，但其高温抗软化能力却并不比正常淬火的高速钢高。

氮化 氮化已成功地用于提高各类高速钢切削刀具的寿命。然而，在分解氨中进行的气体氮化所形成的表面层，对多数用途来说都过于脆了。在560℃一小时左右的液体氮化后得到的一很薄的渗层，可以同时提高表面硬度及抗粘合性。对用于切削退火钢经氮化的高速钢丝锥、钻头及铰刀，寿命提高五倍已被报导，平均寿命可提高100%~200%。显然，要是渗层在工具重磨时被磨去，则必须重新氮化处理，这就降低了应用此种方法的经济效果。

此外，特殊的表面处理方法，如加氧液体氮化法，在不过于增高脆性的情况下，可改善抗粘舍磨损性；含硫的盐浴氮化法可获得含高硫的表面层，可进一步提高抗咬合性。

硫化处理 在低温（190℃）的硫代氰酸钠和钾中电解渗硫，可获得具有良好的抗咬合性能的铁硫化合物层。这一方法可作为各种淬硬工具最终处理，而不会引起有过回火的危险。

八、马氏体时效钢

某些高镍马氏体时效钢正被用于特殊的非切削工具；18Ni（250）是经常使用的一种钢。然而，在大多数应用这类钢的场合，常常更乐于选择强度再高一点的18Ni（300）钢。任何一种马氏体时效钢都可进行氮化，以用于要求最大抗磨损的场合。

马氏体时效钢通过在480℃ 3小时简单的时效处理后，可获得高硬度——18Ni（250）为HRC50，18Ni（300）为HRC54，18Ni（350）为HRC58。由于淬火过程与冷却速度无关，所以可在大截面上均匀地获得高硬度，并且几乎没有变形。因为这些合金含碳量很低，并且时效温度相当低，故不存在脱碳问题，但是，如果工作温度长时间地超过时效温度，则马氏体时效钢将发生过时效，硬度显著下降。

18Ni（300）钢用于铝合金压铸模型腔及型芯，铝的热锻模，塑料模以及用于铝挤压模中的支承件。用于铝的压铸时，因为马氏体时效钢不易于热龟裂，故马氏体时效钢比H13工具钢模具可在更高的硬度下使用，由于时效过程引起的变形很小，故有可能在淬火前将塑料型腔模的复杂型腔加工到最后尺寸。

对于有极大磨蚀性塑料的成型模具，18Ni（350）马氏体时效钢所提供的较高的表面硬度可满足其要求。

参考文献

1. "Tool Steels", (a Steel Products Manual): American

Iron and Steel Institute, March 1978

2. *Source Book on Industrial Alloys and Engineering Data*,
American Society for Metals, Metals Park, OH, 1978, p 251-
292

选读参考文献

- *The Metallurgy of Tool Steels*, by P. Pagon, John Wiley & Sons, Inc., 1962
- *Metallurgy and Heat Treatment of Tool Steels*, by R. Wilson, McGrawHill, London, 1975
- *Tool Steels*, by G.A. Roberts and R.A. Cary, American Society for Metals, 1980
- *Tool Steel Simplified*, Revised Ed., by F.R. Palmer *et al.*, Chilton Book Co., Radnor, PA, 1978

第二章 超硬工具材料

超硬工具材料是特别硬的材料，其硬度远远超过任何一种工具钢。某些超硬工具材料，如高强度合金和烧结碳化物，具有金属的特性，另一些则是非金属的，如陶瓷工具材料。

烧结碳化物*是用途最广的一组超硬工具材料。它们的主要用途是用作金属加工工具、矿山工具及耐磨零件。钢结硬质合金可热处理，广泛用于成型和冲压模具。陶瓷、氮化硼及金刚石主要用于切削刀具。金刚石还用于制造小孔径的拔丝模。

为充分发挥硬质合金和其他超硬工具材料在切削属金中的耐磨优点，已经发展了适用这类刀具所要求的功率和刚度的新型切削机床。在旧有设备上使用超硬刀具，则可能因其功率和刚度不足而不能充分发挥刀具效能。

一、超硬工具材料的分类

目前(1980年),在硬质合金和其他超硬工具材料方面,还没有一个被普遍承认的分类体系。生产和使用者双方最常采用的描述超硬工具材料的体系将在下一节中讨论。在描述具体某种材料时,这些体系中的每一个都有其长处和弱点。因此,最有效的办法是使用者和生产者双方在选择品种时要密切地配合,尤其是在原使用者经验不足的情况下,更须如此。

SAE分类法 SAE在推荐实行的J1072中,规定了一个对陶瓷、硬质合金和其他金属陶瓷产品进行识别和分类的体系。这一体系使用了字母和数字混合编排的名称,包括以下:

*Cemented Carbide, 以下均按一般称呼译为“硬质合金”——译者注。

- SAE标准号（如果本体系可用的话）；
- 标出陶瓷或金属陶瓷的类型的类别；
- 一个或更多的后缀，表明材料的特性。

表15归纳了在字母数字混合编排的名称中使用的代码，基本类别用一个五位数字表示。第一位数字表明化合物的类型；第二位数为粘结剂；第三位数为化合物中主要的金属元素。第四和第五位数为化合物中其他元素。每一个后缀由一个字母和随后一或三个数字组成，这些数字表示该项特性的定量指标（见表15，其中列出了各后缀系列）。举例说明SAE分类体系如下：材料名称23200A060C920D150E123F322G230，是一种钨碳化物硬质合金，以钴作粘结剂，含钴量6%，并具有如下特性：硬度HRA 92.0；比重15.0；颗粒直径，大部分为1 μ ，最少80%颗粒小于3 μ ；孔隙度，按SAEJ439所规定的形貌类别，A-3、B-2、C-2；横向抗断强度230ksi（1585MPa）。此为本文有关硬质合金性能的表22中第三横列所示的材料。

很明显，SAE体系使得有可能对所要求的技术条件规定的十

表15 超硬工具材料分类的SAEJ1072体系

基本类别	材料类别	标 记
化合物		
	氮化物.....	..... 1
	碳化物.....	..... 2
	氧化物.....	..... 3
	其 他.....	..... 9(a)
粘结材料		
	无 .....	..... 0
	镍 .....	..... 1
	铁 .....	..... 2
	钴 .....	..... 3
	其 他.....	..... 9(a)

续表

基本类别		标记
材料类别		
基本金属		
无	.....	..... 0
镍	.....	..... 1
钨	.....	..... 2
钛	.....	..... 3
钼	.....	..... 4
铬	.....	..... 5
铝	.....	..... 6
其他	.....	..... 9(a)

后缀

材料性能	识别符号(b)
粘结金属数量 (wt% 精确到0.1%)	A
基本金属数量 (wt% 精确到0.1%)	B
硬度(C) (HRA 精确到0.1)	C
比重(C) (精确到0.1)	D
颗粒大小 (C) (各类的最大数量)	E
可见的孔隙度(C)	F(e)
(第一位数表示A型孔的数量; 第二位数表示B型孔的数量; 第三位数表示C型孔的数量)。	
横向抗断强度(d) (最小: KSi)	G
其他性能 (写明种类)	Z

注: (a) 此类材料应使用后缀Z说明。

(b) 在符号后面加一至三位数字表明性能数值。

(c) 按SAEJ439中规定的方法测定。

(d) 按ASTMB406中规定的方法测定。

(e) F后面的三位数字, 第一位表示A类(形貌)的孔隙的数量, 第二位数字B类, 第三位C类。

分精确。然而,即使将命名简化为只包括成分和颗粒尺寸,为标出某种材料, 12个数字和字母的组合是必需的。

C-分类体系 某些美国的生产和使用者采用一种着重于应用的分类体系以助于选择合适的硬质合金。这种分类在商业名称中不列入技术条件。C-分类法的名称标记(见表16)并不能

表16 硬质合金的C-分类体系

C-体系名称	应用范畴
铸铁、有色金属及非金属的切削加工	
C-1	粗加工
C-2	一般性切削加工
C-3	精加工
C-4	高精度加工
碳钢和合金钢的切削加工	
C-5	粗加工
C-6	一般性切削加工
C-7	精加工
C-8	高精度加工
应用于耐磨场合	
C-9	无振动
C-10	轻振动
C-11	强烈振动
应用于抗冲击场合	
C-12	轻冲击
C-13	中等冲击
C-14	强烈冲击
其他各种应用	
C-15	热切焊接飞边, 轻切削
C-15A	热切焊接飞边, 重切削
C-16	岩石钻头
C-17	冷激模
C-18	要求高温下耐磨损和(或)化学稳定
C-19	放射性屏蔽, 平衡块和动能器件

真正满足选购时的需要，因为它不能充分反映一些对选择硬质合金品种有重要作用的特性。在按切削条件分类时，虽然标明了被加工材料，但并不精确，用途栏内所用技术名词也不完全和习惯用词相符。

ISO分类法 国际标准组织已颁布了名为“切削加工用硬质合金的应用”的ISO建议书R513。表17归纳了ISO对硬质合金按用途分类的基本内容。

表17 硬质合金按切削加工用途的 ISO R513 分类法

用 途 分 组		
牌号	被加工材料	应用和加工条件
P 01	钢、铸钢	精车和镗；高速度、小断面切屑、尺寸精确和高光洁度、操作过程无振动
P 10	钢、铸钢	车、仿形加工、车螺纹和铣；高速度、小或中等断面切屑
P 20	钢、铸钢 长屑可锻铸铁	车、仿形加工、铣、中速、中断面切屑；小断面切屑的刨
P 30	钢、铸钢、 长屑可锻铸铁	车、铣和刨；中或低速、中或大断面切屑、恶劣条件(b)的切削
P 40	钢、带夹砂或内腔的铸钢件	车、刨和插槽；低速、大断面切屑、恶劣条件下(b)带有大的切削角的加工和自动机床加工
P 50	钢、低或中强度的铸钢、带夹砂或内腔铸钢件	对难切碳化物加工操作；车、刨和插槽；低速、大断面切屑、恶劣条件下(b)带有大的切削角的加工和自动机床加工
M 10	钢、铸钢、锰钢、灰铸铁、合金铸铁	车；中或高速、小或中等断面切屑

续表

牌号	被加工材料	应用和加工条件
M20	钢、钢铸件、 奥氏体钢或锰 钢、灰铸铁	车和铣；中速 中等断面切屑
M30	钢、钢铸、奥氏 体钢、灰铸铁、 耐高温合金	车、铣和刨；中速、中或大断面切屑
M40	软的易削钢、 低强度钢、有 色金属及轻合 金	车和切断；特别适用于自动机床
K01	很硬的灰铸铁、 肖氏硬度85以 上的激冷铸铁、 高硅铝合金、 淬硬钢、有磨 蚀性大的塑料、 硬纸板、陶瓷	车、精车、镗、铣和刮
K10	HB220 以上 的灰铸铁、具有 短屑可锻铸铁、 淬硬钢、硅铝 合金、铜合金、 塑料、玻璃、 硬橡胶、硬纸 板、陶瓷器、 石料	车、铣、钻、镗、拉和刮

续表

牌号	被加工材料	应用和加工条件
K 20	HB 220 以下的灰铸铁、有色金属、铜、黄铜、铝	车、铣、刨、磨和拉；要求很坚韧的碳化合物
K 30	硬度低的灰铸铁、强度低的钢、压缩的木材	车、铣、刨和插槽；恶劣条件下(b)及带有大切削角的切削
K 40	软木材或硬木材、有色金属	车、铣、刨和插槽；恶劣条件下(b)及带有大切削角的切削

注：(a) 每一字母下面的数字中，牌号数字小的用于高速度和小进给，数字较高的用于较低速度及(或)大进给。同样，数字的增高表明冲击韧性提高耐磨性降低。

(b) 恶劣的切削条件包括：形状难以加工；加工件带有铸或锻的外皮；加工件硬度不均；切削时发生吃刀深度的变化、断续切削或有中等程度到强烈的振动。

在ISO体系中，P类用于切削长切屑的黑色金属；M类推荐切削长切屑或短切屑的黑色金属和某些有色金属；K类更适于切削短切屑黑色金属、大多数有色金属及非金属材料。每类中，数字小的用于高速、小进给切削，大数字的用于低速、大进给。牌号中数字的增加表明韧性的上升和耐磨性下降。

BHMA体系 本体系用三位数字命名。每位数字从0到9。第一位对应着硬度级别，表明耐磨性；第二位对应横向抗断强度；第三位对应钛和钽碳化物数量范围，表明对月牙洼(凹坑)形成的抗力。BHMA体系各数字所对应的特性值如表18所示。

这一体系的优点是简练。然而，一般认为相同的名称应当具有相同的使用效果，但BHMA命名体系却做不到这点，这是它的主要问题。

表18

英国硬质合金协会对切削用硬质合金的分类

数码	硬 度		横向抗断强度 MPa	成分参数 (a)
	HV	HRA		
0	...	...	...	<0.6
1	<1300	<88.9	<1240	0.6~2.2
2	1300~1450	88.9~90.1	1240~1380	2.2~4.2
3	1450~1550	90.1~90.9	1380~1550	4.2~7.2
4	1550~1600	90.9~91.3	1550~1725	7.2~10.6
5	1600~1650	91.3~91.7	1725~1860	10.6~14.2 (b)
6	1650~1700	91.7~92.0	1860~2000	14.2~17.7 (b)
7	1700~1750	92.0~92.4	2000~2170	17.7~21.2 (b)
8	1750~1800	92.4~92.7	2170~2340	21.2~24.6 (b)
9	>1800	>92.7	>2340	>24.6 (b)

注：(a) *表中数值是%T₁C+0.4 (%TaC)，余为WC。

(b) *TaC最高30%。

二、硬质合金

硬质合金采用粉末冶金法制成。将高熔点金属和碳的化合物之粉末，结合成为高强度高硬度的致密固体。首次生产的硬质合金是用钴粘结的碳化钨。多年后，这一最早的材料已从各方面被改进，生产了各式各样的硬质合金，应用于广阔的领域(见表19)。改进的内容，主要是改变粘结金属，碳化物组织(颗粒尺寸)，及在碳化钨之外再配入其他金属的碳化物。钛和钽的碳化物已经成为应用最多的，但由于钽的资源限制，用铌碳化物代替钽碳化物者已日益增多。仅含钨碳化物的硬质合金，称为“普通级”^{*}而那

* 原文如此——校注。

* 以下统称为“碳化钨硬质合金”——译者注。

表19

钴结硬质合金的典型应用

级别	晶粒大小	应用
碳化钨硬质合金		
97WC-3Co	中	铸铁、有色金属及非金属材料的切削；有良好抗磨损性及低的冲击抗力；最耐磨 WC-Co 类可保持锋利的切削刃并可能对高精度零件维持长时间的精切削；也用于细的拔丝模及小尺寸的喷嘴
94WC-6Co	细	切削有色金属和高温合金
94WC-6Co	中	除钢以外各种材料的一般切削加工；也用于小、中等尺寸的压塑成形模、涂层模、压光辊及喷嘴
94WC-6Co	粗	铸铁、有色金属及非金属的切削；也用于小的拔丝模、挤压模、小的拉延模及套和环；采掘业中（经受冲击的旋转冲击钻头）使用的硬质合金中硬度最高者
90WC-10Co	细	钢的切削加工和高温金属（包括钛及其合金）的低速小进给铣削；平面铣刀、端铣刀、成型刀、切断刀和螺纹加工刀具
90WC-10Co	粗	主要用于矿井滚子截齿和撞击钻头
84WC-16Co	细	主要用于矿山及金属成型零件
84WC-16Co	粗	金属成型及矿山零件；要求高韧性的中等和大尺寸模具；冲压落料模及大的心棒
75WC-25Co	中	受强冲击载荷的金属成型零件如镦头模、冷挤压模、厚板材落料的凸模和凹模
复合碳化物硬质合金		
71~74.5WC- 10~12.5TiC- 11~12TaC- 4.5Co	中	碳钢、合金钢及合金铸铁的精加工，半精加工和粗加工
72~73WC-7~8TiC- 11.5~12TaC- 8~8.5Co	中	坚韧及耐磨类的重负荷粗切削；满意地胜任高温重负荷加工；普通碳钢、合金钢及合金铸铁的断续车加工、荒车及铣加工

续表

级别	晶粒大小	应用
64TiC-28WC- 2TaC-2Cr ₃ C ₂ - 4Co	中	钢和铸铁的高速精加工
57WC-27TaC- 16Co	粗	热切焊管飞边；亦用于热挤压铝线与铝管的模具

些除钨碳化物之外还添加其他金属碳化物的，则称为“复杂级”。

碳化钨硬质合金用于切削刀具、拉拔模，成型模的嵌件、凸模及其他许多种工具。复合碳化物硬质合金主要用于制造加工普通碳钢及低合金钢的切削刀具及切削工具上的刀片。在此类用途中，复合碳化物硬质合金磨损较慢，因为刀具前倾面上由切屑粘结磨损而形成月牙洼大大地小于碳化钨硬质合金。并且，复合碳化物硬质合金切削刃在高温下具有较高的抗变形能力。

硬质合金是非常硬的，并且在高于高速钢开始软化的温度下仍可保持高硬度。硬质合金刀具最初是将压坯用铜焊在刀柄上。为了尽可能提高生产效率，这些刀具必须经常地重磨。虽然现在有很多地方仍然用这种钎焊的重磨刀具，但更为普遍地是将硬质合金制成体积很小的可转位的刀片，机械夹固在钢制刀杆上。图12示出几种机夹刀片和连接方法。这些刀片可以转位到所有可使用的刃都磨损，然后重新研磨或回收。

粉末冶金制造法 制造硬质合金工具的常规方法是粉末冶金法，此法将粉碎的钨碳化物与钴粉混合，冷压到要求的形状(留有烧结的收缩量)，并在真空或控制气氛中，在足以使粘结剂熔化或至少部分熔化的高温下烧结。这种工业方法的局限性，是要求工件沿压制方向的截面是均匀一致的，长度和直径之比也不能

* 以下统称为“复合碳化物硬质合金——译者注。

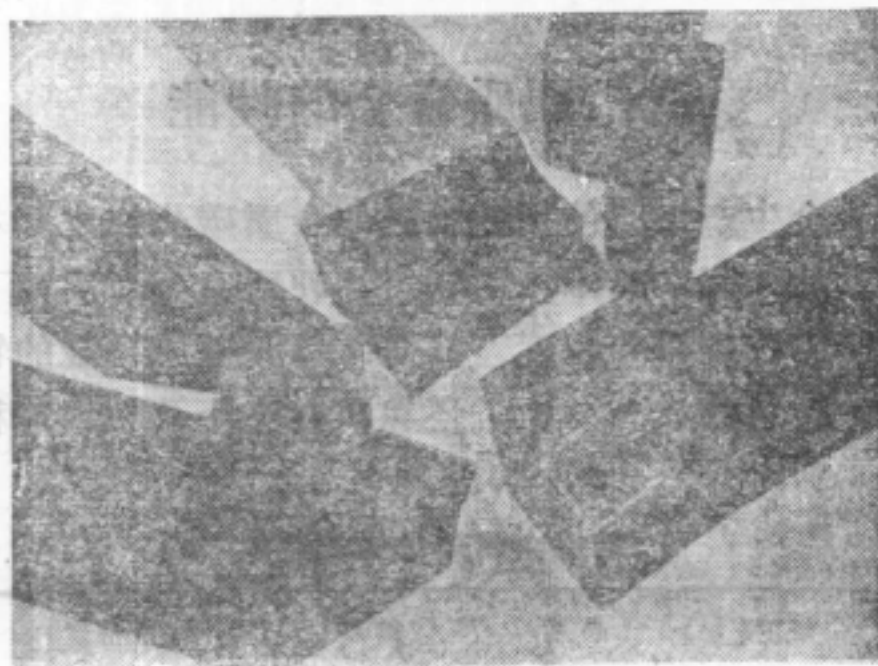


图 12 可转位的硬质合金刀片和夹固方法

过大，以保证压紧力的均匀一致。

大件和不便于压坯的零件一般可用冷等静压法制造。在液相烧结达到最终目的之前，工件可以经过预烧结；也可不经预烧结，可以将其加工到要求的形状，也可不经加工。大件有时采用在石墨模中的热压法压制。

热等静压一般用于增加烧结碳化物零件的坚固性，热等静压可改善硬质合金工具的表面光洁度并提高横向抗破裂强度、抗压强度和抗冲击能力的平均值。它是某些工具如压缩机活塞、磨床转轴、砧及制作高压器件的模具、冷挤凸模及旋锻轴等必不可少的生产工序。对要求表面光洁度很高的工件，倾向于采用热等静压。拉拔模及心轴、挤压凸模、森氏极薄钢板多辊轧机轧辊、带钢轧辊、扁线轧辊、泵和压缩机的衬套和活塞，压光辊及精压用的球及阀门，属于要求特别高光洁度以获最佳使用性能的工具和零件。

细长的工件，如电路板钻头的支撑杆，难于用模压或等静压方法制造。这些零件可采用由碳化物粉、金属粘结剂和合适的有机载体组成的混合物进行挤压成形，然后烧结。

三、硬质合金的性能

硬质合金生产中所使用的难熔的金属碳化物之基本的机械性能和物理性能如表20所示。由表可知硬质合金在高温下具有很高的耐磨性、弹性模数和密度。然而，每种硬质合金的特殊性能不仅取决于碳化物的成分，而且还和颗粒大小及粘结剂种类和数量有关。

表20 难熔金属碳化物的性能 (a)

碳化物	硬度 (b) HV	晶系	熔点 ℃	理论密度 Mg/m ³	弹性模数 GPa*
TiC	3200	立方	3065 ± 15	4.92	448
VC	2950	立方	2730 ± 75	5.48	434
HfC	2700	立方	3925 ± 50	12.67	—
ZrC	2600	立方	3440 ± 20	6.56	474
NbC	2400	立方	3550 ± 75	7.82	~290
Cr ₃ C ₂	2800	正交	~1900	6.68	386
WC	2080	六方	~2800	15.8	669
Mo ₂ C	1950	六方	2490~2520	9.12	227
TaC	1790	立方	3915 ± 50	14.50	276

注：(a) 除 (b) 外，其余数据取自参考文献2。

(b) 取自参考文献3。

* 1GPa = 10³MPa——译注。

表21列出了确定硬质合金及其他超硬材料的基本性能所采用的试验方法。虽然经验是评定这些材料用途的主要根据，但在经验有限或不充足，或在没有先例的情况下，表21中的某些试验有助于使选择的范围更窄些。

九种碳化钨和四种复合碳化物的钴结硬质合金的成分和性能如表22所示。由于性能同时受成分和组织的影响，故必须同时说明这两方面的特点，才能确定具体的牌号。表22中十三种牌号的

表21

决定硬质合金性能的试验方法

性 能	ASTM/ANSI	CCPA	ISD	SAE
抗磨损性	B 611	P 112	(a)	...
可见颗粒大小	B 390	M 203	...	J 439
可见孔隙度轴向负荷	B 276	M 201	4505	J 439
疲劳强度	...	...	(a)	...
滑动摩擦系数	...	P 111	...	...
矫顽力	...	...	3326	...
抗压强度	E 9(b)	P 104	4506	...
密度	B 311	P 101	3369	J 439
径向压缩试验	B 485	P 115	...	...
电阻	B 421	P 107	...	...
断裂韧性	(a)	...	...	...
硬度, HRA	B 294	P 103	3738	J 439
硬度, HV	E 92	...	3878	...
线膨胀系数	B 95	P 108	...	...
导磁率	A 342	P 109	...	...
金相试样的制备	(a)	...	...	...
显微组织	B 657	M 202	4499	...
泊松比	E 132	P 105	...	...
粉末的取样和试验	...	...	4884	...
取样和试验	...	...	4889	...
抗拉试验	B 437(c)	P 113	...	...
热冲击抗力	...	P 110	...	...
横向抗断强度	B 406	P 102	3327	...
杨氏模数	E 111	P 106	3312	...

注: (a) 正在准备之中。

(b) 由ISO4506导出的方法正在准备之中。

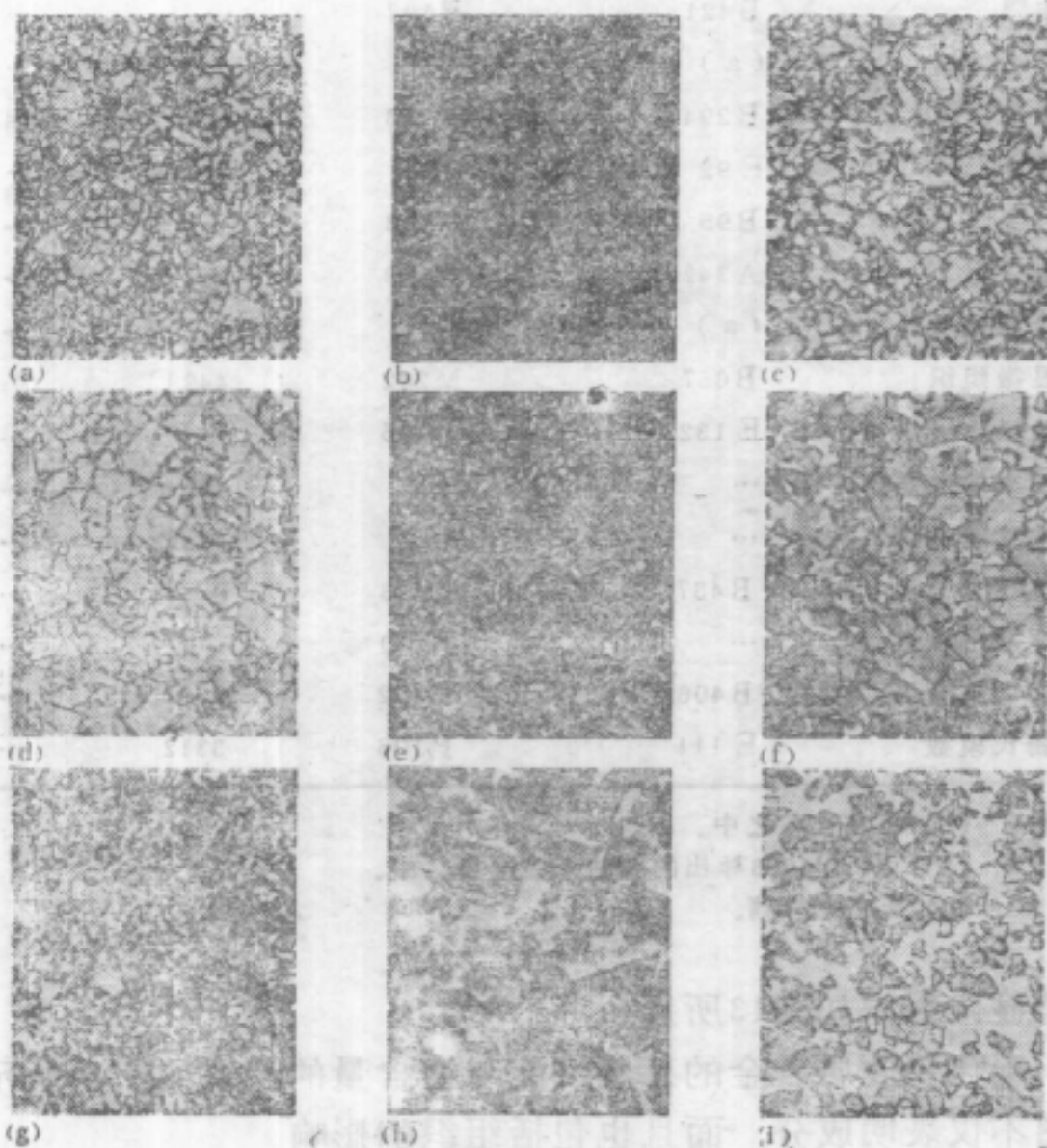
(c) 正考虑撤消。

典型显微组织如图13所示。

碳化钨硬质合金的某些性能与钴含量的关系如图14所示。这些图不仅表明成分, 而且也包括组织的影响。

显微组织 改变硬质合金的组织可以改善具体应用条件下工具的使用性能。图13中金相组织从(a)到(i)表明九种碳化钨硬质合金的显微组织，其性能列在表22中。这些显微组织和性能与表19中前九种合金所列出的用途相对应。

对于碳化钨硬质合金，在晶粒尺寸(WC颗粒尺寸)相近的情况下，提高钴含量可增加横向抗破裂强度及韧性，但降低硬度和抗压强度、弹性模数以及抗磨损性。例如对含钴3%、6%和25%三种中等颗粒硬质合金(图13中a、b及i)作一比较时，就会发现3%Co合金有着最高的硬度和抗磨损性，这使它适于制造拔丝模及加工铸铁和其它磨蚀性或粘性的材料之切削刀具。6%Co



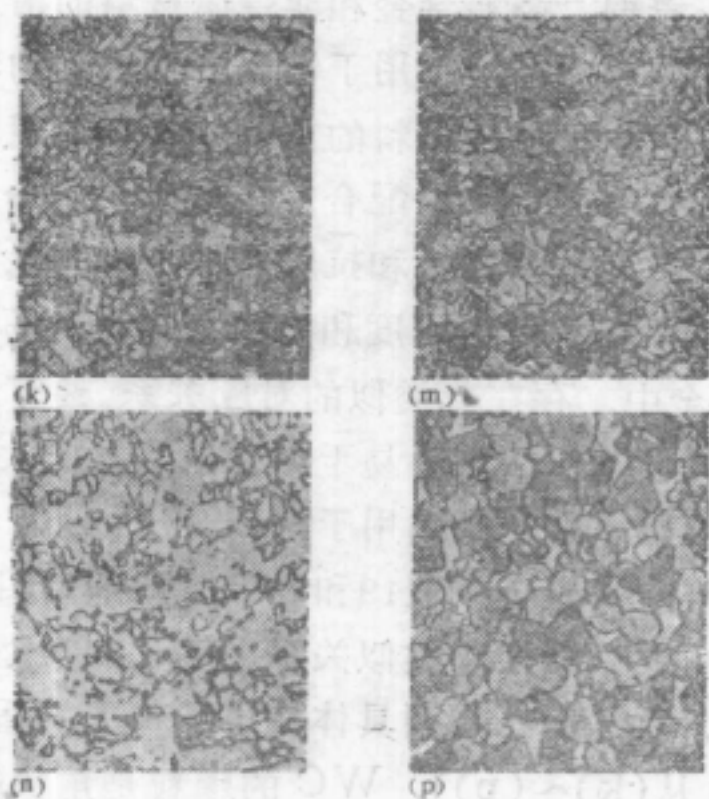


图13 硬质合金的显微组织

所有试样均用村上浸蚀剂腐蚀，1500X。

- (a) 97WC-3Co, 中等粒度。(b) 94WC-6Co, 细粒度。(c) 94WC-6Co, 中粒度。(d) 94WC-6Co, 粗粒度。(e) 90WC-10Co, 细粒度。(f) 90WC-10Co, 粗粒度。(g) 84WC-16Co, 细粒度。(h) 84WC-16Co, 粗粒度。(i) 75WC-25Co, 中粒度。(k) 71WC-12.5TiC-12TaC-4.5Co, 中粒度。(m) 72WC-8TiC-11.5TaC-8.5Co, 中粒度。(n) 64Ti-28WC-2TaC-2Cr₂C₃-4Co, 中粒度。(p) 57WC-27TaC-16Co, 粗粒度。相应的性能见表22。

合金各方面性能都较好，是一种通用性好的硬质合金。25%Co合金具有高的韧性，适于承受重冲击的场合，由于硬度和抗磨损性低，它们不用于切削刀具。类似的性能及用途可在含钴6%、10%及16%的细颗粒硬质合金（图13中b、e和g）以及含钴6%、10%及16%的粗颗粒合金（图13c、f和h）之间导出。

另一套对照关系可在含6%Co的合金中看出。所有细、中和粗颗粒都用于切削工具，但适于不同的切削条件和被加工材料。细颗粒硬质合金〔图13 (b)〕适于可锻铸铁，灰口铸铁和白口

铸铁及奥氏体不锈钢，高温合金和非金属材料的精加工中、粗加工；中等颗粒〔图13(c)〕，适用于锻制工件材料的轻~重载荷的切削加工；粗晶粒适于这样材料的重载~极重载粗加工。中等颗粒因有良好的强度和韧性间的配合，故广泛用于一般用途的切削加工。粗晶粒因有最低的硬度和抗磨耗性，并有上述三类中最好韧性，故适用于须要有适当硬度和高韧性综合的场合。在含10%及16%Co的合金中，存在着类似的对应关系。通常，减小颗粒尺寸可改善抗磨耗性并使切削刃易于保存下来；增大颗粒尺寸则可改善韧性，并使硬质合金更适用于模具。

对于复合级硬质合金（表19和22中所列的后四个品种），不太容易导出像碳化钨系那样的类似关系。碳化物类型及粘结剂的含量影响到性能，并从而影响到具体使用条件下的适用性。在显微组织中〔图13从(k)~(p)〕，WC的颗粒是角状的，而TiC及TaC则要圆一些。

头两个复合碳化物硬质合金〔显微结构(k)及(m)〕的WC含量大体相等，但后者含有两倍以上粘结剂。低钴级用于较轻负荷的切削。

高TiC的复合级碳化物硬质合金〔显微结构(n)〕横向抗破断强度较低，但抗磨耗及抗形成月牙洼的能力强，较广泛地用于高速度轻负荷的精加工。

钴和TaC量最高的复合级硬质合金〔显微结构(p)〕，被认为最好用于热作工具，也适用于做金属切削刀具和金属的成型工具。

硬度 根据美国硬质合金生产者和使用者的实践，表22和图14中列入了洛氏A级硬度。图15和16中给出这些材料的HRA跟HV（金刚石角锥硬度）和努氏（Knoop）硬度值的相互关系。对非常硬的材料，如硬质合金，用不同方法测得的硬度值之间不存在一种简单的变换关系。很明显HRA表盘上每一刻度值的差异可能是很大的，因为不存在线性关系，特别是表盘H-

RA值很高一端更是如此。例如，当HRA从92到93时，相当于从HV1700到HV2000，维氏硬度的增值为300，而在另一种情况下，当HRA75到76时，则相当于从HV500增至HV520，维氏硬度的增值仅为20。

在测定超硬工具材料的硬度时，特别在载荷高的情况下，金刚石压头很容易损坏。因为硬质合金的塑性低，压头下部容易剥落生成碎片，引起压头的碎裂和破断。经常地用钢质块校正，并定期目测检查压头触点，对保证试验时得到无破损的压头是必要的。

图17表明了洛氏A级硬度值随温度升高的变化。细颗粒的94 WC-6Co从室温到800℃左右硬度下降7个HRA单位——从HRA93降到HRA86。热硬度低，通常意味着高温下抗变形的能力差。但是，即使是热硬度值相近的硬质合金，在高温下的变形抗力也有很大的差别。

抗磨耗性 硬质合金及其他工具材料的生产厂大都用下述试验来测量抗磨耗性：试样与轮子相接触，后者以一定的速度转动，其下部浸入悬浮着尖锐氧化铝颗粒的水浆中。通常用磨耗速度即体积损失的倒数表示，按若干相对等级记录。有两种标准的抗磨耗性试验法：ASTM B611及CCPA P112。但并不是所有生产厂都接受了ASTM磨耗试验法，所以各厂的抗磨耗性值的差别是很大的。由于这种差别，几乎不可能在不同的生产厂提供的试验结果之间进行有效的比较。另外，不能把抗磨耗性（Abrasion Resistance）和超硬工具材料刀具切削钢和其他材料的耐磨性（Wear Resistance）等同起来——一定标准试验法得出的抗磨耗性与切削加工时（刀具的）耐磨性并不简单地符合一致。

相对抗磨耗性如表22及图14所示。这些数值以抗磨耗性最高的材料作为100%。相对抗磨耗性随含钴量或晶粒尺寸之升高而下降。而在含钴量相同时，复合碳化物硬质合金的抗磨耗性低于普通的碳化钨系。

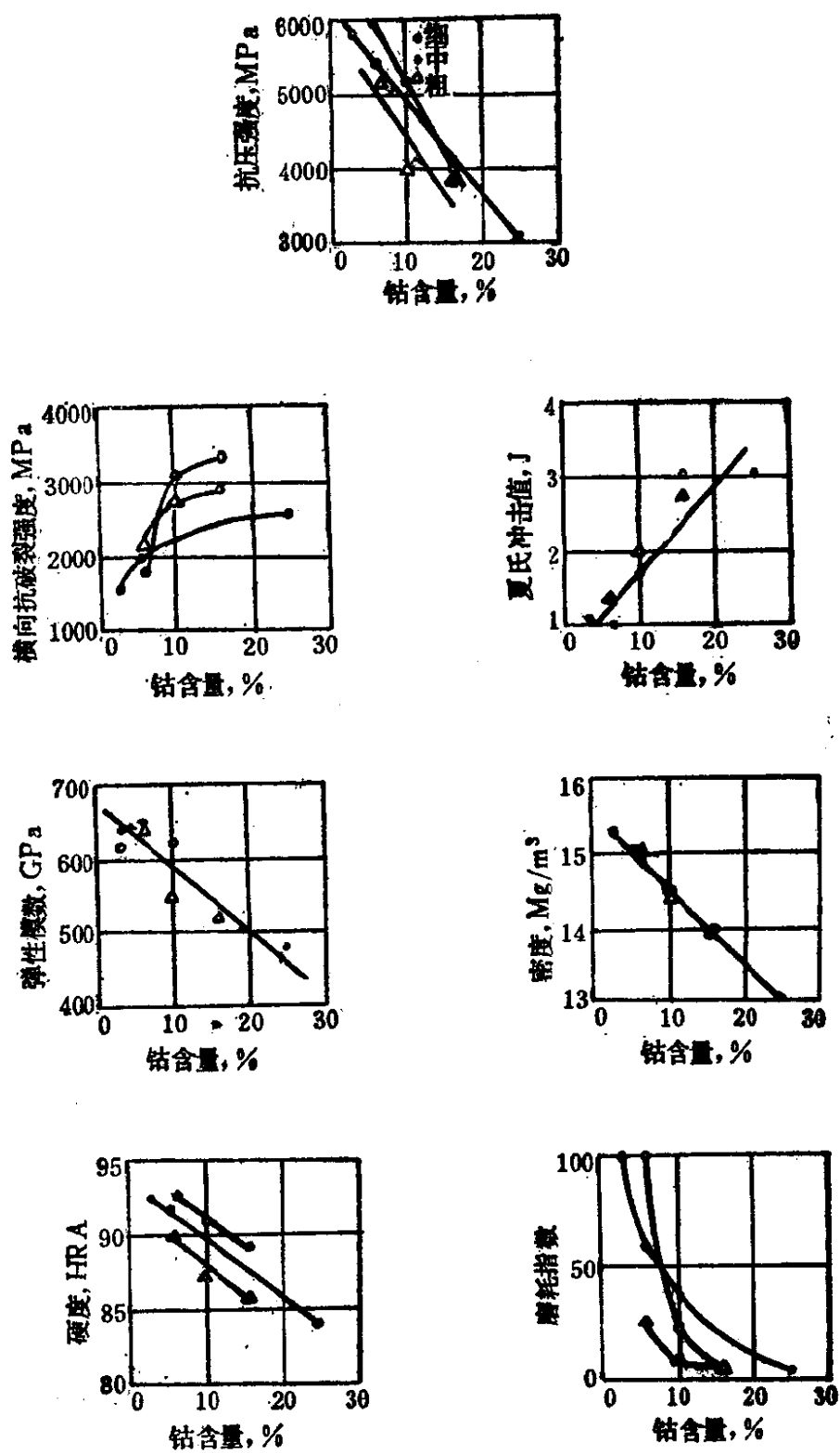


图 14 碳化钨硬质合金的性能随含钴量和晶粒大小的变化
 变化随钴含量和颗粒大小的变化

表 22

钴结硬质合金的主要性能

名义成分	颗粒大小	硬度 HRA	密度 Mg/m ³	横向强度 MPa	抗压强度 MPa	压缩比例极限 MPa	弹性模数 GPa
97WC-3Co	中	92.5~93.2	15.3	1590	5860	2410	641
94WC-6Co	细	92.5~93.1	15.0	1790	5930	2550	614
	中	91.7~92.2	15.0	2000	5450	1930	648
	粗	90.5~91.5	15.0	2210	5170	1450	641
90WC-10Co	细	90.7~91.3	14.6	3100	5170	1590	620
	粗	87.4~88.2	14.5	2760	4000	1170	552
84WC-16Co	细	89	13.9	3380	4070	970	524
	粗	86.0~87.5	13.9	2900	3860	700	524
75WC-25Co	中	83~85	13.0	2550	3100	410	483
71WC-12.5TiC -12TaC-4.5Co	中	92.1~92.8	12.0	1380	5790	1170	565
72WC-8TiC -11.5TaC-8.5Co	中	90.7~91.5	12.6	1720	5170	1720	558
64TiC-28WC -2TaC-2Cr ₃ C ₂ -4.0Co	中	94.5~95.2	6.6	690	4340	...	...
57WC-27TaC -16Co	粗	84.0~86.0	13.7	2690	3720	1170	441

续表 22

名义成分	抗拉强度	冲击韧性	相对抗磨耗性	热膨胀系数		导热系数	电导率
	MPa	J	(a)	200℃	1000℃	W/m·K	% IACS°
97WC-3Co	...	1.13	100	4	...	121	5.3
94WC-3Co	...	1.02	100	4.3	5.9	...	...
	1450	1.36	58	4.3	5.4	100	7.8
	1520	1.36	25	4.3	5.6	121	10.0
90WC-10Co	...	1.69	22	...	...	...	...
	1340	2.03	7	5.2	...	112	11.4

续表

名义成分	抗拉强度	冲击韧性	相对抗磨耗性 (a)	热膨胀系数		导热系数 W/m·K	电导率 %IACS°
	MPa	J		$\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}$ 200°C	$\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}$ 1000°C		
84WC-16Co	...	3.05	5	...	...	...	...
	1860	2.83	5	5.8	7.0	88	9.2
75WC-25Co	1380	3.05	3	6.3	...	71	9.8
71WC-12.5TiC -12TaC-4.5Co	...	0.79	11	5.2	6.5	35	4.3
72WC-8TiC -11.5TaC-8.5Co	...	0.90	13	5.8	6.8	50	5.2
64TiC-28WC -2TaC-2Cr ₃ C ₂ -4.0Co	...	...	8	...	...	...	...
57WC-27TaC -16Co	...	2.03	3	5.9	7.7	...	...

注：(a) 以抗磨耗性最高的材料为100。• 相对标准退火铜线电导率的百分比。

抗腐蚀性 硬质合金的抗腐蚀性是较好的，它们可以成功地用于要求抗磨损，同时又要求有一定腐蚀性的环境。对水，油

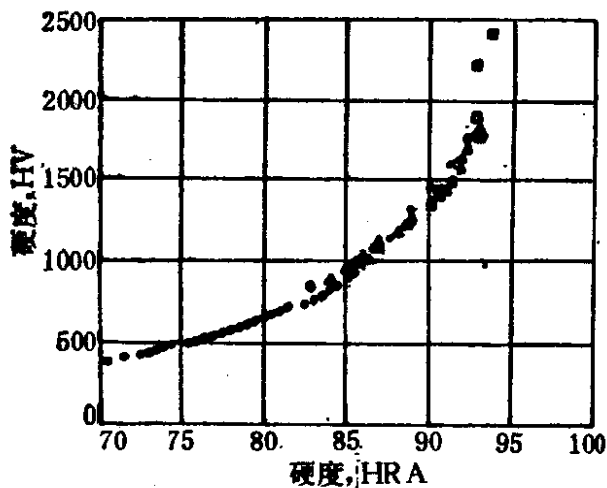


图 15 高硬材料的金钢石角锥硬度和洛氏 A 级硬度间的相互关系

及其他切削液，以及碱性物的抗蚀能力都是良好的，但多数硬质合金的钴基体易于被酸腐蚀。当钴被腐蚀后，由于碳化物颗粒失去支撑，就会瓦解而使磨损加速发展。钴粘结剂的被腐蚀还可能造成强度的剧烈下降。

作为刀具材料，硬质合金在加热到500~600°C时才开始氧化。然而，用重量变化或尺

寸变形来衡量抗氧化能力时，含大量碳化钛的品种在1000℃的抗氧化能力大大低于普通碳化钨系品种。

韧性 硬质合金是脆性的材料；在拉伸试验时，通常只有小于0.2%的延伸率。

硬质合金的夏氏冲击值非常低，而且所得结果可能是不真实的（文献5）。高硬材料在冲击试验时，所吸收的功主要是试样弹性弯曲功及试验机吸收的功，衡量韧性大小的功，即塑性功及断裂时形成新表面消耗的能量，只占测得的总功之极小一部分。

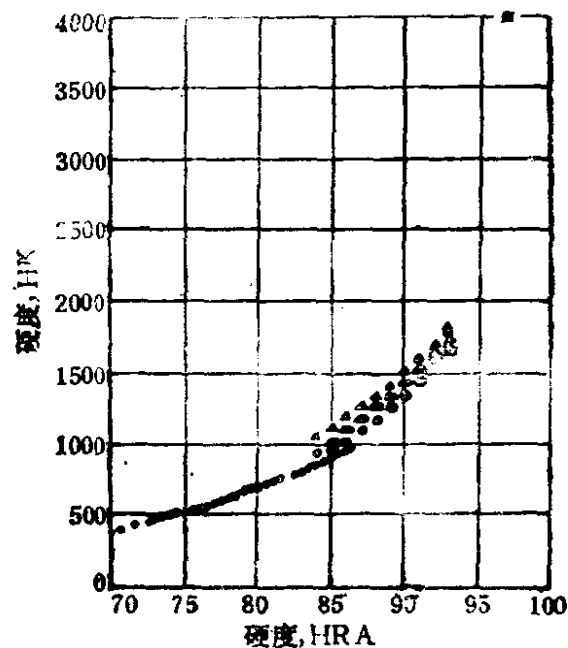


图 16 高硬材料的洛氏 A 级硬度和努氏硬度值之间的关系

四、涂层硬质合金

涂层硬质合金是在一般的硬质合金基体上覆以一层很硬的其他材料而组成。通常采用化学气相沉积法。

涂层硬质合金比不涂层的有更好的耐磨和抗破断综合性能。涂层硬质合金在1970年已商品化。美国在1970年至1980年间用作金属切削的硬质合金中，约有35%是涂层的。在金属切削领域

里，涂层硬质合金的声望随着涂层本身及基体材料的改善而不断增加。现在，涂层厚度的均匀性及层的孔隙度都比过去改善了；和基体之间的结合也已有了改善，有害的内界面反应被消除了；同时应用了专为涂层产品而设计的基体材料，其抗破断和热胀缩性都有改善。这两者正是基体材料最重要的性能。

涂层硬质合金的应用日益广泛，因为在高生产率的切削加工中，它们可允许将切削速度提高到令人满意的程度。例如，与不涂层硬质合金工具相比，在相同寿命的条件下，TiC涂层刀具之切削速度可高出50%，而Al₂O₃涂层的刀具则可高出90%。涂层物的正确选择，不仅要根据切削速度，还应考虑工具磨损的类型（刃部磨损、后面磨损及月牙洼磨损，三者之中何者为主）。工具的外形，后角和切削类型（粗或精）也影响到基体材料与涂层的正确选配。

碳化钛涂层 碳化钛涂层是在硬质合金上首次应用的，而

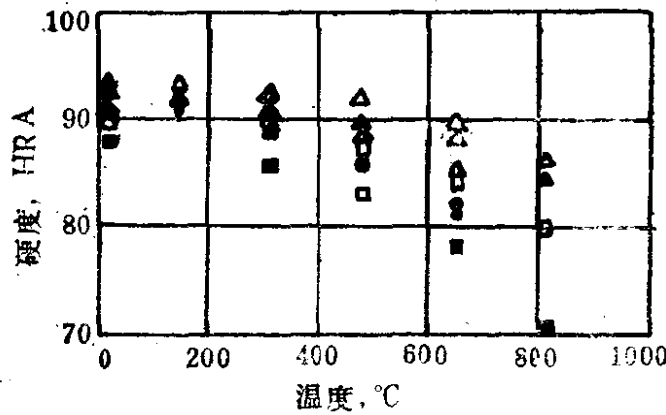


图 17 硬质合金的热硬度

符号	成分	颗粒大小
○	94WC ₆ Co	细
●	94WC-6Co	粗
△	94WC-6Co	很细
▲	90WC-10Co	很细
□	85WC-15Co	很细
■	85WC-15Co	粗
◐	79WC-8TiC-4TaC-9Co	中
◑	72WC-8TiC-11.5TaC-8.5Co	中

且一直是应用得最多的一种。TiC沉积层的厚度通常为0.005毫米左右。商业上供应的碳化钛涂层刀具材料在涂层厚度及涂层与基体的结合类型上变动很大，这种变动可能造成金属切削效界的重大差别。

某些生产厂使用几种不同的基体和具有不同使用特性的三、金四种TiC涂层硬质合金。一种典型的TiC涂层硬质合金刀片的横断面金相组织如图18所示，TiC层位于顶部。



图 18 TiC涂层硬质合金的横截面

村上浸蚀剂腐蚀，1500X

商业的TiC涂层硬质合金的抗破断性能并不比用于重负荷、粗加工的不涂层硬质合金更好些，例如含TiC少而含钴较多的WC-TaC-8TiC-8.5Co的硬质合金。涂层硬质合金的耐磨性也不比最耐磨的不涂层硬质合金高，例如含较多TiC而较少钴的64TiC-32WC-4Co级。尽管如此，但TiC涂层硬质合金在各种各样的切削条件下要更好用些，其寿命要比具有相当抗破断性能的普通用途或精加工用的不涂层品种高一倍到二倍。这一比较足以推定类似的切削条件的使用和决定切削刃不再被使用的类似要求。

氧化铝涂层 在高速高效率切削方面，氧化铝涂层获得很快的应用。氧化铝硬质合金涂层刀具，其切削刃的强度大大高于陶瓷刀片。

商业Al₂O₃涂层硬质合金可以有单层的和双层的两个品种。前者是以0.005毫米的氧化物涂层冶金结合的方式粘结到专门设

计的硬质合金基体上去的。双涂层产品系在硬质合金基体上先涂TiC，再涂上Al₂O₃薄层。

氮化钛涂层 在某些金属切削应用中，氮化钛涂层对月牙洼形成和后面磨损可获得较高的抗力。TiN涂层产品很容易从它的金黄颜色来辨认。

复合涂层 复合涂层由碳化钛、碳氮化钛和氮化钛薄层复合组成，用于高参数的切削。据称此种涂层综合了氮化物和碳化物涂层两者的优点，使刀具具有较好的刃部耐磨性，较高的后面和月牙洼磨损抗力，这种配合是单涂层所不可能获得的。

五、镍结碳化钛硬质合金

已经研制了用镍作粘结剂的碳化钛（并加入碳化钼）硬质合金。此种材料具有高的抗月牙洼磨损能力，低的摩擦系数和低的导热性。虽然它的穿透硬度是高的，但其抗磨耗性低于相同或更低硬度的钴结碳化钨硬质合金。

典型的品种含8~25%Ni，8~15%Mo₂C及60~80%TiC。有时加入少量碳化钨、钴、氮化钛及其他添加材料。

切削用的四种碳化钛硬质合金的性能和分类法如表23所示。典型的组织如图19所示。

表 23 镍结碳化钛硬质合金的性能和用途

性能	高TiC, 加Mo ₂ C, 低Ni	高TiC, 加Mo ₂ C, 低Ni	TiC,加 Mo ₂ C, 中等Ni	低TiC, 加Mo ₂ C, 高Ni
颗粒大小	细	…	细	细
硬度:				
HRA	93.3	93.0	91.7	90.5
HV	1970	1890	1600	1400
密度Mg/m ³	5.50	5.63	5.71	5.82
横向抗破断强度,MPa	1170	1380	1720	1890
抗压强度MPa	3585	3450	3270	2960

续表

性能	高TiC, 加Mo ₂ C, 低Ni	高TiC, 加Mo ₂ C, 低Ni	TiC, 加 Mo ₂ C, 中等Ni	低TiC, 加Mo ₂ C, 高Ni
抗拉强度, MPa	970	1100	1170	1240
弹性模数, GPa	462	448	414	379
冲击强度, J	0.79	0.90	1.02	1.24
热膨胀系数(a), μm/m·°C	7.5	7.8	8.4	9.1
热传导系数(b), W/m·K	16.7	16.7	16.7	16.7
用于切削加工的 典型类别, C—类	C-8	C-7	C-6	C-8
ISO	P01	P10	P20	P30

注: (a) 从21~650°C。
(b) 从100~300°C。

有关镍结碳化钛硬质合金的更详细资料见参考文献6。

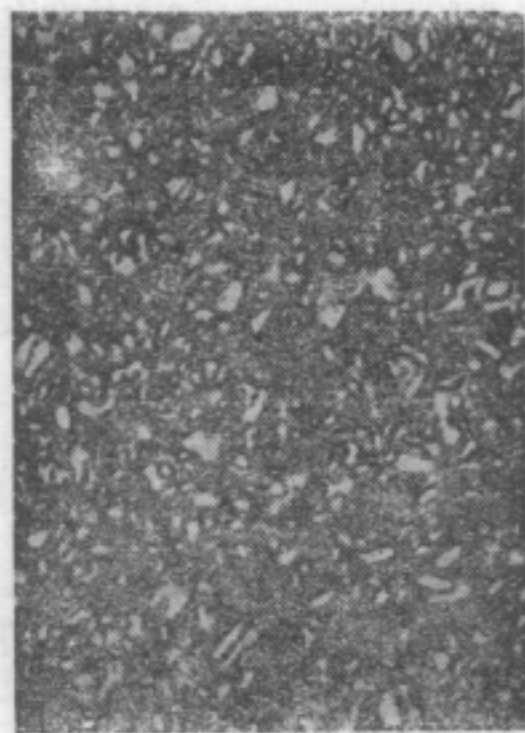


图 19 典型的镍结碳化钛硬质合金的显微组织

六. 钢结硬质合金

钢结硬质合金是一种耐磨性介于工具钢和硬质合金之间的P/M工具材料。钢结硬质合金由钢基体及由均匀, 弥散地分布于其中的40~55%体积的碳化钛组成。

按照工具钢的使用习惯, 钢结硬质合金用以制造整体的工具。工具可以被固定在钢合金或钢制的支撑结构件上使用, 其固定方法, 可以用机械夹固, 粘结或铜焊。在真空中的铜焊, 使用AWSB Ni₈——一种镍-锰铜焊焊条, 此种焊条具有好的塑性和高强度, 并且其熔点超过C类钢结硬质合金的热处理温度。

表 24 三类基本的钢结碳化钛硬质合金的成分和主要性能

特 性:	C 类	CM类	SK类
成分:			
碳化钛	45% (体)	45% (体)	40% (体)
钢基	0.6C-3Cr -3Mo	0.85C-10Cr -3Mo	0.40C-5Cr -4Mo-0.5Ni
硬度:			
退火, HRC	40	45	37
淬火(a), HRC	70	69	65
最高工作温度, ℃	200	540	540
密度, Mg/m ³	6.60	6.45	6.80
横向抗断强度, MPa	2070	2140	2070
弹性模数, GPa	305	305	270
热膨胀系数, μm/m·℃	7.83(b)	8.3(c)	9.47(c)
电导率, %ACS	3.2	2.8	3.0

注: (a) C类: 950℃奥氏体化, 油冷, 190℃回火一小时; CM类: 1100℃奥氏体化, 油冷 (真空热处理时气冷), 525℃两次回火; SK类: 1000℃奥氏体化, 油冷 (真空热处理时气冷), 525℃两次回火。

(b) 从21~200℃

(c) 从21~540℃。

碳化钛钢结硬质合金的性能及用作一般工具的热处理工艺如表24所示；C类钢结硬质合金的显微组织如图20所示。

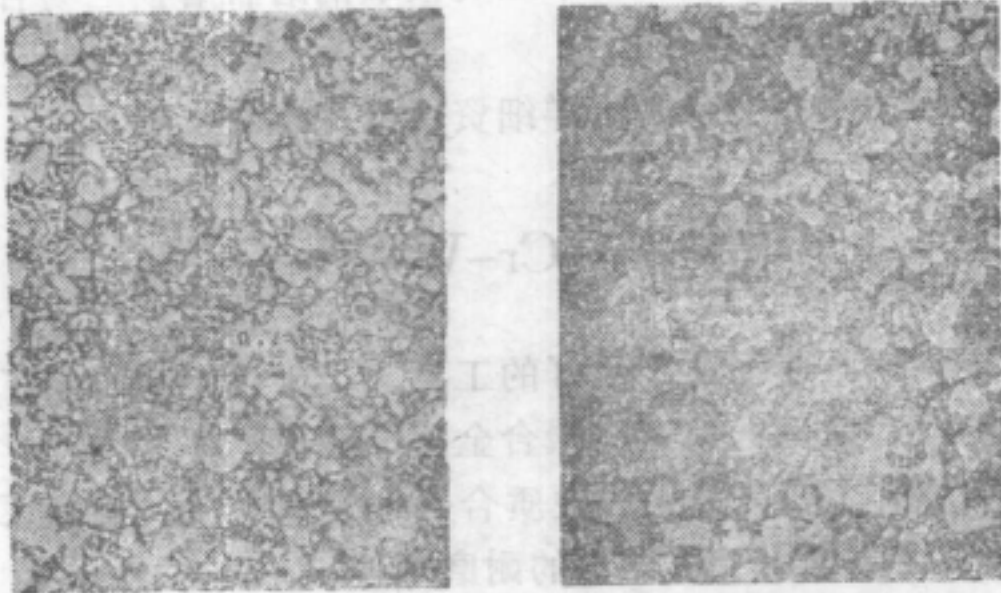


图20 C类钢结硬质合金的显微组织

名义成分：45%（体积）TiC，0.6C-3Cr-3Mo钢基体。左：退火态，圆粒状TiC分布于软的、球状渗碳体和铁素体组成的基体中。右：硬化状态，圆粒状TiC分布回火马氏体基体中。（硝酸乙醇浸蚀，750x）

C类合金用于级进冲模；铁芯片冲模；拉伸、弯曲和卷边金属板材与线材的模具；管子轧辊；量规和夹具。CM类合金用于制造厚板材的冷或温成型模。SK类合金用于热轧辊及锻模，包括热态锻压金属粉末的锻模。一般说，不推荐用作切削铁基金属的刀具，因为在切削刃的高温下硬度降低的太多。有色金属的切削时界面温升不太高，故有些牌号的钢结硬质合金已用于这类材料的切削加工。

钢结硬质合金成功地用于剧烈磨损的场合，包括滑动摩擦。它的成功被认为应归于特别硬、细小、圆粒的碳化钛如浮雕一般暴露在表面的缘故。为获得这一状态，要求热处理后先用粗的（磨粒尺寸为30微米）抛光剂抛到磨痕及不洁物完全被去除，然后再用中等抛光剂（15微米）抛光，最后用细的研磨剂（6微米）抛到镜面光洁度。氧化铝是很合适的研磨剂。

除表24中所示的三类以外，还供应以特殊合金为基体的其他品种，它具有抗腐蚀性或无磁性等特点。某些品种还可用表面处理法改善基体的耐磨性，用于经受极细的磨粒磨损之场合。这些表面处理包括氮化和渗硼。

有关钢结硬质合金的更详细资料可见参考文献7。

七、铸造Co-Cr-W-Nb-C合金

为提供比高速钢性能更好的工具，二十世纪初研制了至今仍在生产的铸造钴-铬-钨-铌-碳合金。一般说，作为切削工具，这种合金填补了在高速钢和硬质合金之间的空白。某些Co-Cr-W-Nb-C合金也用于机器中的耐磨零件。

这些合金采用电弧炉或感应炉在保护性气氛中冶炼，当用于切削工具时，最好在冷态石墨模中浇铸。也可使用熔模、壳模或砂模铸成专用的或复杂形状的工具。

铸造工具合金中的两种，Tantung G和Tantung 144，成分如下：Tantung G——47Co-30Cr-15W-3Nb-2.5C-2Mo-0.5B，Tantung 144——45Co-27Cr-18W-5Nb-2Mn-2.3C-0.7B。Tantung G的主要性能如表25所示。为了比较，列出了激冷浇铸的Tantung 144性能：硬度为HRC61~65，横向抗破断强度为2070MPa，弹性模数为295GPa。

Tantung G被推荐作为一般用途的切削工具及耐磨零件，比Tantung 144的用途要广些。Tantung 144硬度较高，是针对要求极高的磨损性和较小的冲击应用条件而设计的。

激冷浇铸的Tantung G典型的显微组织如图21(a)所示，它的复型电子显微照片如图21(b)所示；熔模浇铸的Tsntung G有非常粗大的晶粒，如图21(c)所示。

Tantung G和Tantung 144对食品，尤其含有醋酸食品，具有良好的抗腐蚀能力，因而很适于须有良好抗磨耗性和抗蚀性

表 25

铸造TantungG的性能

性 能	耐火材料	
	激冷浇铸	铸型浇铸
熔化温度, °C	1150~1200	
浇铸温度, °C	1370	
密度, Mg/m ³	8.3	8.3
热膨胀系数, $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{°C}$	4.2	4.2
导热系数, W/m·K	26.8	26.8
硬度, HRC	60~63	53~58
横向抗破断强度, MPa	2240	1030~1200
弹性模数, GPa	265	...
抗拉强度, MPa	585~620	450
抗压强度, MPa	2760	2930
冲击韧性, J	6.1	6.1

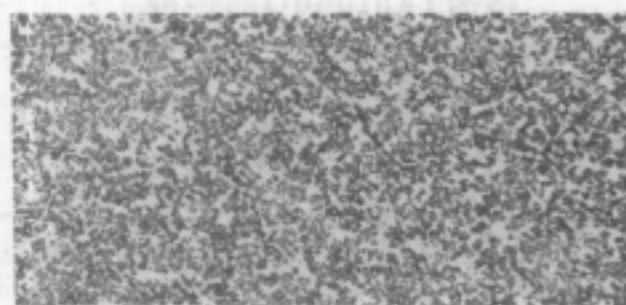
的食品加工设备。

含氯和次氯酸的水可以引起G和144合金的腐蚀和凹痕。此外,此类合金可被浓酸或碱性溶液腐蚀,还可被某些强金属的盐如氯化铁、硫酸铁和氯化铜的溶液所腐蚀。

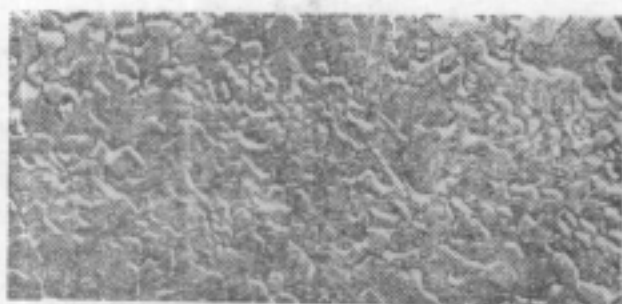
在空气中加热时, Tantung G及Tantung 144在400°C短时即失去光泽, 而连750°C或更高温度时则明显引起失重。在1000°C左右时则形成氧化皮。Tantung G的热硬度值如表26所示。

下述情况可考虑用铸造Co-Cr-W-Nb-C合金作切削刀具:

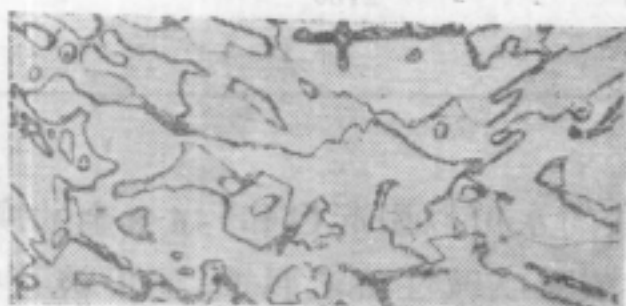
- 较低的表面速度, 在使用硬质合金时易形成积屑瘤。
- 机床的功率或刚度不足, 不能有效地使用硬质合金刀具。
- 要求有比高速钢刀具可能达到的更高的生产率水平。
- 组合刀具中的某些刀, 要求其表面速度介于高速钢和硬质合金之间。
- 在小批量生产的自动化设备上, 因硬质合金刀的成型



(a)



(b)



(c)

图 21 Co-Cr-W-Nb-C合金Tantung G典型的显微组织

(a) 激冷浇铸, 浸蚀6:1HCl-H₂O, 1000X. (b) 激冷浇铸组织的复型电子显微镜观察, HNO₃-H₂SO₄-CH₃OH电解浸蚀 10000X. (c) 耐火材料的铸型浇铸, 浸蚀6:1HCl-H₂O, 1000X

磨削费用过大。

加工有残存型砂、氧化物, 渣或耐火材料颗粒等的粗糙表面的铸件。

由铸造Co-Cr-W-Nb-C合金制成的刀具不推荐用于小切削量高速度的精切削。

这些合金在耐磨零件方面的典型应用包括: 砂带研磨机上的耐磨片, 挤压铜模具, 挤压铝管的模具及钨棒热型锻模、抛光辊、

表 26 铸造TantungG用相互压痕法测定的热硬度

温度 ℃	布氏硬度 HB(a)	洛氏硬度 (b)		
		HRA	HRC	HRB
室温	654	81.3	60.1	...
425	479	75.7	49.8	...
650	479	75.7	49.8	...
870	267	63.8	27.1	104
980	114	...	...	66.7

注：(a) 加载3000公斤，时间30秒。

(b) 由布氏硬度值换算所得。

内夹头的钳口，钻套，水果、蔬菜和肉类的切片刀。

有关铸造 Co-Cr-W-Nb-C 合金更详细的资料见参考文献 8。

八、陶 瓷

陶瓷切削工具以氧化铝为基本材料。它们作转位刀片使用，采用同硬质合金刀片一样的刀杆。但由于陶瓷的脆性比硬质合金大，使用时必须更小心地紧固好镶片，并且，刀具的伸出部分应当保持为刀杆厚度的50~100%。

陶瓷刀片可用冷压或热压烧结法制造。在它发展的早期，就确认了保持细小颗粒的重要性，现在已有了各种生产工艺（包括加入其他化合物）使成品的最大颗粒尺寸不超过2~5微米。

可用的陶瓷工具可分为三组：

- A-1组， Al_2O_3 和10%以下主要是钛、镁、钼、铬、镍或钴的其他氧化物或碳化物，混合物经冷压和烧结制成；

- A-2组，基本上是纯 Al_2O_3 热压法；

· A-3组, Al_2O_3 和加25~30%高熔点碳化物, 如碳化钛, 热压法。

各组陶瓷材料典型的性能如表27所示。还举例列出A-1组中一种材料(成分见表注解)的性能, 它的显微组织如图22所示, 热硬度如表28所示。表29中A-2及A-3的数据说明了, 在1000℃以内时, 硬度可保持HRA90以上, 而横向抗破断强度则保持不变。

表 27 陶瓷工具材料的典型性能

性能	A-1组		A-2组	A-3组
	通常范围	举例 (a)		
硬度, HRA	93~94	93~94	93~94	93~94
密度, Mg/m ³	3.96~3.98	4.1	4.0	4.24
横向抗破断强度, MPa	480~690	620	640	760
抗压强度, MPa	3790~4480	2140(b)	4140	3930~4047
弹性模数, GPa	390	400	390	...
冲击韧性, J	...	0.23	...	...
热膨胀系数 (c), $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}$	...	6.1(d)	7.2	7.7
热传导系数, W/m·K				
室温	29	...	...	...
100℃	22	...	29	...
450℃	11	...	...	...
600℃	...	...	...	14.7

注: (a) $89Al_2O_3-11TiO_2$, 冷压烧结, 其热硬度见表28。

(b) 比例极限。

(c) 21~200℃。

(d) 21~980℃8.3微米/米℃。

在表27中列出的A-1组那种陶瓷刀片材料的相对抗磨耗性仅为5°, 实验方法已在前面有关硬质合金的章节中说明, 基数是硬

• 与表27不符——译者注。

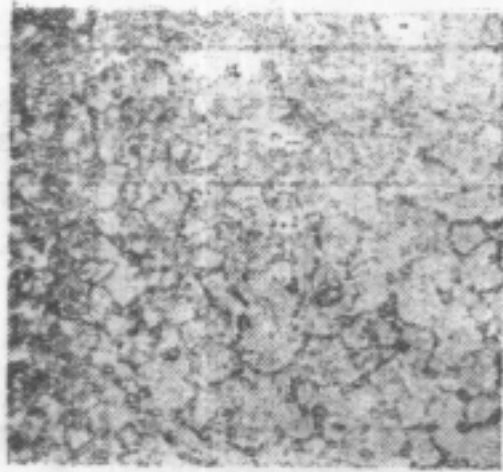


图 22 陶瓷工具材料 A-1 组中的 89 $Al_2O_3-11TiO$ 的显微组织
磷碳浸蚀, 750X。材料性能
见表 27 A-1 组例子

质合金中的最耐磨耗者为 100。前面已指出, 这一实验结果并不能用来衡量刀具切削时的耐磨性。

由于陶瓷刀具中主要是氧化物, 所以它不易氧化, 而正是氧化过程限制了硬质合金在空气中、在高温下的使用性能。

陶瓷刀具材料在很高温度下抗磨损和抗变形的能力比最好的硬质合金还

要优越。因此, 陶瓷刀具一般可在大大高于硬质合金可能到达的切削速度, 并能保持高寿命。在使用陶瓷刀具时, 不需用冷却剂。

表 28 陶瓷工具材料 $89Al_2O_3-11TiO$ 的热硬度

其它性能见表 27 中 A-1 组举例

温度, °C	硬度, HRA
室温	94.1
150	94.0
315	93.0
480	91.0
650	86.5

表 29 A-2 和 A-3 陶瓷刀具材料高温下的硬度和强度

其它典型性能见表 27

温度 °C	硬度, HV		横向抗破断强度, MPa	
	A-2	A-3	A-2	A-3
室温	2100	2400	690	735
480	2000	2000	690	715

续表

温度 ℃	硬度, HV		横向抗破断强度, MPa	
	A/2	A-3	A-2	A-3
650	1950	1850	...	...
815	1850	1700	...	...
980	1700	1500	700	700
1200	1400	1400	610	690

陶瓷刀具的横向抗破断强度和抗剪切强度较低, 要求用较小的进给量切削, 被切削材料除低强度的(如硬橡皮)外, 要采取负前角刀具。陶瓷刀具的刃口要十分小心地研磨, 以防止裂纹的形成, 而重磨则一般是不值得的。

在汽车制造业中, 陶瓷刀具最广泛的用途是在10米/秒的切削速度切削铸铁。陶瓷刀具也在相近的切削速度下成功地用于切削低碳钢, 还可对硬度HRC 60以下的热处理零件进行精车, 这在过去是必须采用磨削加工的。

虽然 Al_2O_3 刀具材料不和铁基被加工材料发生化学反应, 但却和锰、铝、钛和锆这些非铁金属发生反应。因而, Al_2O_3 刀具不被推荐用于这四种非铁金属及其合金的切削。

有关陶瓷刀具材料的更详细资料见参考文献9和10。

九、多晶立方氮化硼

1973年, 多晶的立方氮化硼复合体*刀具被介绍了出来。用高压和高温的方法, 在硬质合金基体上粘结一层立方氮化硼(CBN)。在氮化硼颗粒之间, 也以CBN-CBN晶间粘结的方式相互支撑。

*Polycrystalline Composite Cubic boron nitride, 也称“聚晶立方氮化硼”复合材料——译者注。

实用的多晶立方氮化硼刀具的形状大多与硬质合金相同。许多情况下，立方氮化硼刀片可采用与硬质合金相同的方法铜焊在刀杆上，但要采取专门的措施避免组织过热及防止熔化的焊剂接触CBN层。

由于CBN刀具的成本数倍于硬质合金，所以CBN刀具通常用金刚石磨轮进行重磨后再用，并尽量减少每一刀刃的成本。

CBN晶体的某些性能在表30中给出。粘结在基体上的多晶CBN层的硬度为HRA97(4000HK)。

表 30 立方氮化硼的某些性能

晶体结构	闪锌矿型(F43m)
密度, Mg/m ³	3.48
硬度, (20℃)HV	4000
(1000℃)HV	~4000
位错具有可能性的最低温度, ℃	1300~1400
熔点, K	3500
理论导热系数, W/m·K	13
热稳定性:	
空气中抗氧化极限温度, ℃	~1300
亚稳态的恢复温度, ℃	~1500
热膨胀系数, (21~500℃)μm/m·℃	4.8

由于它们的硬度及硬度保持能力和高温下抗氧化能力高于硬质合金,多晶CBN工具有效地用于切削难加工的超级合金(高温合金),其切削速度可数倍于硬质合金可能达到的水平。在自冷下切削是最良好的使用状态。

除镍基和钴基高温合金之外, CBN工具还可满意地地用于加工其他铁基材料——包括冷硬铸铁、孕育铸铁、热处理到硬度为HRC50~70的工具钢(M2、M42、D2、A2; S5及O1)及其它钢(1055、8620、52100及4140)。

有关多晶立方氮化硼复合体切削刀具的更详细资料见参考文献11。

十、金刚石

金刚石——碳的四面体点阵结构——是目前所知道的最硬和抗划痕能力最高的材料。它的莫氏划痕硬度为10级。它可以刻痕任何其他材料，而不被任何其他材料所刻痕。穿透硬度为5000~12000HK，比其他最硬的材料足高出一倍。

上述特性引起了人们将金刚石用于工具的极大兴趣。然而，工业生产的单晶金刚石，即使是很小的尺寸，也是非常贵的。另外，金刚石是很脆的，很容易沿着一定的结晶平面断裂。金刚石在650℃就开始很快地氧化，并且在大气压下到1500℃就会转变为石墨结构。

由于上述这些特性并加上碳在高温下易于溶解到铁中，使金刚石不宜用作铁基合金的切削加工。

然而，金刚石却有效地用于切削高硅铸造铝合金、铜及其合金、碳化钨硬质合金、含有石英玻璃的橡胶、玻璃纤维增强塑料、碳素纤维增强塑料以及高铝陶瓷。

金刚石广泛用于树脂粘结或金属粘结的磨轮。此外，金刚石还用于细丝的拔丝模。其他一般性的工业用途，如修砂轮工具、金刚石切断锯及研磨盘(当散布于金属基体中时)，极细粒度的金刚石用作抛光粉。

1965年，采用在10GPa高压下的高温烧结金刚石粉末的方法，制成了多晶金刚石。这种方法部分地采纳了较早时为生产小的单晶(颗粒状)金刚石所发展的工艺技术。该法将金刚石粉末熔合成为具有混乱结晶位向、但紧密结合在一起的固体。该法不仅使得有可能以允许的成本生产大尺寸的金刚石工具，而且由于位向的混乱，使耐磨在各方面上均匀一致了，还消除了单晶金刚石切削工具经常发生的早期解理破断现象。

1973年，一种大大改善了的、由多晶金刚石和硬质合金基体

粘结而成的片层结构工具材料被介绍了出来。这种片层结构刀具坯料(刀片), 是高压、高温技术的产物, 它将多晶金刚石的硬度和抗解理断裂性与硬质合金的韧性和可粘结性结合起来, 产生一种极耐磨和具有冲击抗力的复合结构。片层结构刀具的压坯一般由0.5~1.5毫米厚的多晶金刚石层粘在硬质合金基体上。烧结的坯件以各种形状和尺寸供货, 可以用铜焊及精磨制成切削刀具和拉丝工具的成形部分。

片层结构的金刚石、天然金刚石及94WC-6Co硬质合金刀片的相对抗磨耗性及努氏硬度值如下:

工具材料	硬度, HK	相对抗磨耗性*, 分
片层结构金刚石/硬质合金	5500~8000	250
天然金刚石	8000~12000	96~245
94WC-6Co硬质合金	1800~2200	2

注: * 相对抗磨耗性: 试样与被转动的含硅硬橡胶滚子(通常在造纸业中用的那种包橡胶的铜滚)磨擦, 当试样磨耗面达到一特定尺寸时所须的时间, 分。

关于金刚石工具材料的更详细资料见参考文献11、12及13。

参考文献

1. *World Directory and Handbook of Hard Metals*, 2nd Ed, by Kenneth J.A. Brooks, Engineers' Digest Limited, London, 1979.
2. "Engineering Properties of Ceramics", by J.F. Lynch, C.G. Rederer and W.H. Duckworth, Technical Report AFML-TR66-52, Air Force Materials Laboratory, 1966
3. Some Plain Talk About Carbides, by H. S. Kalish, *Manufacturing Engineering and Management*, July 1973
4. "A System of Classification of Hard Metal Grades for Machining." Technical Publication No.1 The British Hard Metal Association, Sheffield, England, 1967
5. An Analysis of Charpy Impact Testing as Applied to Ce-

- mented Carbide, by R. C. Lueth, in *Instrumented Impact Testing*, STP 563, American Society for Testing and Materials, 1974
6. Where Solid Titanium Carbide Stands, by H. S. Kalish, *American Machinist*, 7 Jan 1974, p 50-52
 7. "Machinable Carbides for High Performance Tooling and Wear Parts", by S. E. Tarkan and M. K. Mal, Technical Paper MR 73-927, Society of Manufacturing Engineers
 8. "Tantung, The Premiere Cast Alloy", Bulletin 72-1, VR/Wesson Div. of Fansteel, Inc., 2 June 1972
 9. "Ceramic Tools", by E. D. Whitney, Technical Paper TE 73-205, Society of Manufacturing Engineers
 10. Cutting Performance and Practical Merits of Carbide Ceramics, by K. Ogawa, M. Furukawa and Y. Hara, *Nippon Tungsten Review*, Vol C, 1973
 11. "Borazon and Diamond Cutting Tools", by R. E. Hanneman and L. E. Gibbs, Technical Information Series, Report No. 73 CRD 182, General Electric Co., June 1973,
 12. Some Experiments to Compare Diamond and Diamond Compact Cutting Tools, by M. Casey and J. Wilks, *Sixteenth International Tool Design and Research Conference*, Mcmillan Press Ltd., Sept 1975
 13. "The Characteristics and Performance of COMPAX® Diamond Tools in Machining Applications", by M. D. Dennis and J. D. Christopher, Technical Paper MR 75-986, Society of Manufacturing Engineers

第三章 工具钢的变形

工具钢零件的变形，包括由制造过程，热处理，使用中的温度变化和载荷引起的尺寸和形状的不可逆变化。基于两点理由，对变形的基本了解是非常重要的。首先，校正变形的最后加工费用不仅是很高的，而且还会损害某些有用的性能，带来其它不希望有的性能；其次，大多数工具钢零件在使用中必然会与其它零件相互作用，过分的变形会阻碍它们按原来所希望的那样方式去相互作用。

本章摘自Bernard S. Lement的《工具钢变形》一书，在该书内对这个复杂的题目有较完整的讨论。本章所论及的工具材料的成分和基本性能，在本书中各处均有所介绍。

工具钢零件形状和尺寸的变形，可以是可逆的，也可以是不可逆的。可逆的变化是那些在弹性范围内所加的应力或温度变化引起的。但它既不引起金相组织的改变，也不导致产生超过弹性限度的应力。在此情况下，当温度和应力回复到原始状态时，可以恢复到原来的尺寸值。

工具钢可逆尺寸的上限值变化，取决于产生变形所需的应力（也就是相应于预先选定的塑性应变值的弹性限度）；每单位应力的弹性变形（弹性模数）；温度对这些特性的影响，以及在消除应力和相变发生时，热膨胀系数与温度-时间的组合。

实用上，所有工具钢在室温下的弹性模数，如果不考虑钢的化学成分和热处理的话，是210GPa。因此，如果一个工具钢零件在承受使用载荷下，发生了过分的变形，但当卸去载荷后，要求仍可恢复到原来的尺寸，则改变工具钢的种类或热处理是没有用处的。为了抵消过分的弹性变形，需要：①增大截面尺寸，以减少所承受的应力；②应用较高弹性模数的材料（如烧结碳化钨

硬质合金)。

工具零件的尺寸及形状的不可逆变化,是由于承受了超过弹性极限的应力或发生了金相组织变化(最显著是相变)。有时,这些不可逆变化,可以通过热加工(退火、回火或冷处理)及采用机加工除去多余材料或重新分配残余应力来校正。

一、变形的种类和原因

变形是一个包括所有不可逆尺寸变化的通用术语。有两种主要的变形:一种是包括体积或线尺寸的膨胀或收缩的尺寸变形,但几何形状不发生改变;另一种是由扭曲(挠曲),弯曲和非对称尺寸变化引起的角度和曲率改变的形状变形。通常,在热处理时,这两种变形都会发生,图23作了图解说明。

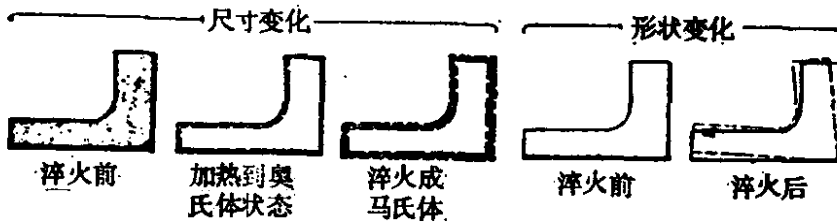


图 23 淬火时的尺寸和形状变化

尺寸变形是在热处理时,由于金相组织变化所引起的比容的净变化而造成的。形状变形是由残余应力或使用应力引起的。热处理所产生的残余应力,是由加热和冷却时,在金属内部的不均匀的温度梯度、不均匀的金相组织变化和金属本身由于浇锭分凝形成多相性等原因引起的。

工具钢热处理时,金相组织的变化,是通过三步来进行的。

第一步是将退火的组织(通常由铁素体和球状碳化物组成)加热到 800°C 左右或更高的温度,使铁素体转变成奥氏体,并使全部或绝大部分球状渗碳体溶解在奥氏体中。对普通碳钢和低合金

工具钢，奥氏体化时所产生的体积收缩，是随碳在奥氏体中的溶解度的增加而减少的。可以近似地用下式表示：

$$V_{sA} = -4.64 + 2.21(\%C) \quad (1)$$

式中 V_{sA} 是球状渗碳体进入奥氏体后，所产生的体积变化的百分值。按该式可以估计，在加热到足够高的温度，使碳全部溶入奥氏体时，则0.5% C的工具钢的体积变化值为-3.53%，1% C的普通型工具钢为-2.43%，1.5% C的高碳型工具钢为-1.33%。但是，含碳量高于共析成分的工具钢，其奥氏体化温度只是高到足以使共析成分的碳量溶解为止。在这种情况下，1% C和1.5% C的工具钢的奥氏体化后的体积变化值分别为-2.77%和-2.53%。这些实际测得的体积变化值，少于按式(1)计算所得的值，因为在1.0% C钢和1.5% C钢中分别含有3.5%和12%未溶碳化物所占的体积的差值。

第二步是迅速冷却，使奥氏体转变成马氏体。在转变时，钢要发生膨胀，其膨胀量是与碳在奥氏体中的固溶度成反比。数学式为：

$$V_{AM} = 4.64 - 0.53(\%C) \quad (2)$$

式中 V_{AM} 是奥氏体转变成马氏体时的体积变化百分值。如果奥氏体化是在正常的奥氏体化温度下进行的话，按式(2)可以估算0.5% C的工具钢作这个转变的体积增值为4.37%，但1.0%和1.5% C的工具钢，则体积增值分别为4.07%和3.71%（碳的共析量仅0.8% C在溶解状态中，此外，考虑到未溶碳化物占有的体积）。

式(1)、(2)可以用来计算退火工具钢淬硬到马氏体状态时的净体积变化值。例如0.5% C，1% C和1.5% C(钢)，在正常热处理时所产生的净体积变化百分值分别为 $-3.53 + 4.37 = 0.84\%$ ， $-2.77 + 4.07 = 1.30\%$ 和 $-2.53 + 3.71 = 1.18\%$ ，这些数据可以作为上述计算式的例子。线尺寸的净变化值，相应地为体积净变化值的 $\frac{1}{3}$ 。

第三步是把刚转变的马氏体进行低温回火，以增加韧性和减少晶格应力。回火时，将产生多种取决于回火温度和时间金相组织转变。

在室温进行长时间保持，或在200℃以下短时保温后，在碳钢和低合金工具钢中的高碳马氏体，将转变成低碳马氏体（约0.25% C）加ε碳化物，并伴有体积上的缩小。在200~430℃转高的温度下回火时，这时的回火组织为铁素体加渗碳体。

淬火时，要使奥氏体最大限度地转变为马氏体，需要连续冷却到低于马氏体转变终点的温度(M_f)。对于共析钢，M_f点约为-50℃。为防止开裂，工具从淬火介质中出来后，需在热态（60℃）进行及时回火。但即使在这种情况下，碳素工具钢或低合金工具钢仍存在有相当比例的（10%或更多）奥氏体，在120~260℃间增高回火温度时，残余奥氏体转变为贝氏体和ε碳化物的数量增加，同时，伴随有体积增加。

大多数合金元素会降低M_f点的温度，因此，在较高合金含量的工具钢中，在室温时的残余奥氏体含量就越多。此外，在370℃以上温度回火时，渗碳体跟碳化物的形成元素起反应，结果形成合金碳化物，并导致体积膨胀。回火时，合金碳化物的形成，是含有大量碳化物形成元素例如铬、钼、钨的工具钢的特性。

二、工具钢的变形尺寸

在通常的奥氏体化温度下淬火的四种不同的工具钢，马氏

表 31 四种工具钢淬火后的显微组织

钢号	淬火处理	淬火硬度	马氏体	残余奥氏体	未溶碳化物
		HRC	V%	V%	V%
W1	790℃, 30分, 水淬	67.0	88.5	9	2.5
L3	840℃, 30分, 油淬	66.5	90	7	3.0
M2	1225℃, 6分, 油淬	64.0	71.5	20	8.5
D2	1040℃, 30分, 空冷	62.0	45	40	15

体、残余奥氏体和未溶碳化物的典型含量(体积百分率)如表31所列。

几种工具钢的线尺寸变化如表32所列。从表32中可以看出,如A10等某些工具钢,经淬火并在150~600℃的整个区间回火后,尺寸变化是很少的。

又如M2和M41等类型的高速钢,在淬火和在540~595℃的二次硬化区回火后,膨胀量约为0.2%(2mm/m)。虽然表32的数据在比较几种工具钢的尺寸变形是有用的,但由于形状变形的因素,使得不可能单独运用它来判断由这些钢制成的每个工具的尺寸变化。

三、工具钢的形状变形

在考虑形状变形时,必须注意到任何工具在超过600℃时,其强度就会急剧降低。在奥氏体化的温度下,由于工具的屈服强度很低,以至于由零件的自重产生的应力,往往就足以引起塑性变形。因此,长零件、大零件和形状复杂的零件的关键部位,必须予以良好的支撑,以防止在淬火加热温度下,发生下垂变形。

快速加热时,增加形状变形,特别是大型的工具和断面厚薄不均一的复杂工具,因为加热速度快时,薄截面处的温升,就要比厚截面处快得多;同样地,外表面的温升要比内部快得很多,特别是中、厚截面更是如此。各温差所引起的热膨胀的差异,足以使材料内部产生很大的应力。在这些应力的作用下,温度较高处,将产生塑性变形,从而使热应力松弛。

在连续加热时,较热的部分开始接近炉温,而较冷的部分还继续升温。这就使温差减少,由于在温差大时已发生了塑性变形,因此在热应力作用下,温差至少会引起部分扭转。这会或许不会引起进一步的塑性变形,但如果塑性变形发生了,其变形程

表 32 淬火、回火时典型的尺寸变化

工具钢	淬火温度 C	淬火介质	淬火后线 尺寸的总 变化, %	下述回火后温度 (C) 线尺寸的总变化, %												
				150	205	260	315	370	425	480	510	540	565	595		
O1	816	油	0.22	0.17	0.16	0.18	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
O1	788	油	0.18	0.09	0.12	0.13	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
O6	788	油	0.12	0.07	0.10	0.14	0.10	0.00	-0.05	-0.06	...	-0.07	...	...	...	...
A2	954	空气	0.09	0.06	0.08	0.08	0.07	...	0.05	0.04	...	0.06	...	...	...	...
A10	788	空气	0.04	0.00	0.00	0.08	0.08	0.01	0.01	0.02	...	0.01	...	0.02	...	0.02
D2	1010	空气	0.06	0.03	0.03	0.02	0.00	...	-0.01	-0.02	...	0.06	...	...	...	...
D3	954	油	0.07	0.04	0.02	0.01	-0.02	...	...	...	...	...	...	...	...	...
D4	1038	空气	0.07	0.03	0.01	-0.01	-0.03	...	-0.4	-0.03	...	0.05	...	...	...	...
D5	1010	空气	0.07	0.03	0.02	0.01	0.00	...	0.3	0.03	...	0.05	...	...	...	...
H11	1010	空气	0.11	0.06	0.07	0.08	0.08	...	0.3	0.01	...	0.12	...	...	...	...
H13	1010	空气	-0.01	...	...	...	...	...	...	0.00	...	0.06	...	...	...	...
M2	1210	油	-0.02	...	...	...	...	...	...	...	...	-0.06	...	0.10	0.14	0.16
M41	1210	油	-0.16	...	...	...	...	...	...	...	...	-0.17	...	0.08	0.21	0.23

度比温差大时的变形程度很可能小，而且，变形方向上也有不同。

在缓慢加热时，可减少工具零件在整个加热过程中的温差，从而也可减少变形程度。理想的加热状态，是最好把工具钢零件放在冷炉中开始加热，以最大限度地避免加热过程引起的形状变形。但这在实践中是不现实的，在能源上也是不经济的，除非热处理是在真空炉中进行。对在盐炉或可控气氛炉中进行热处理的零件，应先进行中温预热，然后再加热到奥氏体化温度，这样，可以有一个良好的过渡。

在形成马氏体的冷却过程中，由于在零件的表面和内部及厚薄截面之间存在大的温差，所以将导致产生严重的形状变形。对淬透性低、要求快速冷却并完全淬硬的钢，是很可能出现这个问题的。因此，在制造大型或复杂零件时，最好改用深淬透性的空淬工具钢。

但是，如果使用要求液体淬火的浅淬透性钢时，应采用夹具或压模淬火，以减少变形。对长的匀称零件应用夹具固定在垂直的位置，完全浸入淬火介质中，并使零件作上下运动。

四、控制形状变形的特殊技术

除了可以通过控制加热和冷却的速率来减少变形外，也可采用局部淬火取代整体淬火，或应用火焰，感应加热，电子束和激光方法对工具进行局部加热淬硬，以减少工具的变形。

采用马氏体或奥氏体等温淬火，可有效地控制变形，并可防止铁素体或珠光体等高温转变产物的产生。马氏体等温淬火是将零件迅速冷却到 M_s 点附近的温度，以免铁素体和珠光体等高温转变产物的产生，然后立即从热浴中取出，空冷到室温，由于是缓慢地通过马氏体转变区，所以变形要比通常的淬火少些。但也必须给以通常的回火处理。

如果零件可以在HRC57的硬度下使用时，可以采用奥氏体等温淬火来减少变形。奥氏体等温淬火不同于马氏体等温淬火，它是在高于 M_s 点的热浴中等温（一般大约 230°C ），而且要保持足够长的时间，使奥氏体转变为低贝氏体（碳钢和低合金工具钢约需保持1小时）。当空冷到室温后，奥氏体等温淬火工具的形状变形，比普通淬火的小，也不须回火。

不圆度控制 对某些精密工具不圆度控制是很重要的，如C级和D级高速钢制成的滚铣刀。因为这些滚刀在热处理后不磨到尺寸，而是在不磨状态下使用，因此要求保持精密的尺寸误差。淬火回火后所要求的尺寸，可通过热处理前调整加工余量的方法来控制。但是，高速钢棒料在常规处理时，可以观察到高达 0.05mm 的不圆度。图24左图是和锭型及钢锭开坯轧制工艺有关的变形特性。但在改变冶炼、锻造、轧制工艺后，可使不圆度减少，如图24右图所示。图中最大与最小点之差只有 0.005mm 。按此法生产的高速钢棒料，是少数几个厂家以《精密公差滚刀坯》出售的。用热静等压法生产的粉末高速钢棒料是一个克服不圆度的更有效的方法，在常规热处理时，可以保持有最好的匀称性。

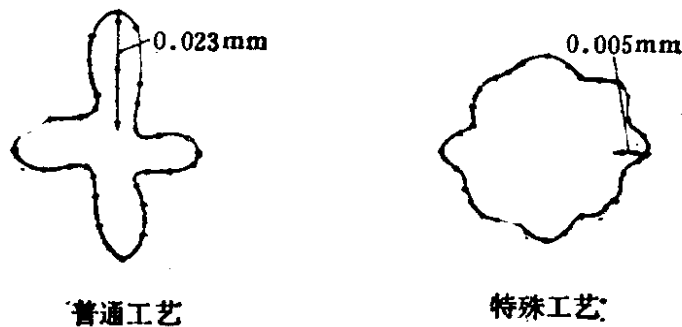


图 24 高速钢棒料在热处理时径向尺寸的变化

此图根据直径的精密测量和通过计算得出。热处理前圆料的不圆度在 $\pm 1.25\mu\text{m}$ 之内。热处理后径向尺寸的变化用极坐标平面图法作出

稳定性 稳定性意味着减少残余奥氏体的数量，因为金属在加热或受应力作用时，残余奥氏体能缓慢地转变，从而导致变形

的产生。稳定性还可减少内应力(残余应力), 由于应力松弛是不太可能发生, 因此在使用中内应力会引起变形。为了使工具在长时间内能保持形状和尺寸精度, 稳定性是很重要的。

如果所选择的工具钢, 在高温回火时, 仍能保持要求的硬度, 这就有可能通过反复回火减少残余奥氏体的含量和内应力。第一次回火, 可以减少内应力, 并创造在回火冷却过程使残余奥氏体转变为马氏体的条件。而第二第三次回火, 对减少残余奥氏体转变为马氏体时所产生的内应力是十分必要的。

一次或多次低于 M_f 点的冷处理, 可使需在低温回火以便达到要求硬度的碳素钢或低合金工具钢中的大多数残余奥氏体转变成马氏体。冷处理可以在首次回火前, 也可以在回火后进行。如果冷处理时, 因尺寸膨胀产生的附加内应力, 使工具易于产生裂纹时, 则冷处理应谨慎地在第一次回火后进行。但在这样的冷处理过程中, 所产生转变的残余奥氏体量比预期的要少得多。因为冷处理前的回火会使一部分残余奥氏体稳定化。冷处理一般是在温度可达 $-70\sim-95\text{ }^\circ\text{C}$ 的致冷装置中进行。经冷处理和回复到室温后的工具, 必须迅速地予以再回火, 以减少内应力和增加新形成的马氏体的韧性。

对某些希望保留有少量残余奥氏体, 以增加韧性和保留有利于承受使用应力的内应力的工具, 冷处理实际上是不适宜的, 或只能勉强地起到一定的作用。

参考文献

1. Disforfion in Tool Steels, by B.S. Iemenf,
American Society of Metals, 1959

第四章 切削工具材料的选择

切削工具包括所有用于加工金属、塑料、木材以及其他可切削的建筑材料的各种刀具。其最普通的类型分为单刃刀具、钻头、铰刀、丝锥、板牙、铣刀、立铣刀、拉刀、锯、滚刀等。这类刀具中的多数，实际的切削刃是在刀具可卸部分的“镶嵌刀片”上。刀片通常和固定刀片的刀体采用不同的材料来制造。

由于刀具需要从工件上切削掉材料以得到可用的零件，所以在选择整体刀具或刀片材料时，对切削刃口有三个十分重要的性能要求。高的热硬性，能够使刀具抵抗变形和刀刃在长耐用度内保持锋利；高的耐磨性，允许刀具持久使用，不因切削过程中发生的磨损和粘结作用而使刀刃很容易地变钝；高的韧性。有助于避免刀刃碎裂和剥落，以及在切削韧性的、强度高的和“粘”的材料时，能够使刀具承受高的切削力。在某种程度上，具有高的热硬性和耐磨性的材料，不会有优良的韧性。因此，在为某种切削用途选用工具材料时，要兼顾各种性能。一般高速钢比其他工具钢耐磨性要好些，热硬性要优异些，而且在较高的硬度下还有良好的韧性。对硬质合金和陶瓷等非金属材料，有优异的热硬性和耐磨性，但在韧性上，显著地低于其他工具钢。

本章论及的各种机械加工最通用的刀具材料，其成分和性能，见本书“工具钢”和“超硬工具材料”部分。

一、单刃刀具

单刃刀具，指的是在整个给定的切削循环期间，同工件相接触的仅有一个切削刃和(或)一个锋角的那些刀具。它用于车削、镗削、成型切削、刨削和车螺纹。在有些情况下，可把两个或两

个以上的单刃刀具组装起来，实现多刀同时切削。

在美国，大多数单刃刀具是用超硬工具材料的刀片装配在用碳钢或合金钢制成的刀体上。据资料估计，40%以上的单刃刀具是机械夹固式的，其余部分为整体高速钢或焊有硬质合金刀头的钢制刀具。刀具的性能，不仅取决于特殊刀具材料，而且也取决于被切削材料，刀具型式，切削速度，切削角度以及切削液或润滑剂的类型和用量。在大多数操作条件下，各种不同材料和硬度的工件，都可以在机械制造文献和机械加工手册里查到相应的被推荐应用的刀具材料，切削速度和切削液。但必须认识到，对于特殊的机械加工，这未必是最佳的，还应当根据经验来决定。所推荐的资料，仅仅是能够使操作者尽快地找到可以合理地满意应用的综合数据的开端，或用以估计生产能力和制造成本。

适宜的刀具材料、工具类型、切削刃的形状和切削条件的实际确定，是一项非常复杂的工作，还必须考虑工作特性（包括金相状态），应用的机床及推荐的机床布置。只有这样，我们才能合理地选用刀具，以达到最高的生产效率，优异的刀具寿命和全面地降低刀具成本。

高速钢 在用作单刃切削刀具时，高速钢既可作为整体刀具，也可以用作镶片。M2和M4钨型高速钢，推荐用作加工硬度低于HB250的金属的整体刀具。在加工较硬的金属时，要优先选用有较好的热硬性的M42或T15高速钢。在加工铸铁和铜合金时，单刃刀具一般要用T4和T5高速钢，而不用M2和M4。

T15是用作刀片的主要工具钢。镶片型刀具，通常是用来加工相当硬或粘的，以及其他难加工的材料。镶片刀具与整体刀具相比，可使用稍微长一点的时间。而且，还可节约加工时间。因此，制造像T15型这样的高速钢镶片是完全必要的。这类刀片具有优良的保持刃口锐利的特性。

硬质合金 硬质合金大部用于刀片。单刃硬质合金刀具，通常用于高效大批量生产的机械加工。通过提高切削速度、切削深

度、进给量和采取快速更换刀片的办法可以极大地提高生产效率。

确定最合适的切削速度，对单刃硬质合金刀具非常重要，因为切削速度对刀具寿命有极大的影响。切削深度对刀具寿命的影响极少。因此可以调整切削深度来达到我们所期望的金属切除率。然而我们不能把切削深度调整得太低，因为当切削深度低于进给量的十分之一时，切削时产生的热量，大部分将集中于刀片的刀尖上，这对刀具寿命带来不利的影响。因此，为了保证最适合的刀具使用寿命，必须同时调整切削深度和进给量，而进给量要切合实际的提高，以便避免过高的切削速度。

恰当的选择刀具形状几乎和正确的选择切削条件一样重要。为此，为了获得最好的性能，刀片的形状，镶入刀片和刀体的倾角，在特定的条件下都是由生产厂家预先设计好的，因此硬质合金刀片制造厂家的推荐值通常可以获得最满意的结果。

虽然加工条件和刀具形状的选择与硬质合金类型的选用相比，对刀具使用寿命有更大的影响，但是某些硬质合金还只是用来作对某些金属的单刀车削。碳化钨类硬质合金主要用于铸铁和有色金属的加工，在加工钢时，则在刀刃上很快地形成月牙洼，因此，要选用涂层硬质合金，或选用含碳化钛的复合硬质合金。

碳化钨硬质合金的性能，可通过调节碳化物颗粒的大小和钴含量来改变。含钴量低的比含钴量高的耐磨性要高些，但有大的断裂敏感性。在选择硬质合金的类别时，对粗加工来说，抗断裂，抗变形则是最重要的，而对精加工，由于采用高的切削速度和保证完工零件精密公差的要求，耐磨性，就成为关键的性能。

用碳化钛、氮化钛涂复或这些成分复合涂复的涂层硬质合金是可采用的。也可以采用单一的氧化铝涂层或在碳-氮化钛的涂层上方涂复氧化铝的复合涂层。涂层镶片比不涂层刀片，在抗磨

损和月牙洼形成上有更高的优越性。在高的切削速度下，在刀具和工件间极可能发生化学反应，陶瓷涂层刀片具有最好的抗化学反应的能力。

在市场上出售的带有衬底的涂层刀片，其衬底不是普通切削用的硬质合金，而是为改进刃口抗断裂和变形性能而按着特殊的配方制造的。这种刀片适用切削条件范围很广。

陶瓷 陶瓷刀片，如整体的氧化铝陶瓷刀片，可以在极高的切削速度下工作，而不损害刀具寿命，同时，比起其他刀片材料来，还可得到更好的光洁度。但陶瓷材料比硬质合金或涂层硬质合金冲击韧性差，因此，它只允许用于冲击载荷特别低的场合。适于硬质合金的选材原则也适于陶瓷材料，但还受到如下的限制：

- 整个工艺系统——夹具、机床和切削刀具——必须有足够的刚性，以免引起各种振动冲击载荷；

- 为了保护切削刃防止承受过大的压力，刀片形状应当选择。大的负前角，强壮的刀片形状，大的刀尖圆弧半径和大的刃倾角应当优先选用；

- 无孔刀片也应优先被采用，但它需要一个带有压板的刀体。

金刚石 金刚石刀片，可以用单晶天然的金金刚石，也可以是硬质合金衬底的无序向细颗粒多晶人造金刚石。单晶天然金刚石刀片有异常好的抗磨性，但不能承受大的冲击载荷。它们在性能上可以达到一个数量级那么多的变化，而这种变化取决于与切削刃有关的晶粒方向。金刚石-硬质合金复合刀片具有优异的耐磨性和良好的耐冲击负荷性能。

金刚石刀具优先地用于加工软的、有磨蚀性的有色金属和非金属，如硬质合金、非烧结陶瓷、填充塑料、橡胶、碳精棒和石墨等。金刚石刀具一般推荐用于：

- 正前角刀具；

- 在采用高的切削速度，大的正前角（或较小的负前角）和/或减小进给速度时，不用组合切削刃；
- 可重磨以增加经济效益的刀片（注：某些复杂刀片是不能重磨的）。

氮化硼 被粘结到硬质合金上的氮化硼在加工耐热合金和淬火钢时，可显著地提高刀具的耐磨性和使用寿命。除了金刚石外，立方氮化硼是目前材料中最硬的。这就说出了氮化硼切削性能，再加上采用硬质合金坚实的本体，使刀片具有满意的抗冲击性能。

二、钻 头

金属零件装配孔，主要是用高速钢麻花钻头钻削。硬质合金钻头有时用来钻铸铁、高硅铝合金和有磨蚀作用的材料，以及某些高硬度的陶瓷和塑料。大直径的孔——约25mm或更大的——有时采用标准的硬质合金镶片型钻头。但是，目前用硬质合金钻孔的比重还不小。对于木头或小批量金属孔钻削用的碳钢和低合金钢钻头的应用，本文不加以讨论。

1. 高速钢钻头

钻头材料必须具有高的耐热性，使之能承受在高速钻孔时所产生的热量。就这一要求而论，钻头近似于单刃切削刀具。但由于钻头的形状复杂，要求有更高的刃口强度和抗断裂的韧性。美国大多数钻头都用M1、M2、M7和M10这些具有最高强度和韧性的高速钢制造。这些材料都有各自的特定的含碳量范围。含碳量在正常范围的上限的高速钢，用于制造要求高耐磨性，低韧性的钻头。承受冲击的钻头用下限碳含量的高速钢制造，以获得更好的韧性。一些成本相当高的大直径钻头，也是用低碳高速钢制造的，因为有着高的韧性，所以可以提供较大的抗断裂的安全系数。

只有小部分的金属孔是用硬质合金或其他高速钢钻头钻削的。近年来，出现了一种钻削高硬度的金属零件倾向，有的就在热处理后进行。这种倾向是伴随着钻削比普通低合金钢困难得多的高合金耐热金属的巨大需要而出现的。在这样的应用中，要求刀具材料有很高热硬度，而含钴的M33、M42和T15高速钢，可以满足这种要求。

钻头的设计比其他刀具更复杂。在钻削难加工材料时，改进钻头的设计和机床的刚性，要比改进刀具材料的选用有效得多。最合理的钻头设计，最好的机床刚性，最合适的冷却剂，最合适的切削速度和进给量的合理选择，可有效地克服钻削硬的和耐热材料时的困难。

例如：在硬度为HRC55的4340钢上，用标准结构的M33、T15和M3高速钢钻头钻孔时，在任何切削、进给量和冷却剂的条件下，仅能钻削一个13mm深的孔。当通过缩短钻头和机床主轴的伸出长度，增大机床刚性和减短钻头出屑槽时，M33、M3和T15高速钢钻头可钻2~4个孔。进一步改进钻头设计时，M3和T15平均可钻19~20个孔，M33平均可钻26个孔。具有较好的高温抗软化能力的钴型高速钢的钻头，当它有坚固结构和具有刚性好的机床装置时，对钻削更难加工材料，是有效的。对钛合金，不锈钢，硬度为HRC36~50的4340等高强度钢和硬度为HRC45或更低的耐热合金的钻削，美国一般采用M33、M42和T15高速钢制造坚固结构的钻头，而在欧洲则是采用M35钢制造那种钻头。能否降低难加工材

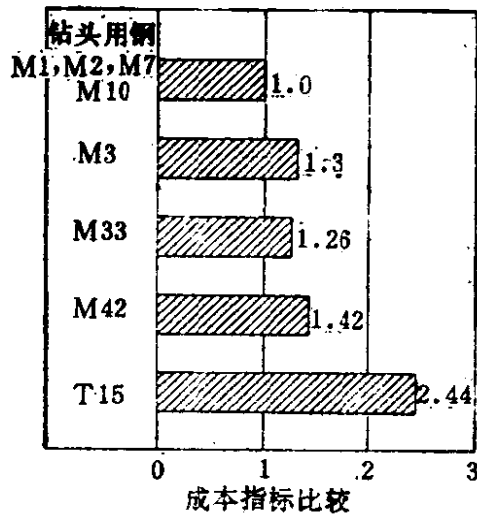


图 25 高速钢钻头总成本指标的比较

料孔的加工成本，是不能仅仅通过对某种高速钢的寿命试验来决定的，还应当考虑钻削速度和深度，刀具生产成本和刀具寿命。孔的加工的总成本包括劳动力费用，钻头费用及停工和重磨的费用。

近几年，制造厂所用的原材料的供应，受世界政治形势的变化影响很大，高合金高速钢的初始成本也是在大的范围内变化的。另外，这些钢的加工和磨削费及钻头的装卸更换费等成本也显著地增加了。根据1979年的资料，几种高速钢钻头的总成本的比较如图25所示。

图26为几种高速钢钻头在钻削A-286耐热合金时的相对性能比较，M7与T15钻头的性能比是34:47或0.72。而相应的成本指标比是1:2.44或0.41。在按图26钻削规范钻削A-286孔时，M7钻头的成本最低。

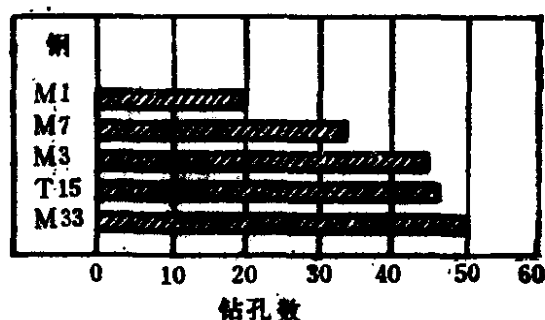


图 26 在钻削HRC30的A-286的孔时，
高速钢钻头的性能

钻孔设计，C型飞机结构，直径6.35毫米，全长64毫米，出槽长35毫米，锋角118°刀刃后角16°，孔深13毫米，切削速度0.2米/秒，进刀量0.13毫米/转，切削液为硫化液与轻机油混合比1:1，试验结果，钻刃严重磨损

2. 硬质合金钻头

用硬质合金头的“石工”钻头钻削水泥，玻璃，各种陶瓷材料的孔，是众所周知的事。整体的特殊设计的硬质合金麻花钻头，正在广泛地被用于钻削印刷电路板上的孔。这种板是用充填

玻璃布的环氧树脂制造的，它具有高的耐磨蚀性和较低的强度。随着复合石墨纤维应用的增加，导致了特殊的整体的硬质合金钻头应用的增加。目前，硬质合金麻花钻头被用于钻削铸铁，铝和其它有色金属材料。一种被称作“枪钻”的特殊的硬质合金钻头，正在被广泛应用，它的钻杆具有通冷却液的孔，可冷却钻头的头部，这种钻头钻出的孔可以达到很高的平直度和平行度，以及尺寸精度，甚至可以代替珩磨、研磨和铰孔等精加工工序。镶硬质合金刀头枪钻可以成功地广泛地用于黄铜、青铜、铝、铸铁、不锈钢、高强度阀门钢、钛及钴基合金材料的钻削。

镶焊硬质合金刀片的钻头已成功地用于加工难加工的耐热材料，特别是在机床刚性很好的地方。例如，在钻削热处理至HRC55的4340钢的6.35mm的孔时，M33钻头，在任何条件下，最好的寿命是钻26个孔。而同样的钢在采用硬质合金头钻头时，平均可以钻到90个孔。在这些试验里，刀具的伸出部分被减到最小的程度，以获得好的刚性。

是否选用硬质合金作为钻头材料，要根据被钻削材料的类型和钻孔的数量来决定。为了给硬质合金刀片提供强壮的支撑和为了导向的目的提供耐磨的棱边，大多数镶焊硬质合金刀片的麻花钻头和有些直沟钻头的钻身均用淬硬高速钢制成。

含6%以下钴的碳化钨硬质合金，成功地用于钻削铸铁，有色金属的麻花钻的刀刃。有较高横向断裂强度而硬度略低(HRA 905~91.5)的这一类硬质合金，则用作钻削耐热合金和热处理至HRC50或更高硬度的高强度钢的直沟钻头的刀片。

直径大约为25mm或更大的可换位的机夹式硬质合金钻头的刀片，它被夹到一、二个或更多个刀片槽的钻体上。机夹刀片钻头，因为在刀齿之间一般来说存在切削力不平衡，而且钻削这样大孔时，需要有大的力矩，因此，为了提高刚性，沟的长度通常是很

• 亦称“深孔钻”——译者注。

短的。它们是在硬质合金的切削速度下运转并有利于本身在数控车床上操作。这些通有冷却液的镶片钻头，通常用于钻削深度为两倍直径的孔。

涂层的碳化钨硬质合金和在碳化钨上涂有碳化钛、碳化钽的复合涂层硬质合金，适用于制造钻削钢材的可换位的机夹式镶片钻头中的刀片。

三、铰 刀

铰刀是孔的精加工刀具。孔径铰削后，可以达到严格要求的光洁度和尺寸公差，而这是不可能用简单的钻孔方法达到的。为适于各种使用条件和工件材料，铰刀的尺寸和设计是在很广的范围内变化的。

设计是铰刀必须首先考虑的问题，然后是刀具材料的选用。

除了手用铰刀是用碳钢制造外，具有较高的耐热性的高速钢已代替碳工钢被用于制造各种铰刀。铰刀仅能切去很少量的被加工材料。铰刀一般不需要像钻头那样，要有易顺利流过切屑及冷却剂所需的深的容屑槽，而可以设计成有极好刚性的工具。而且铰刀对韧性的要求也没有钻头那么高。

在选用机用铰刀材料时，高硬度和耐磨性是要考虑的最重要的方面。高硬度的M1、M2、M7、M10和T1等通用高速钢，及M3、M4和T15型高钒高速钢已成功的被应用。高钒高速钢比低钒高速钢有更高的耐磨性。由钴提供高温下高的抗软化能力的M33、M42、M6和T15型高速钢，在铰刀上的应用比起钻头来要少得多。因为在铰削时，温升是容易控制的，铰刀的温度不会升的太高。

整体的硬质合金铰刀和焊接的硬质合金铰刀已广泛地和成功地应用于各种金属的铰削。通用的和较硬一级的硬质合金的应用是比较普遍的。焊接的硬质合金铰刀是以淬硬的高速钢为铰刀刀

体，它的刀片槽给硬质合金刀片以支撑，刀体还起到铰孔的导向作用。用焊有硬质合金的刀片制造的大的套式铰刀，其刀体往往用中碳合金钢来制造。

在应用高速钢和硬质合金铰刀の場合，这些高硬度的切削刀具材料，要求有最合适的操作条件。高硬度是和脆性联在一起的，因此一些恶劣条件，如机床主轴倾斜，支撑不良，铰刀与被铰孔的同心度差等，都会使铰刀崩刃而早期损坏。

四、丝 锥

丝锥是切削或成形内螺纹的刀具。丝锥材料的选用通常是由制造厂决定的。常用的有三种材料：①碳工钢和合金工具钢。②高速钢。③硬质合金。

碳工钢或合金工具钢适于制作手用的，或其他轻负荷、低速的丝锥。选用这类材料的主要原因是成本低。用于不精密的维修工作中的丝锥往往用这类材料制造。

高速钢用于须在高速下有效地进行切削和要求有高的抗软化能力的丝锥。常用的丝锥一般用M1、M2、M7和M10制造。因为这些材料有良好的韧性，磨削性能和相对低的成本。

对要求有较高耐磨性的特殊丝锥，一般用M3、M4型高速钢。对要求有很高的耐磨性和耐热性的丝锥，可用T15和M42型钢。但是，虽然T15和M42钢的使用量有所增加，但大多数常规的和特殊的丝锥是用M1、M2、M7和M10制造的。在许多例子里，在采用比通用高速钢更高级的，在材料费和丝锥磨削费更高的其它高速钢时，在性能上并没有表现出明显的优越性。只有在对高强度合金、高温合金攻丝和要求高速攻丝的其它场合时，才值得采用T15和M42钢。

为提高丝锥的寿命和性能，在应用高速钢制造并经磨削加工的丝锥时，丝锥制造厂多采用附加的表面强化处理。氮化、氧化

和镀硬铬就是常用的表面处理方法。氮化用于要求有高抗磨性的黑色、有色和非金属材料攻丝用的丝锥。氧化用于某些在攻丝时易于擦伤的钢及不锈钢的攻丝用的丝锥，它可提高丝锥寿命和使用性能。镀硬铬可增加表面硬度，减少丝锥和工件螺纹表面的摩擦系数、改善切削流动性，延长丝锥使用寿命。

填充塑料和铸铁攻丝时，可考虑采用硬质合金。但由于价昂、易脆断和崩刃，仅仅在确实可降低整个成本时，才被应用。

五、立铣刀

立铣刀是端面和圆周围均有切削刃的带柄铣刀。其铣刀柄可以是直的，也可以是锥度的，其直径可从0.8~75mm。它可以有一个或多个刀齿(大多数有2、4或6个齿)。直径更大的铣刀，根据用户需要可按特殊要求制造。端齿可以是无中心孔的型式，也可设计沿其轴线进行切入式加工。圆周切削齿可以作成直齿或者螺旋齿。螺旋齿的旋向可以是右旋也可以是左旋，螺旋角一般为 30° 。立铣刀可以作成右切的也可以作成左切的。而且立铣刀的旋转方向可以和螺旋齿的旋向相同，也可以相反。容屑槽的类型和切削的旋转方向以及螺旋角对于立铣刀材料的选择没有直接的联系。

立铣刀的非支撑切削槽可长可短。切削刃长度和铣刀直径的标准比值是：最短的短型立铣刀一般是 $1\frac{1}{2}\sim 1$ ；最长的加长立铣刀是 $6\sim 1$ 。

刀具寿命 大多数立铣刀的最终失效是磨损。磨损速率取决刀具材料，工件的加工性能，金属切削量（切削深度和进给量），刀具形状，切削刃和润滑条件。但立铣刀寿命的关键因素，是在使用中处于极高应力的非支撑的切削刃部分的长度，如果刀刃不能经受由于断续切削作用和变化的切削力所引起的应

力，那么就将引起过早的严重损坏。

立铣刀的材料 直径大于16mm的立铣刀，大部分用退火状态的高速钢棒料制成，因为它易于加工成形、易于热处理和以磨削作为精加工。直径小于16mm时，用淬硬的高速钢圆柱体的坯料制造，出屑槽是直接磨制的。

立铣刀不仅用普通电炉冶炼和轧制的高速钢棒料制造，而且也用粉末冶金高速钢制造。某些立铣刀，坯料是用高速钢粉末冷压成所需要的形状，然后进行烧结、退火，淬硬和磨削。

高速钢立铣刀，所加工的大部分工件的硬度都低于HB300。所用的铣刀大都用低廉、经济和性能上都较满意的M1、M2、M7和M10高速钢制造。

淬火到HB350~450和难加工的工件材料，用含钴的T15、M33和M42高速钢铣刀加工是有效的。图27(a)示出了在切削速度为0.25m/s，铣削硬度HRC49的4340钢时，T15比M7可达到更高的寿命。图27(b)阐明了在中等切削速度下，用T15铣刀铣4340钢时，随工件硬度的增高，刀具寿命降低的速率。

硬质合金的立铣刀比起高速钢立铣刀，能经受更高的切削温度和具有更大的耐磨性。常用来加工有色合金、非金属材料及硬度超过HB450的工件和具有高磨蚀性的氧化皮表面（如砂型铸件）。

小的硬质合金立铣刀，是由整体的棒料，用金刚石砂轮直接磨制的。直径至25mm的中等尺寸的立铣刀，是用由预制有出屑槽的坯料，用金刚石砂轮磨削精加工制成的。直径大于25mm的多数立铣刀和某些较小的立铣刀，是用铜焊或机械夹固的办法把硬质合金刀片固定在高速钢刀体上。

含钴6%的碳化钨类硬质合金，广泛用于整体的硬质合金立铣刀和用铜焊刀片的刀具，用以切削铸铁、钛合金、有色金属、不锈钢和塑料。含有72~73%WC、7~8%TiC、11.5~12%TaC和8~8.5%钴粘结剂的钨钛钽硬质合金用于切削钢件的

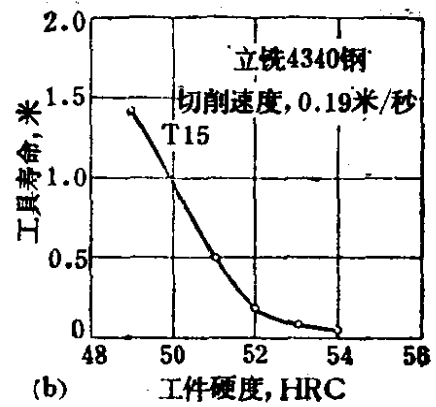
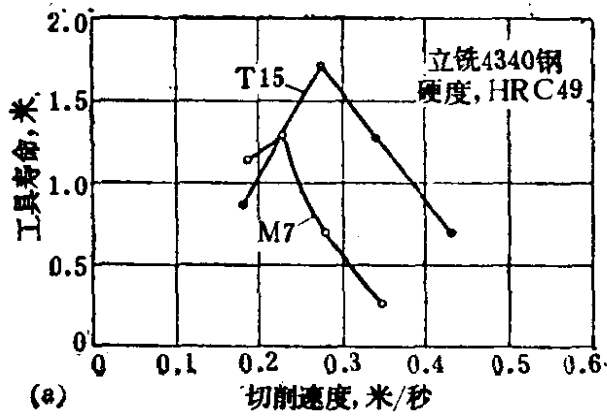


图 27 M7、T15四槽立铣刀的典型寿命

切削条件	图 (a)	图 (b)
立铣刀直径	19mm	19mm
每齿进刀量	25 μ m	13 μ m
切削深度	6.4mm	6.4mm
切削宽度	19mm	19mm
乳化液比例	1:20	1:20
磨损宽度	0.4mm	0.4mm
每齿切屑负载	25 μ m	13 μ m
刀具角度		
螺旋角	35°	35°
径向前角	15°	15°
刀槽角	45°, 1.5mm宽	45°, 1.5mm宽
周刃后角	主5°, 次10°	主5°, 次10°
端刃后角	主5°, 次20°	主5°, 次20°

立铣刀材料	基价比
M1	1.0
H2	1.16
M7	1.0
M10	1.0
M33	1.5
M42	1.6
T15	2.5
T15 P/M	2.7
硬质合金	18.0

立铣刀

几种典型的立铣刀材料的基价比如下(以M1为1)。

六、铣 刀

小而形状复杂的铣刀，常用高速钢制造。这类铣刀上的切削齿通常有螺旋形切削刃和径向和(或)纵向的容屑槽以及不规则的轮廓，这一类刀具的切削刃，虽然形状都比较复杂，但可以很容易地用退火的整体高速钢经机械加工成形后，热处理到要求的硬度，再磨削到要求的尺寸。

大多数铣刀是因逐渐磨损而引起失效，并非突然损坏的，因此高速钢在高温下的耐磨性是很重要的。除因工作条件恶劣或工件的组织 and 硬度不均匀外，高速钢铣刀一般是不会产生断裂的。

特殊条件下操作和应用的铣刀，是用高速钢以外的其他材料制造。大批量生产用的大型和形状简单的铣刀是用高速钢刀片和低廉的合金钢刀体组成的。这一类型刀具有高速钢刀片，并刀片被夹固在刀体上并形成切削刃。当需要时，刀片可以拆旧换新。刀片形状和夹紧要求使所有铣刀设计成直切削刃和适合于夹紧机构的尺寸。端铣刀、侧铣刀、大的扩孔钻和纵向进给刀具都适合于这种设计。

由于硬质合金成本高昂，所以硬质合金铣刀主要采用铜焊刀片或镶嵌刀片结构。因为加工困难，所以不适于作复杂形状的刀具。然而通过对各种尺寸的硬质合金刀片的交错搭接，可以设计成多种形状的铣刀。像立铣刀和槽铣刀等小直径刀具往往用整体硬质合金制造，并保持和高速钢同类的刀具一样复杂的轮廓。然而在这类铣刀中，刀具挠曲是一个主要问题，另外小直径硬质合金刀具也容易折断。

把整体的硬质合金刀片夹紧到合金钢刀体上的结构，正在广泛应用于具有高生产率的端铣刀和套式铣刀上。在可换位刀片铣

刀中这类刀具是无可比拟的，因为同一个刀片可以转换二个或更多个位置，而不影响铣刀的同心度或铣削外形的形状。因此，不用重磨就得到新的切削刃。市场所提供的刀片的尺寸和外形以及夹紧机构或多或少地限制了铣刀的全部设计。但是许多巧妙的设计型式有效的扩大这类刀具的应用。

各种复合碳化物硬质合金铣刀，用于钢的一般用途铣削。含6%钴的碳化钨硬质合金铣刀，可有效地对铸铁、各种黄铜、铝合金和合成纤维等其它材料进行铣削，并且也可很好地铣削300系列不锈钢。

用M1，M2，M7和M10制造的工具钢铣刀，在铣削普通碳钢和低合金钢，铸铁及有色金属合金时，工件硬度不超过HRC30。虽然有的工厂用T1钢铣刀，有好的性能，但原始成本较高。

高钒的M3、M4高速钢铣刀性能优良，适于铣削HRC30~35的中等硬度的工件。当硬度超过HRC35时，刀具寿命迅速下降。推荐用含钴的M42和T15钢铣刀铣削硬度从HRC35~45的钢件。高速钢中的钴，可提高在高温下的抗软化能力，可明显地增加允许的切削速度。当工件的硬度超过HRC45时，应用硬质合金刀具，而不用高速钢刀具。硬质合金铣刀，可以在比高速钢高2~5倍的允许的切削速度下使用。

含镍和钴的高温合金是极难加工的材料，可用钴高速钢刀具，在低速和大进刀量的情况下切削，有最好的效果。一般不推荐应用硬质合金刀具，因为容易崩刃。

选择铣刀材料时，还需考虑机床的刚性、马力和刃磨的效率。当使用硬质合金铣刀时，加工系统的刚性是特别重要的。铣床的松动可导致振动，引起崩刃甚至铣刀断裂，缩短刀具寿命。用硬质合金铣刀代替高速钢铣刀以增加切削速度，但是，这只有在所需要的功率能够满足时才是可行的。此外，磨削硬质合金要比磨削高速钢困难的多，而且需要金钢石砂轮和受过训练的磨工。

七、滚 刀

滚刀是用以产生一个围绕一个中心的重复齿形的一种铣刀，用以切削齿轮齿，花键齿和锯齿。滚刀和工件必须以一定的转速比旋转和相互啮合，因此，滚刀上的切削齿，是沿刀具的外圆呈螺旋形或螺纹形分布的。这是滚刀不同于铣刀的地方。

滚刀每齿的切削量是很少的，不同于铣刀那样在重切削条件下工作，因此，滚刀材料对强度的要求就不如耐磨性那么重要。

正象铣刀那样，滚刀的使用寿命(耐用度)受到磨损的限制，如果不在磨损状态下使用，滚刀是不会损坏的。多数滚刀是用高速钢制造，特殊的是用硬质合金和铸造的钴铬钨合金制造，但也有使用低合金工具钢的。实际上，各种高速钢都被选用，但M₂是应用最广泛的一种。M₂有两种类型的含碳量。高碳M₂，由于有较高的淬硬性和耐磨性，要用的多一些。小直径滚刀，有些制造厂家，用磨削性能优良的M₁甚至是T₁钢制造。在一般的使用场合，M₁、T₁和低碳系M₂可以有好的使用性能，而且，在经良好的热处理后有近似的切削效能。通常用高速切削圆棒坯料来制造滚刀时，制造者可以生产不磨的、具有高精度和光洁度的滚刀，而并不降低刀具的寿命和性能。

M₂等通用型高速钢滚刀，有良好的综合的刃口强度和耐磨性。但碳、钒含量高的M₃、M₄滚刀用于滚削较硬的、磨蚀性的材料。含钴的M₄2和T₁₅钢适于制造要求有高温抗软化能力的滚刀。

近年发展应用的粉末冶金高速钢，具有良好的可磨削性能和尺寸稳定性，在滚刀和铣刀上的应用已日益增加。适用于锻造的高速钢的场合也适用于粉末冶金高速钢。

1. 滚刀材料的选择

结构钢 硬度低于HB300的退火、冷拔、或淬火和回火的结构钢，用通用的M₂等高速钢制造的滚刀，就很容易切削。当

硬度超过HB300以上时,用高钒的M3或M4制造的滚刀滚削,则比较经济的。硬度为HB350~475的工件,要求选用含钴的M42和T15滚刀。经验证明,用硬质合金滚刀滚削高硬度的钢,不能获得满意的结果。

实际可滚削的上限硬度是HB440~475。即使在这样的硬度下,滚削费用是昂贵的,而且刀具还必须在低速下工作。

铸铁 铸铁通常用通用的高速钢滚刀滚削。如果铸铁中呈现有较多游离碳化物,用高耐磨的M3或M4高速钢滚刀滚削,是最为经济的。在加工经过热处理后的铸铁时,滚刀材料可按加工同样硬度钢材所要求的滚刀材料来选择。硬质合金滚刀被限于滚削有磨蚀作用的铸铁。

黄铜和青铜 在正常情况下,黄铜和青铜采用通用高速钢滚刀滚削。较硬的和耐磨的青铜用高钒高速钢滚刀切削。只有在这些材料加工量大时才选用硬质合金滚刀。

铝合金 铝合金可用任何一种高速钢或硬质合金制造的滚刀来加工。采用硬质合金滚刀可大大提高刃磨之间齿轮生产的数量。因为,在相同的时间内,硬质合金滚刀可采用较高的切削速度。

有磨蚀作用的非金属材料 对层压酚醛塑料和纤维,用硬质合金滚刀滚削是有效的。因为这类材料是具有极高磨蚀性,即使是高钒高速钢滚刀也容易迅速磨损。然而,硬质合金滚刀可以成功地滚制大批量生产的零件。但在高速下运转时,需要一台能够以高速运转的机床。在加工非金属材料时,硬质合金滚刀在正常切削速度下,也可获得好的结果。

非磨蚀性塑料 如尼龙等非磨蚀性塑料用高速钢滚刀就可以满意地进行滚削。

2. 影响滚刀材料选择的因素

除被滚材料的成分、硬度和显微结构外,还有其它一些影响因素:

- 被切削工件的形状(齿轮、花键、特殊形状);
- 合用的滚齿机床(装备的刚性, 可达到的切削速度);
- 被加工的同类零件的生产量;
- 工件的尺寸公差;
- 成本。

在某些情况下, 虽可选用硬质合金滚刀, 但在高速下要求机床有良好的刚性和合适的功率, 因此不如用钴高速钢滚刀合适。

对大批量生产, 特别是要求有精密尺寸公差时, 最好应选用高耐磨性的有更高合金含量的高速钢或硬质合金滚刀。

滚刀的成本主要地是受公差等级, 材料成本, 制造和刃磨等因素的影响。硬质合金滚刀不仅原始成本高, 而且要求用昂贵的金刚石砂轮重新刃磨。刃磨高钒高速钢也要比普通高速钢昂贵的多。

公差等级对滚刀成本有显著的影响。不必要的精密公差造成不必要的高的刀具费用。因为①原始费用变高。②不磨加工滚刀多次重磨而具有一个较长的齿背长, 而且比起磨加工的滚刀更长的使用寿命。滚刀的精度等级如下:

- A级——精磨滚刀;
- B级——普通磨加工滚刀;
- C级——精密不磨加工滚刀;
- D级——普通不磨加工滚刀。

滚刀公差和刀具材料对滚刀费用的影响如下表:

滚刀级别	滚刀成本比(a)			
	M2	M3	T15	硬质合金
A	1.9	2.4	4.2	6.0
B	1.6	2.0	3.5	(b)
C	1.2	1.5	2.7	(b)
D	1.0	1.3	2.2	(b)

注: (a) 以径节6, 压力角 20° , 直径和齿长均为90mm, 带有一个32mm孔, 不磨加工的M2高速钢的单头滚刀的成本为基础。

(b) 硬质合金滚刀只做成A级的。

第五章 剪切工具材料的选择

大多数剪刀是整体的，由工具钢制成。但有些组合式剪刀，则由在热处理的中碳或低碳合金钢体上镶刀片而制成。

一、金属的冷剪切

推荐用于各种金属冷剪用的刀片材料如表33所示。表34为滚剪用的刀片材料。被剪材料的成分和厚度是选择刀片材料的最重要因素。另外，还要考虑成本，使用性能，热处理特性以及前人的经验。

工具材料的韧性和耐磨性是不同的，而被剪材料的硬度和抗剪性也有不同。如果被剪的材料很薄，而且硬度相当低，剪刀材

表 33 推荐用于冷剪金属板材的刀片材料

被剪材料	用于剪切不同金属厚度的刀片材料		
	≤6mm	6~13mm	≥13mm
<0.35% C 的碳钢或低合金钢	D2, A2, CPM10V	A2, A9	S2, S5, S6, S7
≥0.35% C 的碳钢或低合金钢	D2, A2, CPM10V	A9, S5, S7	S2, S5, S6, S7
不锈钢和耐热合金	D2, A2, CPM10V	A2, A9, S2	S2, S5, S6, S7
高硅电工钢片	D2, T15, CPM10V, 硬质合金镶片(a)	S2, S5, S7	(b)
铜及铝合金	D2, A2	A2	S2, S5, S6, S7
钛合金	D2	...	...

注：(a) 硬质合金镶片系铜焊在经热处理的中碳钢或低合金钢刀体上。

(b) 很少剪切这种厚度的材料。

表 34

推荐用于滚剪薄金属板的刀片材料

被剪材料	用于滚剪不同金属厚度的刀片材料		
	≤4.5mm	4.5~6.5mm	≥6.5mm
碳钢、合金钢、不锈钢	D2, CPM10V	D2, A2, A9	A9, S5, S6, S7
高硅电工钢片	D2, M2 CPM10V、硬质 合金镶片	D2	...
硬铝合金	A2, D2, CPM10V	A2, D2	A2, S5, S6, S7
钛合金	D2, A2, CPM10V	...	...

料的韧性可以低些，但必须有优异的耐磨性。如果剪切的材料较厚、较硬，那么就需降低刀片的硬度或更换耐磨性低一些的刀片材料，或采用表面硬化而心部强韧的抗冲击工具钢，以得到抗崩刃所需的韧性。如D2工具钢可用于厚度≤6mm的任何金属材料。但在≥6mm时，须采用韧性较大的A2、A9和抗冲击的S2、S5和S6等工具钢。

硬度对磨损的影响 冷剪刀片的磨损速率主要决定其含碳量及硬度。如图28(a)和(b)所示。表面硬化钢W2，在磨去硬化层前的多次刃磨和D2有同等的性能。然后硬度降低，相应的每次刃磨间的寿命也减低。在这些试验中W2表面硬化钢，由于有较高的原始表面硬度，在磨去1.5mm前比有较深淬透性的S2钢要优越些。

应用低硬度的刀片，会降低冷剪刀片的寿命。用硬度为HRC44的S4或S5工具钢制的刀片比硬度为HRC54的刀片，在其它条件相同时，磨损速率要快3倍。图28(c)为硬度对S4和D2刀片磨损的影响。

冷剪刀片硬度的推荐，需要有操作知识。例如：D2刀片在硬度为HRC61时，有满意的使用性能，但同样的硬度的刀片在另一个厂里用于相似的工作条件则断裂了。硬度在HRC58~60下应用的D2工具钢刀片，在剪厚度<6mm的软钢时，通常是很满意的，但在许多的例子里，D2刀片，在HRC60~62的硬度下已得到成

功的应用。在剪切高强度低合金钢时，D2刀片的硬度必须保持在HRC58以下以免断裂。

S类抗冲击钢在HRC50~58的硬度范围内使用。上限硬度的刀片在剪6~13mm厚的钢板和有色金属时使用。剪切较硬或较厚的金属时，为了提高抗冲击载荷的能力，使用下限硬度的刀片。表35是10个厂在冷剪黑色及有色金属产品时，所用刀片的硬度。

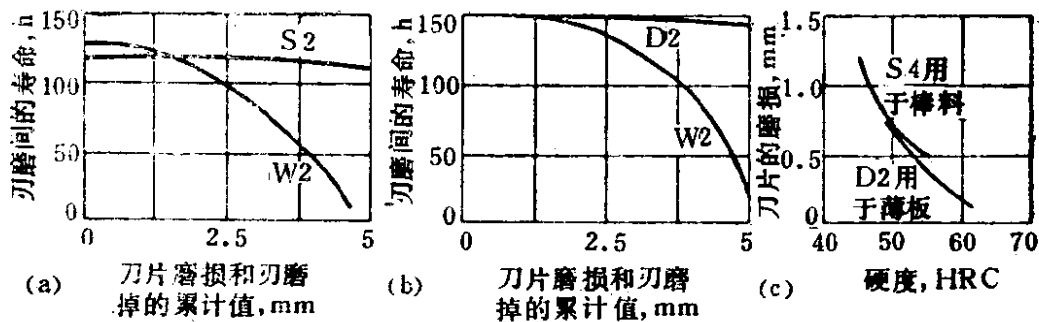


图 28 在冷剪钢时不同工具钢磨损和寿命的比较

(a) 19mm厚的低碳钢板的冷剪切。(b) 6mm厚的低碳钢板的冷剪。(a)和(b)当刃口经多次刃磨和被磨损后，W2每次刃磨间的寿命连续地减少，直到全部硬化层被磨去，此时刀片必须报废或再淬硬。(c)刀刃硬度对剪刀磨损的影响

二、金属的热剪切

当剪切较厚和抗剪切的材料时，或者作为加工过程的一部分另有所需时，要用热剪切工艺。H型二次硬化工具钢在425℃下作热剪刀片时，具有满意的抗软化能力。

H11工具钢对大多数热剪都是满意的，稍贵的H12和H13钢也被推荐应用，没有任何数据可以证明这三种钢中的任一种要比其余两种好些，只有当H11经过试用而不能适应要求时，才用更贵的H21和H25钢。然而，在许多例子里，应用高合金工具钢制作热剪刀。例如，一个大工厂，用H25作为在150~425℃下热剪铝的标准刀片材料。剪刀片的使用数据如表35所示。

表 35

剪刀片的使用数据

剪切类型	被剪料材	被剪材料的厚度 mm	刀片 钢号	刀片硬度 HRC	重磨前的 刀片寿命
钢的冷剪					
薄板金属	低碳钢	5	W2	58~60	30,000件
薄板金属	低碳钢	5	A2	58~60	55,000件
薄板金属	低碳钢	5	D2	58~60	100,000件
剪棒	1025和1040钢	25	W2	58~60	20,000件
剪棒	1025和1040钢	25	L6	...	40,000件
剪棒	1025和1040钢	25	S5	...	100,000件
薄板和带材	1010钢	5	D2	58~60	150,000件
薄板和带材	不锈钢	12	D2	58~60	65,000件
薄板	2~5%硅钢	0.8	D2	58~60	45,000件
辊式纵切	碳钢、硅钢和镀锌钢	0.16~4	D2	58~60	1周(a)
辊式纵切	不锈钢	0.8~1.5	D2	58~60	15,000英尺
.5m × 100mm × 25mm 刀片	不锈钢和硅钢	2~2.5	D2	60~62	2周(b)
钢的热剪					
剪切厚板	各种钢	...	4340型	...	30,000~ 40,000顿
铜合金的冷剪					
薄板	黄铜	0.16~5	S1	54~58	5000件
厚板	黄铜	25~60	S	54~58	25000件
铜合金的热剪					
厚板	黄铜	<45	H11	42	15000件
铝合金的热剪					
高速自动剪切	150~250℃的铝合金	7	H25	43~46	10000件
75mm剪切	315~425℃的铝合金	7.6~140	H25	43~46	17000~ 20000件

注：(a) 刀片每周刃磨一次，每次刃磨量约为0.025mm。

(b) 最大值。刀片通常是每周刃磨一次。

热剪刀片的硬度，随剪切金属的厚度和温度、使用设备的类型和条件的变化而有很大变化。但是一般总是保持在HRC38~48的范围内。某厂把硬度为HRC45~47的H12工具钢用作长1.45m，高125mm，顶部厚为75.4mm，底部厚为73.0mm的板坯剪刀，而在另一厂，钢坯和板坯剪刀是用含0.35C,0.90Mn,1.00Cr,1.25Mo和0.25V，硬度为HRC38~42的钢制造。

被剪金属的温度影响刀片寿命。如果被剪金属在高温下有高的强度时，可用较好的合金刀片。

硬表面刀片，在某些工厂是唯一用于热剪的满意的材料。表36是某钢厂在大多数热剪工序里应用的硬表面刀片的寿命总结资料。有关硬表面合金钢的其它资料见原著第三卷自563页起的文章。

三、剪刀的寿命

在多数大批量生产厂里，对刀片进行拆卸和修整的维修计划，是不考虑刀片实际情况，而是按照预定时间停车，所以缺乏可靠的剪刀寿命数据。刀片寿命可用剪切件数、以英尺表示的直线长度、修整间剪料的吨数或时间等数据来报导。表35的使用数据全包括了这些可变数。

表 36 某特种钢厂热剪钢的硬表面刀片的寿命

剪切类型	刀体材料	硬表面合金 (a)	刀片寿命，剪切钢的吨数
300 × 300mm 钢坯	1030 铸钢	1 B 新, 2 B 修复, 3 A 筋	29000
250 × 250mm 钢坯	1030 锻钢	2 B	5800
复式钢坯	1030 铸钢	无、H21 或 M2 镶片	26000
钢坯	H21	无	3584
大钢坯 1m	1045 厚钢板	1 B 新、2 B 修复	7680

续表

剪刀类型	刀体材料	硬表面合金 (a)	刀片寿命·剪切钢的吨数
大钢坯1.1m	1045厚钢板	1B	87000
板坯960mm	1045厚钢板	1B	71000
厚钢板	6150 (型)	无	6000
导轨250×250	1030铸钢	1B新, 2B修复, 3A筋	12960
导轨钢坯	1045厚钢板	2B	5400 10800

注: (a) 名义成分。合金1B: 0.5c, 0.9Si, 4.75Cr, 1.2W, 1.4Mo, 余Fe。合金2B: 0.75C, 0.5Mn, 0.65Si, 4Cr, 1.0V, 1.2W, 8.0Mo, 余Fe。合金3A: 3C, 1Si, 28Cr, 4Mo, 余Fe。

刃磨一次的剪切件数是对刀片最基本的评价。不同类型的剪切, 剪切的件数可以从5000到超过200万件的范围变化。所以只有条件完全相同时, 比较才是有意义的。甚至相同的刀片, 用于同样的工序, 刀片的寿命可达100% 那样多变化, 这点在图29中得到证实。图29是33片硬质合金镶嵌刀片, 用以剪切小棒料的性能数据。在冷剪、热剪有色金属时, 刀片的寿命波动也是很大的(见图30)。

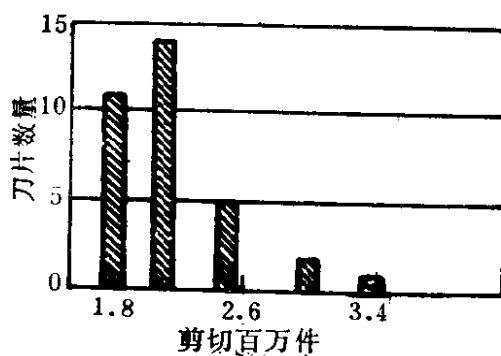


图29 带有硬质合金镶片的剪切刀片寿命的统计分布

33片硬质合金镶嵌刀片在同样的工序中, 寿命的变化。刀片是在碳钢上镶嵌碳化钨硬质合金(15~30% C₀)作为刃口。剪切材料是4620钢棒, 直径8.7mm, 硬度HB_{149~187}

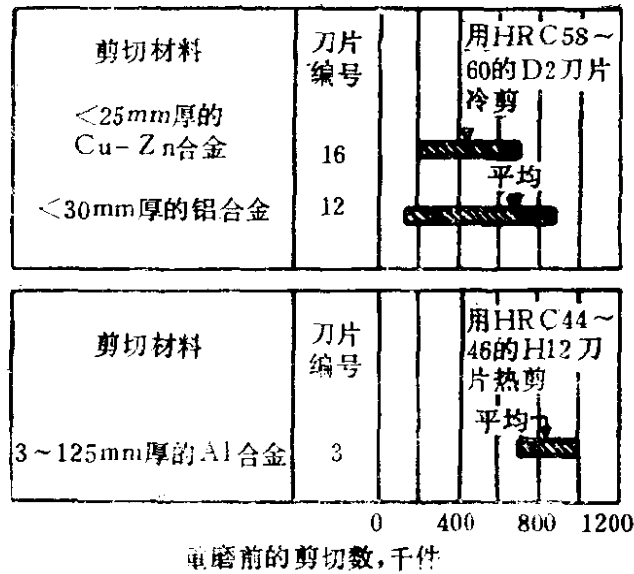


图 30 用于剪切有色金属的同一刀片的寿命变化

四、极薄金属和非金属材料的剪切工具

剪切纸张、胶卷、箔和纺织品的工具材料的选择，由于剪切材料数量的庞大，以及这些加工所使用的方法和工具类型多种多样，所以变得很复杂。

1. 工具种类

通常把用于切、截、剪、切边、穿孔或其它切割很薄材料的工具统称为机刀。机刀可分为两大类——圆刀和盲刀——每一类又可按刀片的设计和应用进行分类。

圆刀 截纸刀对被切材料施加压力使贴在一个比截纸刀更硬的表面(通常是装在轴上的辊筒或衬套)上的材料压下而切开。这类刀具的切刃是双斜面的。

剪刀利用剪切原理，由一对相对的刀片组成。材料通过剪刀而被切割。

爆裂切刀不是刺入向前运动的材料(像截刀那样)就是刺穿不接触另一工具表面的单层或多层材料进行切割。在开裂切割

中，切刀可以和开槽的棍筒联合使用，或以类似于剃须刀片切割方式进行高速切屑。

单片切刀、切片刀和圆盘刀是用在不展开（及重绕）卷料上采用渐进的方式来切割纺织物、泡沫塑料或胶片的卷料。

直刀 切边刀和轧刀是借助于一个通过材料施加一个向下压力的斜面来切割单层或多层材料的。

切片刀和切断刀是配对的刀具，把卷料切成薄片，或把薄片切到一定的长度。配对刀具中的一个或两个可以在旋转的鼓轮或往复的台架上运动，与其相对应的下面刀片往往是固定的。

特殊切刀——有很多其它应用，如剪切薄料需要许多不属上述类别而需特别设计的切刀。对这类工具材料的选用不包括在本章之内。

2. 机刀材料

不同于切割金属的切刀材料用于切纸张、胶卷、箔的切刀材料的选择通常以成本和耐磨性为基础的，而不大考虑韧性。因此，允许可以在较广的幅度内选用工作性能较好的而其它方面可稍让步的工具材料。但最终的选择要考虑具体的生产需要，维修条件和工具的预期寿命。在实际应用中，可对给定用途或类型的工具用的一种或几种材料进行标准化以取得大量生产的经济效益，或可采用预成形的原材料。

截刀 最通常制造截纸刀材料是 52100 钢，因为这种材料普遍是以棒材供应，适于大量生产和用户容易维护。截纸刀淬硬到 HRC60~62，就可满足大多数加工要求，它不会划入相对的台板衬筒或淬硬辊筒，这些衬筒和辊筒是用 52100 钢或渗碳钢制成，其硬度不低于 HRC60。截纸刀的代用材料是 O7 和 D2 工具钢，两者均以棒材供应。这些钢和 52100 钢制切刀一样，热处理到 HRC60 或更高。

截纸刀通常应用棒材而不用板材制造。棒材均匀的方向性，使之有最稳定的使用寿命。双斜面的角度和半径是确定性能的重

要因素，因为由于斜面的压力，刀子才对着台板衬垫进行切割。不推荐应用M和T型高速钢，因为切刀不能充分利用高速钢的硬度和高温抗软化能力，而且成本也太高。另外，因为脆而高硬的工具钢得不到满意的寿命，所以不用于截纸刀。

最后，因为大多数截纸刀使用者是用干磨的，因此必须选择那些在干磨条件下能保持硬度的钢种，经过良好调整的截纸刀，每次刃磨可切大约350千米的纸张。

剪切刀 剪切刀可以由一系列多种类合金制造。影响材料选用的因素是切刀结构、被切材料、机器结构和维修的期限。所有的工具钢（包括受欢迎的52100和其它低合金钢加上高合金D组、M组和T组）以及特殊工具钢和硬质合金均可考虑选用作剪刀材料。主要因为52100和O1钢很容易以板材、棒材或管材方式买到。故在标准的应用中，它们是最经常选用的材料。应用这些工具钢，可以有效地和经济地切割多种纸张。对经涂层和浸渍的纸张的切割，有时引起低合金工具钢的过早磨损，在这种情况下，D2钢是一种合适的替换材料。胶片和箔——不论是普通的，叠片的，深层的或金属化的——采用硬度为HRC62~64的高合金含量的D型、M型工具钢或CPM10V特种工具钢制成的刀片，可以更有效地进行切割。

在许多例子里，刀片和设备的结构，切刀的表面光洁度，以及其它由维修和生产实践中所引起限制因素，对切刀工具材料的选择以及使用性能也有很大的影响。因为高合金工具在使用不当时是很敏感的，所以在安装、操作以及维修上要求较高的技能。

某些胶片如涂有氧化铁或二氧化铬（磁带）的聚脂，对切刀片是特别容易破坏的。在这样的条件下使用的刀片，其性能是第一位的，费用则是二位的，为获得最大的硬度和耐磨性，要选用M型或T型高速钢（包括含钴的M42和T15）。高速钢刀片可以更好地维持高的精度和表面光洁度。CPM10V也能很好地适于这种使用条件，并比大多数其它的代用材料有更好耐磨性。

爆裂切刀 根据设计和功能，爆裂切刀是些薄刀。因此不选择合金钢，而选择容易得到的52100钢、1075钢和刮须刀片坯料等薄板作为这类刀的材料。除此以外，只在耐高温要求情况下，应用高速钢才是经济的。

单片切刀 在不开卷和重绕卷料的情况下，单片切刀用于将纸、泡沫塑料和纺织物的宽卷料切成窄的卷料。这类刀有长的，薄的，单斜面或双斜面的，并通过装于机器上的一个或多个磨轮，用自动（用于定时磨削）或手动的（用于按需要时磨削）方式来保持刃口的锋利。

在一般情况下，这类刀是用L2、L6或D2工具钢制造的。单片切刀的某些应用，包括对泡沫塑料或浸渍织物的切割，当它穿入被切材料时，会使薄的斜面产生较大的温升，因此要采用耐热性高的M2或T1工具钢。另外，材料的选择要受工具材料能否买到或生产定额的限制。例如：某些直径750mm或更大的单片切刀，它要求的热处理设备一般情况下是买不到的。切刀对颤动和校直问题是很敏感的，因此，工具钢的选择要综合考虑这些因素。

D型、M型和T型工具钢，只有在可能使用特制的而不是用于磨削标准L组工具钢的磨轮时，才被选用作切刀。立方氮化硼可以很好地磨削大直径的D2切刀，但是成本高，因此，必须精确地安装以使磨轮和切刀都达到最优的性能。

圆刀设计上最近的发展包括①在低合金钢或碳钢上涂复或浸渍耐磨材料；②采用由在价廉的铁芯片的单面或双面（视斜面的构造）复盖高合金、耐磨合金如M组和D组工具钢的方法制成叠层钢。在某些应用方面，特别是在剪切涂层胶片时，已普遍采用硬质合金刀片。由于这些刀片有极长寿命的优点，常常可以抵销其合理安装和维修时所需的费用和带来的困难。

直刀 直刀材料的选用，是由刀具的长度和横截面、生产和维修设备及刀片本身的成本等因素决定的。

标准的纸切边刀是由碳钢刀背和提供有效的切刃的镶片组成的。刀背或托架在热处理后，仍保持软的。这就使得制造者或用户能在刀上钻出必要的装配孔，而无需补偿热处理时的变形，同时还使刀片具有一定的抗冲击能力。镶片材料可以按O1到M2到T组高速钢中之一种顺序排列。在大多数使用情况下，O1钢成本低，容易维修，刃磨间有良好的性能，是理想的材料。在切割某些涂层纸张、胶片和箔时，应用更高合金的镶片，按其切割质量和使用寿命来说，即使刀片成本增加1倍，也往往是合算的。切刀也可用整体钢，并采用局部淬火或感应淬火，从而产生从刃口到刀背逐渐减少的硬化区。但热处理时，必须小心谨慎，使整体的刀具沿切削刃的整个长度有均匀的硬度，而且淬硬区要有足够的深度，使之可以允许多次刃磨。这类刀比镶片刀要更便宜些，但也只限于选用可局部淬硬的钢。

切片刀和切断刀在功用上是和切边刀相类似的。而且通常是用淬硬到HRC62~64的M2高速钢镶片制造的。在良好的条件下这些刀片的寿命是很长的——每次刃磨可达50~100万件。

某些切片刀或切断刀的横断面设计得太窄，以致不容许安装镶片，这类刀常用整体的52100、O1或D2工具钢制造。

第六章 落料模和冲孔模材料的选择

本章论及的落料模和冲孔模，包括在冲床上对金属和非金属薄板进行落料，冲孔和成型用的凸模、凹模及有关的其它零件。落料、冲孔模具材料的性能主要由生产合格零件的数量来决定。

用于简单零件的落料凹模及落料和冲孔用的凸模的示意图如图31所示。复杂形状的零件，要求采用级进模和复合模。

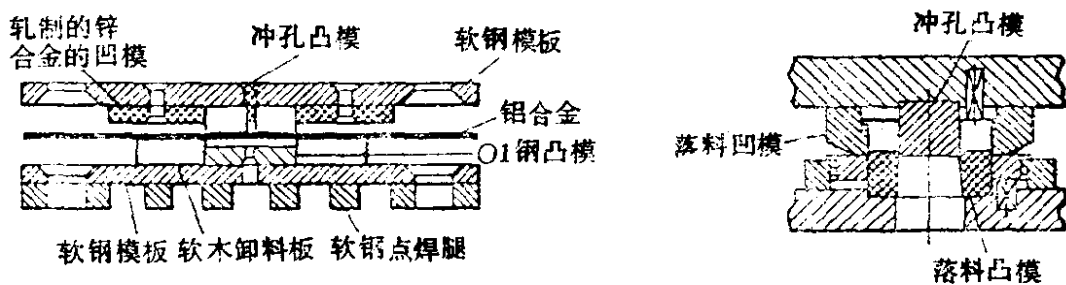


图 31 简单形状零件的落料、冲孔模的剖视图

左图为用于小批量生产、由金属薄板冲制近
 似于图32的1和2的零件的模具；右图为较大批量
 生产的模具

模具的失效共同标志是沿工件剪切边产生毛刺。新模具在凸模和凹模间有最小的间隙，而且剪切刃口也是锋利的。在这种状态下，材料的下面（不与凸模接触的一面）因外层纤维的伸长承受最大的拉应力，开始出现裂纹。模具在使用一段时间后，凸模和凹模的剪切刃口由于磨损而变圆，因而使材料上的应力分布状态发生改变，下面的应力变小了，裂纹也延缓了，同时，随着加工硬化还产生了变形。裂纹一开始，它就同时从材料的两边汇合而断开，并在冲下的废料上及冲件周边上都产生毛刺。随着模具磨损的增加，毛刺高度也增加。允许的毛刺高度随用途而不同，

但常在0.025~0.125mm之间。

一、模具材料

涉及本节的常用模具材料的成分和性能，在本书里均有详细的介绍。

凸模和凹模

表37为从1.3mm厚的几种不同工件材料上冲制尺寸和复杂程度不同的零件，在不同生产量时凸模和凹模所用的材料。图32为典型零件的示意图。表38为用于同样厚度的几种不同材料和不同批量时，工件整修用的凹模和凸模材料。

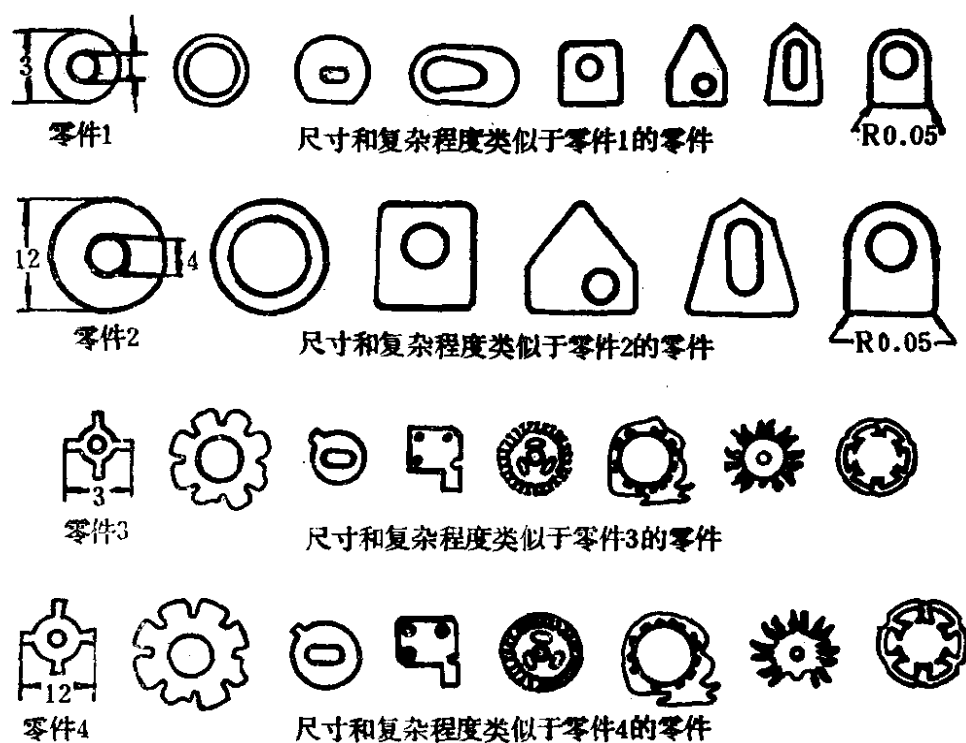


图 32 用普通的落料冲孔工艺生产的
各种不同复杂程度的典型零件

图中尺寸值为英寸。换成毫米时，需乘以25。零件1和2比较简单，要求用类似于图31的模具。零件3和4比较复杂，要用复合模或级进模

表 37

1.3mm薄板落料用的典型的凸模和凹模材料

零件示意图, 见图32

工件材料	不同生产批量 (件) 所选用的模具材料					
	1000	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000	
零件1及类似75mm的零件 铝、铜和镁合金 碳钢、合金钢, 碳 $\leq 0.70\%$ C及铁素体不锈钢	Zn(a), O1, A2 O1, A2	O1, A2 O1, A2	O1, A2 O1, A2	O1, A2 O1, A2	D2, CPM10V D2, CPM10V	硬质合金 硬质合金
奥氏体不锈钢 (回火的) 弹簧钢, 硬度 $\leq \text{HRC}52$ 变压器级硅钢片, 0.6mm 纸张、垫片及类似的软材料 非增强塑料板 增强塑料板	O1, A2 A2 A2 W1(b) O1 O1(e), A2	O1, A2 A2, D2 A2, D2 W1(b) O1 A2(f)	A2, D2 D2 A2, D2 W1(c), A2(d) O1, A2 A2(f)	D4, CPM10V D4, CPM10V DA, CPM10V W1(d), A2(d) D2, CPM10V D2(f), CPM10V	硬质合金 硬质合金 硬质合金 硬质合金 D2, CPM10V 硬质合金 硬质合金	
零件2及类似300mm的零件 铝、铜及镁合金 $\leq 0.7\% \text{C}$ 碳钢及合金钢及 $\frac{1}{4}$ 硬以下的不锈钢	Zn(a), 4140(g) 4140(h), A2	4140(h), A2 4140(h), A2	A2 A2	A2 A2	A2, D2, CPM10V A2, D2, DPM10V	硬质合金 硬质合金
奥氏体不锈钢 ($\frac{1}{4}$ 硬以上 的) 弹簧钢, 硬度 $\leq \text{HRC}52$	A2 A2	A2, D2 A2, D2	D2 D2	D2 D2	D2, D4, CPM10V D2, D4, CPM10V	硬质合金 硬质合金

不同生产批量 (件) 所选用的模具材料

工 件 材 料	不同生产批量 (件) 所选用的模具材料				10,000,000
	1000	10,000	100,000	1,000,000	
0.6mm 变压器级硅钢片	A2	A2, D2	A2, D2	D2, D4, CPM10V	硬质合金 D2, CPM10V
纸张、垫片及类似的软材料	4140(j)	4140(j)	A2	A2	硬质合金
非增强塑料板	4140(j)	4140(h), A2	A2	A2	硬质合金
增强塑料板	A2(e)	A2(e)	D2(e)	D2(e), CPM10V	
零件3及类似75mm的零件	O1, A2	O1, A2	O1, A2	A2, D2, CPM10V	硬质合金
铝、铜、镁合金	O1, A2	O1, A2	O1, A2	A2, D2, CPM10V	硬质合金
<0.7c% 碳钢及合金钢、铁					
素体级不锈钢					
奥氏体不锈钢 (回火的)	A2	A2, D2	D2, D4	D2, D4, CPM10V	硬质合金
弹簧钢, 硬度 < HRC52	A2	A2, D2	D2, D4	D2, D4, CPM10V	硬质合金
0.6mm 变压器级硅钢片	A2	A2, D2	D2, D4	D2, D4, CPM10V	硬质合金
纸张、垫片及其他软材料	W1(b)	W1(b)	W1(K), A2	W1(K), A2	D2, CPM10V
非增强塑料板	O1	O1	A2	A2, D2, CPM10V	硬质合金
增强塑料板	O1(m)	A2(f)	A2(f)	D2(f), CPM10V	硬质合金
零件4及类似300mm的零件					
铝、铜、镁合金	A2	A2	A2, D2	A2, D2, CPM10V	硬质合金
<0.7c% 碳钢及合金钢、铁	A2	A2	A2, D2	A2, D2, CPM10V	硬质合金
素体级不锈钢					

续表

工件材料	不同生产批量 (件) 所选用的模具材料			
	1000	10,000	100,000	1,000,000
奥氏体不锈钢 ($\frac{1}{4}$ 硬以下 的)	A2	A2	A2, D2	D2, D4, CPM10V
奥氏体不锈钢 ($\frac{1}{4}$ 硬以上 的)	A2	A2	D2	D2, D4, CPM10V
弹簧钢, 硬度 < HRC52	A2	A2, D2	D2	D2, D4, CPM10V
0.6mm 变压器级硅钢片	A2	A2, D2	D2	D2, D4, CPM10V
纸张、垫片及其它的软材料	W1(b)	W1(b)	W1(n)	W1, A2
非增强塑料薄板	A2	A2	A2	A2, D2, CPM10V
加增塑料薄板	A2(f)	A2(f)	D2(f)	D2(f), CPM10V

注: 硬质合金除推荐作一千万件的批量生产的模具材料外, 批量在一百万~一千万件之间时也选用。

(a) Zn是指锌合金板凹模和淬硬工具钢凸模。

(b) 用于冲制数量至10,000件时, W1凹模和凸模可不硬化, 在必要时用锤敲击凸模以补偿磨损。

(c) 用于生产1万~1百万件时, W1凸模可以是软的, 所以它可用敲击来补偿磨损, 或把它淬硬并磨到要求的尺寸。

(d) 所列二种材料可交替应用, 如用复合模生产1万~1百万件的批量时, 优先选用A2工具钢。

(e) 即使只冲制1,000件, 凸模必须氮化至0.1~0.2mm的深度后再使用。

(f) 凸模和凹模需在540~565°C下气体氮化12小时。

(g) 软的。

(h) 工作刃口用火焰淬火。

(i) 可以是软的或火焰淬火。

(k) 冲1万~1百万件时, 凸模用W1, 可以是软的, 以便用敲击法补偿磨损, 即模用淬火的O1钢。

(m) 即使是冲1000件, 凸模最好进行氮化处理。

(n) 冲1万~1百万件时, 应用W1淬硬的凹模和W1不淬硬的凸模; 以便用敲击法补偿磨损。

冲制较1.3mm稍厚或稍薄的薄板零件的凸模和凹模材料也可按表37和表38选择。对于更厚一些板料，凸模和凹模的材料应选比实际生产量大一档所推荐的材料（即表中实际生产数量靠右的一行）。相反地，对更薄的材料，则可选用比实际生产量小一档的模具材料（即表中实际生产数量靠左的一行）。

表 38 用于1.3mm薄板工件整修典型的凸模和凹模材料

工件材料	用于不同生产量（件）的模具材料			
	1,000	10,000	100,000	1,000,000
铝、铜、镁合金	O1(a)	A2	A2	D4(b)、CMP10V
≤0.3% C的碳钢、合金钢及铁素体不锈钢	A2	A2	D2	D4(b)、CPM10V
0.3~0.7% C的碳钢及合金钢	A2	D2	D2	D4(b)、CPM10V
奥氏体不锈钢 ($\frac{1}{4}$ 硬以下)	A2	D2	D4(b)	D4(b)、CPM10V
奥氏体不锈钢 ($\frac{1}{4}$ 硬以上)				
及淬到最高HRC52的弹簧钢	A2	D2	D4(b)	M2(b)、CPM10V

注：(a) O2用于须经扩孔加工的模具。

(b) 易损或截面复杂时，用D2取代D4或M2。对该生产量也可用硬质合金作整修凸模。

用于若干种不同工件材料的冲孔类凸模^{•1}的典型材料如表39所示。凸模直径相对于板厚的比例，在冲铝、黄铜和钢时，无导向的凸模为2.5:1；有导向的凸模时为1:1。在冲弹簧钢和不锈钢时；无导向的凸模为3:1~1.5:1；对精密导向凸模为1:1~0.5:1。冲孔类凸模的典型硬度如图33所示。

•1 这种类型凸模是指直径在1英寸以下，由专业化厂生产，作为标准商品在市场上可以买到的镶入式凸模——校者注。

表 39

冲孔类凸模的典型材料

		用于不同生产量 (件) 的凸模材料		
工 件 材 料		10,000	100,000	1,000,000
直径 $\leq 6.4\text{mm}$ 的凸模				
铝、黄铜、碳钢、纸和塑料	M2	M2, CPM10V	M2, CPM10V	
弹簧钢、不锈钢、硅钢片和增强塑料	M2	M2, CPM10V	M2, CPM10V	
直径 $> 6.4\text{mm}$ 的凸模				
铝、黄铜、碳钢、纸和塑料	W1	W1	D2, CPM10V	
弹簧钢、不锈钢、硅钢片和增强塑料	M2	M2, CPM10V	M2, CPM10V	

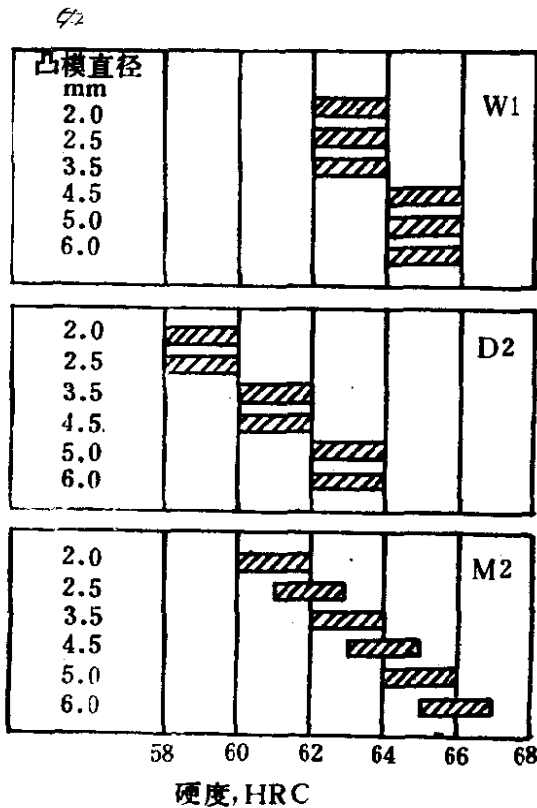


图 33 工具钢冲孔类凸模的典型硬度

注：不论何种材料，孔是受大的冲击载荷，或用于厚材料冲孔时，需回火到HRC56~60的硬度

表40为三种类型（凸模固定板、导板或卸料板和凹模固定板或凹模）冲孔类衬套¹的典型材料。这些推荐，对精密衬套——例如，外径可磨至 $+0.008\text{mm}$ 及内外径同心度在 0.005mm 的公差之内——是特别有用的。W1衬套的硬度应为HRC62~64，D2为HRC61~63。

模板

模板和夹持镶块的模具零件，通常是用灰铸铁、合金钢或工具钢制造。在冲压厚板和硬的材料时，可用50号灰铸铁，

¹ 指镶入式凸模导向套和镶入式凹、套——校者注。

表 40

冲孔类衬套的典型材料

工 件 材 料	不同生产量 (件) 的衬套材料		
	10,000	100,000	1,000,000
铝、黄铜、碳钢、纸和塑料	W1(a)	W1(a)	D2
弹簧钢、不锈钢、硅钢片和增强塑料	D2	D2	D2或硬质合金

注: (a) 当衬套的形状在热处理后不能磨削时, 为减少变形, 推荐用油淬钢或空冷硬化钢。

或热处理到 HRC30~40 的 4140 钢。在大批量生产厚的或硬的材料冲压件时, 如果镶块是被压入模板的, 则模板采用 4340 钢和 H11 钢; 如镶块是螺栓紧固的, 则基本上都用 4340 钢。在冲压薄或软板时, 可用 25 号或 30 号灰铸铁或软钢模板。

次要的模具零件 硬质合金模的模座和凸模固定板, 采用高强度铸铁或低碳钢板制成。固定硬质合金拼块的箍圈, 常用淬硬到 HRC55~60 的 O1 工具钢制造。硬质合金模的垫板可用淬硬到 HRC48~52 的 O1 钢制造。卸料板通常用低碳或中碳 (1020 或 1035) 钢板制成; 在中批量生产时, 淬硬的卸料板用 4140 火焰淬硬 W1 钢, 常规淬硬或 W1 钢氰化及油淬的 W1 钢制成; 硬质合金模或大批量生产用的 D2、D4 或 CPM10V 模具的淬硬卸料板用 O1 或 A2 制成, 硬度为 HRC50~54。

对大多数中批量或大批量生产用的模具, 定制的淬硬导柱和定位销用 W1 和 W2 钢制造。而对低成本小批量生产的模具, 则用 4140 钢。市场上的导柱常用 SAE1117 钢制成, 然后渗碳、淬火并加工至 $0.4\mu\text{m}$ 均方根值的粗糙的表面光洁度。

二、特殊材料的应用

下面的补充资料将有助于落料凸模和凹模材料的选用。

轧制的锌合金板，或模具用板可用锌基模铸造合金厂商提供的6.4mm的板材。锌合金凹模用火焰淬火的O1钢凸模剪切成形，并且总是和9.5mm厚的软木卸料板一起使用的。

由热轧低碳钢板（0.10~0.20% C）制成的模具，可用于小零件的小批量生产。提供的这些模具都经表面硬化，或渗碳至0.25~0.5mm或氰化至0.1~0.2mm的深度。由于热处理变形，这些材料限于用在小的，对称零件的落料。

软材料的大批量落料，其模具已采用优质的4140钢。这时，4140钢一般是用火焰淬火至HRC50。大模具工作刃口的火焰淬火比全部淬火有减少挠曲和尺寸变化的优点，然而，有内或外尖角的模具在火焰淬火后，可能会产生软点，从而降低性能。

表37的工具钢是假设已经用常规的方法淬火并回火到其最高的使用硬度（HRC58~61）。

除了表37中所列出的模具钢外，O6钢在用作多工位级进模时，有满意的使用效果。而A10由于奥氏体化温度低，尺寸精度高而又稳定，被用于制作冲压叠片的大型模具。

在某些使用场合，M2高速钢模具比D2钢模具产生的毛刺要少些（指生产零件数量相等）。此外，钢结硬质合金和高钒碳化物粉末冶金工具材料如CPM10V，在关键的使用场合时，应予以考虑。

硬质合金模具，是在使用寿命必须高于D4工具钢4倍或更多倍时，才考虑选用。对少批量，要求精密公差和最小毛刺的场合，或要求延长每次刃磨间的模具寿命时，可考虑在钢模中采用局部的或整体的硬质合金镶块。但是，用铜焊的镶块是不可靠的，而且用燕尾槽或用机械的方式夹持镶块的成本已接近整体的硬质合金模。

常用于落料模和冲孔模的硬质合金的成分和硬度如下：

成分, %			硬度, HRA
W	C	CO	
7.51	4.9	20.0	86
78.9	5.1	16.0	86
81.7	5.3	13.0	88
88.3	5.7	6.0	91

上表中第一种材料用于有显著振动的场合，第二种材料因韧性和耐磨性有好的配合，用于硅钢的冲裁等的重载的场合；第三种材料适用于要求保持精密公差的硅钢片冲裁；第四种材料用于有导柱和滚动导柱及用于轻微冲击的场合。

图34的数据表明了两种不同工具钢在同样硬度下，磨损寿命的差异。普通工具钢模具的平均寿命与硬质合金或 CPM10V 模具的寿命相比较时，是微不足道的。

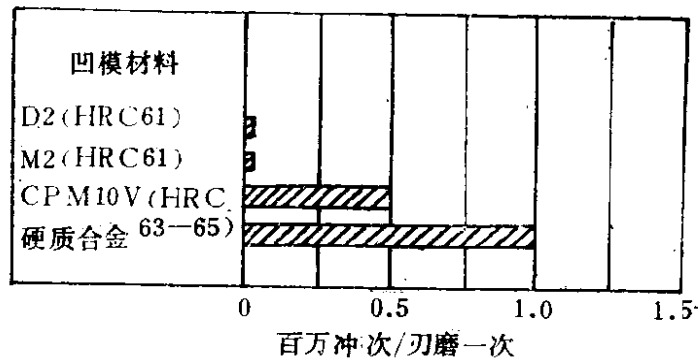


图 34 三种钢模和一种硬质合金模的相对寿命

模具寿命是在相同操作条件下得到的，冲制材料为3.25%Si, 0.4mm厚的硅钢片。当模具磨损到冲件产生0.13mm高的毛刺时，需重磨刃口

第七章 冲压成形模材料的选择

冲压成形是通过弯曲或适度的延伸，或两者兼有之使薄板金属制成与凹模和凸模的轮廓一致的工艺。合适的冲压成形模材料，要根据那种模具所能生产的零件的数量来决定。影响模具使用寿命的有零件的形状和尺寸、被成形的材料种类和厚度、润滑和允许的尺寸变化的程度。

表41为常用的冲压成形模材料的名义成分。模具材料通常是以尽可能低的成本，而又能达到一定的使用寿命作为选择依据的。但是，最终的选择，往往更侧重于使用性能，而把模具寿命和成本上的微小差异放在次要的位置。

表 41 常用于成形模的工具材料

材 料	名 义 成 分
工具钢	
W1, 水淬钢	0.60~1.40 C
S1, 油淬、抗冲击钢	0.50 C、1.50 G、2.50 W
O1, 油淬钢	0.90 C、1.00 Mn、0.50 Cr、0.50 Mo
A2, 空淬、中合金钢	1.00 C、5.00 Cr、1.00 Mo
A4, 低温空淬钢	1.00 C、2.00 Mn、1.00 Cr、1.00 Mo
D2, 高碳高铬钢	1.50 C、12.00 Cr、1.00 Mo、1.00 V
D3, 高碳高铬钢	2.25 C、12.00 Cr
D5, 高碳高铬钢	1.50 C、12.00 Cr、1.00 Mo、3.00 Co
D7, 高碳高铬钢	2.35 C、12.00 Cr、1.00 Mo、4.00 V
M2, 钼高速钢	0.80 C、4.00 Cr、5.00 Mo、6.00 W、2.00 V
M4, 钼高速钢	1.30 C、4.00 Cr、4.50 Mo、5.50 W、4.00 V
其它铁合金	
热轧碳钢	1010~1018钢
非合金铸铁, HB185~225	3%总 C、1.6 Si、0.7 Mn(或含量相当的)

续表

材 料	名 义 成 分
合金铸铁, HB 200~250	3%总C、0.7%结合碳、1.6Si、0.4Cr、 0.4Mo ((或含量相当)
铸造碳钢, HB 185~225	0.75C
铸造合金钢, HB 200~235	0.45C、1.10Cr、0.40Mo
4140合金钢	0.40C、0.60Mn、0.30Si、1Cr、0.20Mo
4140改型 (含氮合金)	0.35C、1.20Cr、0.20Mo、1.00AL
有色合金	
锌合金	4AL、3Cu、0.03Mg、余Zn
铝青铜, HB 270~300	13AL、4Fe、余Cu
塑料	
聚酯玻璃	50%聚酯塑料、50%玻璃纤维
环氧玻璃	50环氧塑料、50%玻璃纤维
聚酯金属	金属粉末增强的聚酯塑料
环氧金属	金属粉末增强的环氧塑料
尼龙金属	金属粉末增强的聚酰胺
聚酯或环氧金属	玻璃和金属粉末增强的聚酯或环氧塑料

模具寿命 磨损决定冲压成形模的使用性能。而由摩擦磨损或粘焊磨损或二者均有而产生的总磨损, 则主要受生产批量和成形工序复杂程度的影响。

在成形过程中, 模具的磨损量是和薄板金属在模具接触表面间滑过的累积的总距离成正比的。薄的、软的或低强度的薄板金属, 成形时压力最低, 因此, 模具磨损也最少; 厚的或中等强度的金属, 模具的磨损就较快。模具与工作金属的磨损速率是可以变的, 它取决于表面特性, 成形速度和所采用的润滑剂。由于局部区域产生变薄, 在零件上会形成皱纹, 因而在模具上会发生高的局部集中压力, 并通常遇到不允许的高的磨损速率和擦伤。

典型的模具材料 成形图 35 所示零件的模具由凸模和凹模组成。在工序中, 凸模把坯料推入凹模, 并引起凹模的磨损。

由于金属紧紧的贴于凸模上，只有小的滑动，因此，凸模使用寿命可比同样材料的凹模高10倍。但是，在零件的收缩区，凸模的表面会发生一定的磨损，特别是当成形是在单动模里完成时，更是如此。

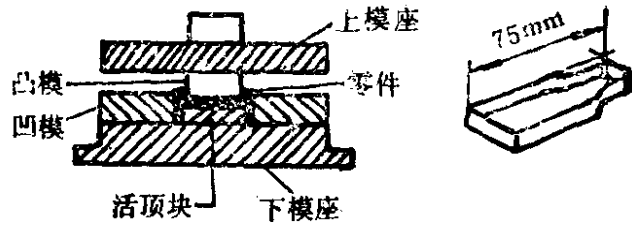


图 35 用于中等复杂程度的小零件的模具横剖面，典型的模具材料见表42

对小的凹模和凸模，因为工具钢的成本是微不足道的，因此，在批量小于10,000时，也可使用D2型工具钢。对易发生擦伤的模具，可进行氮化。图35所示小零件冲压成形用下模的材料如表42所列。

图36零件的模具由凸模，上模和下模组成。若无上模，在收缩法兰处，将产生严重的皱纹。对图35的零件所用的凸模和上模比下模可选用较低抗磨损的材料。这种模具常用工具钢制造（见表43），凹模是以镶块的形式，装在图36所示的铸铁下模里，凸模是由铸造工具钢如D2制成的。例如，产量在10,000~100,000件时，在最容易磨损处用A2或D2镶块的铸铁模。当这个零件是大量生产又必须保持精密公差时，在各个易受磨损的表面应该用D2工具钢镶块。

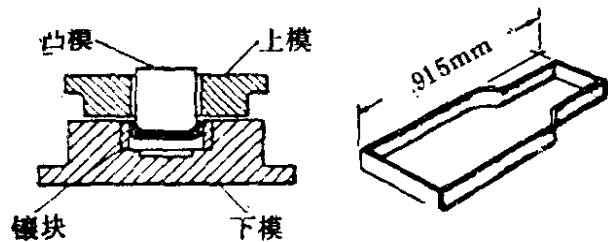


图 36 用于中等复杂程度大零件的模具横剖面

(典型的零件材料见表43)

在冲压成形类似图36所示的大零件时，典型的下模材料如表43所示。在生产数量小于100,000件时，采用表中材料制成的整体模，而不用镶块模。凸模用较低的抗磨损材料制成，即和所需生产数量靠左第一行的下模材料相同。

供制造厚于或薄于例子中1.3mm的薄板零件，或制造复杂

表 42

用1.3mm薄板成形中等复杂程度小零件用的典型的下模材料

(模具横剖面图和零件形状见图35)

被成形金属	质量要求 光洁度 公差, (mm)	润滑(b)	不同总生产量(件)用的下模材料(a)			
			100	1,000	10,000	100,000 1,000,000
1100铝, 黄铜, 铜 (c)	无	有	环氧树脂-金属、 软钢	聚酯-金属、 软钢和4140钢	聚酯-玻璃(d)、 01, 4140	A2, D2
1100铝, 黄铜, 铜 (c)	无 ±0.1	有	环氧树脂-金属、 软钢和4140钢	聚酯-金属、软 钢和4140钢	聚酯-玻璃(d) 4140, 01,	A2, D2
1100铝, 黄铜, 铜 (c)	最好 ±0.1	有	环氧软脂-金属、 软钢	聚酯-金属、软 钢和4140钢	聚酯-玻璃(d) 4140, 01,	A2, D2
镁或钛 (e)	最好 ±0.1	有	软钢	软钢和4140钢	A2	A2, D2
低碳钢, 至1/4硬	无	有	软钢和4140钢	软钢和4140钢	4140, 软钢	D2
300型不锈钢, 至1/4硬	无	有	软钢和4140钢	软钢和4140钢	镀铬 D2	D2
低碳钢	最好 ±0.1	有	软钢和4140钢	软钢和4140钢	软钢和4140钢	A2, D2, D2氮化
高强度铝或铜合金	最好 ±0.1	无(f)	软钢和4140钢	软钢和4140钢	软钢镀铬和4140 O1镀铬, A2	D2, D2氮化
300型不锈钢, 至1/4硬	无 ±0.1	有	软钢和4140钢	软钢和4140钢	软钢和4140 O1镀铬, A2	D2

续表

被成形金属	质量要求 光洁度 公差, (mm)	润滑(b)	不同总生产量(件)用的下模材料(a)			
			100	1,000	10,000	100,000 1,000,000
300型不锈钢, 至1/4硬	最好 ±0.1	有	软钢和4140钢	软钢和4140钢	软钢镀铬、D2	D2、D2氮化
耐热合金钢	最好 ±0.1	有	软钢和4140钢	软钢和4140钢	软钢镀铬、D2	D2、D2氮化
低碳钢	好 ±0.1	无(f)	软钢和4140钢	软钢和4140钢	软钢镀铬	D2、D2氮化

注: (a) 模具材料的种类见表41。当在同样的条件给出几种材料时, 材料按成本的增加顺序排列, 但最终的选择常常取决于使用效果, 宁可在模具的成本或性能有微小的差异。成形批量小于10,000件时, 推荐用软钢, 而且模具可不经热处理; 成形批量 $\geq 10,000$ 件时, 模具应当渗碳淬火。表中4140钢用于小于10,000件的生产时, 需经预处理到HRC 28~32; 批量大于100,000件时, 高磨损区推荐采用火焰淬火。

(d) 特殊润滑。

(c) 软的。

(b) 带镶块。

(e) 加热的薄板。

(f) 应用润滑制造1~100件。

表 43

用 3mm 薄板成形中等复杂程度大型零件的典型的下模材料

(模具剖视图和零件形状见图36)

被成形金属	质量要求 光洁度 公差 (mm)	不同产量用的典型的下模材料 (a)			
		100	1,000	10,000	100,000 1,000,000
1100 铝 铜 (c)	无	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、锌合金	树脂-金属、聚 酯-金属、锌合金	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、锌合金	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、锌合金
1100 铝、黄铜、 铜 (c)	无 ±0.1	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、锌合金	树脂-金属、聚 酯-金属、锌合金	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、锌合金	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、锌合金
1100 铝、黄铜、 铜 (c)	最好 ±0.1	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、锌合金	树脂-金属、聚 酯-金属、锌合金	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、锌合金	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、锌合金
镁或钛 (f)	最好 ±0.1	铸铁、锌合金	铸铁、锌合金	铸铁	铸铁
低碳钢、至 1/4 硬	无	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、玻璃、聚 酯-金属、锌合金	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、玻璃、聚 酯-金属、锌合金	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、玻璃、聚 酯-金属、锌合金	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、玻璃、聚 酯-金属、锌合金
300 型不锈钢、 至 1/4 硬	无	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、玻璃、聚 酯-金属、锌合金	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、玻璃、聚 酯-金属、锌合金	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、玻璃、聚 酯-金属、锌合金	环氧树脂-金属、聚 酯-金属、玻璃、聚 酯-金属、锌合金

被成形金属	质量要求 光洁度 公差 (mm)	润滑 (b)	不同生产批量用的典型的下模材料 (a)			
			100	1,000	10,000	100,000 1,000,000
低碳钢	最好 ± 0.1	有	锌合金	环氧-玻璃、聚酯-玻璃、锌合金	合金铸铁	D2, A2 D2, D2氮化(e)
高强度铝或铜合金	最好 ± 0.1	无(g)	锌合金	聚酯-玻璃、锌合金	合金铸铁	D2氮化(e) 合金铸铁
300型不锈钢, 至 1/4 硬	无 ± 0.1	有	锌合金	锌合金	合金铸铁	A2氮化(e) D2(e), D2 氮化(e)
300型不锈钢, 至 1/4 硬	最好 ± 0.1	有	锌合金	锌合金	合金铸铁	D2氮化(e)
耐热合金钢	最好 ± 0.1	有	锌合金	锌合金	合金铸铁	D2氮化(e)
低碳钢	好 ± 0.1	无(g)	锌合金	锌合金	合金铸铁	D2氮化(e)

注: (a) 模具材料种类见表41。当在同样的条件下给出几种可供选用的材料时, 按成本的增加顺序排列, 但材料的最终选择常常取决于使用效果, 宁可在成本或性能上有微小差异。成形批量小于10,000件时, 推荐可用软钢, 而且不经热处理; 成形批量 $\geq 10,000$ 件时, 模具应渗碳淬火。表中4140钢在用于批量小于10,000件的生产时, 应预处理到HRC28~32; 在批量大于10,000件时, 高磨损区采用火焰淬火。

(b) 特殊润滑。

(c) 软的。

(d) 带镶块。

(e) 在铸铁模座中用作镶块。

(f) 经加热的薄板。

(g) 应用润滑制造1~100件。

程度比图35和图36所示的零件稍难或稍易的零件的下模材料可由表42和表43选择。对于更复杂或更厚的薄板零件，推荐用比实际生产批量更大的下一档生产批量的下模材料（即表中实际生产批量的右栏）。对不太复杂或较薄的薄板零件，推荐用较低生产批量的下模材料（即表中实际生产批量的左栏）。

抗擦伤材料的选择 擦伤是成形金属对模具产生的冷焊，它极大地影响模具所能生产零件的数量。擦伤是由于金属薄板延伸超过规定极限、润滑不足、模具装配不良、光洁度粗糙等原因造成的。因此，一旦发生擦伤时，要首先检查模具配合及成形金属的厚度，确定间隙是否符合要求。如果间隙足够，在更改模具材料前，应首先检验润滑情况。如果模具材料及成形金属在硬度、化学成分和表面特性不类似时，那么，擦伤也不相同。因此，可作如下有效的合并：①成形碳钢及不锈钢可用铝青铜模具；②成形铝及铜合金可用工具钢模具；③成形碳钢、不锈钢和铝可用硬质合金模具。

铝青铜具有很好的抗擦伤能力，因此，用它来制造要求很高光洁度的碳钢或不锈钢零件的模具是称心合意的。然而，在中高批量生产时（10,000~100,000件）应该用镶块，以便于磨损模具的修复。

氮化可减少或防止合金钢或含铬和钼合金工具钢（例如A2或D2）模具的擦伤。但氮化表面，在圆弧半径小于3mm，特别是模具的型腔复杂时，易引起剥落。

硬的镀铬能够克服软钢、合金钢和工具钢模具的擦伤，它常在重载荷下应用。在带有大的局部应力工序时，淬硬的合金钢或工具钢不容易产生塑性屈服和引起镀硬铬层的裂纹。对复杂零件的模具，在圆弧半径小于6mm时，硬铬镀层易于剥落。

对于某些冲压成形工序的模具，选用其它工具钢比选用上述所讨论过材料可能更适合些，例如S1、S5和S7可用作经受冲击的模具的零件；H11和H13可以氮化，用作大的抗磨损的模具及

其零件。在冲压成形工序中，比D2和氮化D2有更高的磨损寿命要求时，有必要选用更抗磨的A7、D3、D4或D7钢，或M2、M4、M5等高速钢。如在图317-7PH不锈钢的法兰的例子中，阐述了通过把D2改为更高合金含量的D7和M4钢，可以期望改进模具寿命。虽然韧性也是一个决定的因素，但成本决定了选用的材料是否合适。总成本中包括模具的材料成本、制造成本和中间修理的成本。

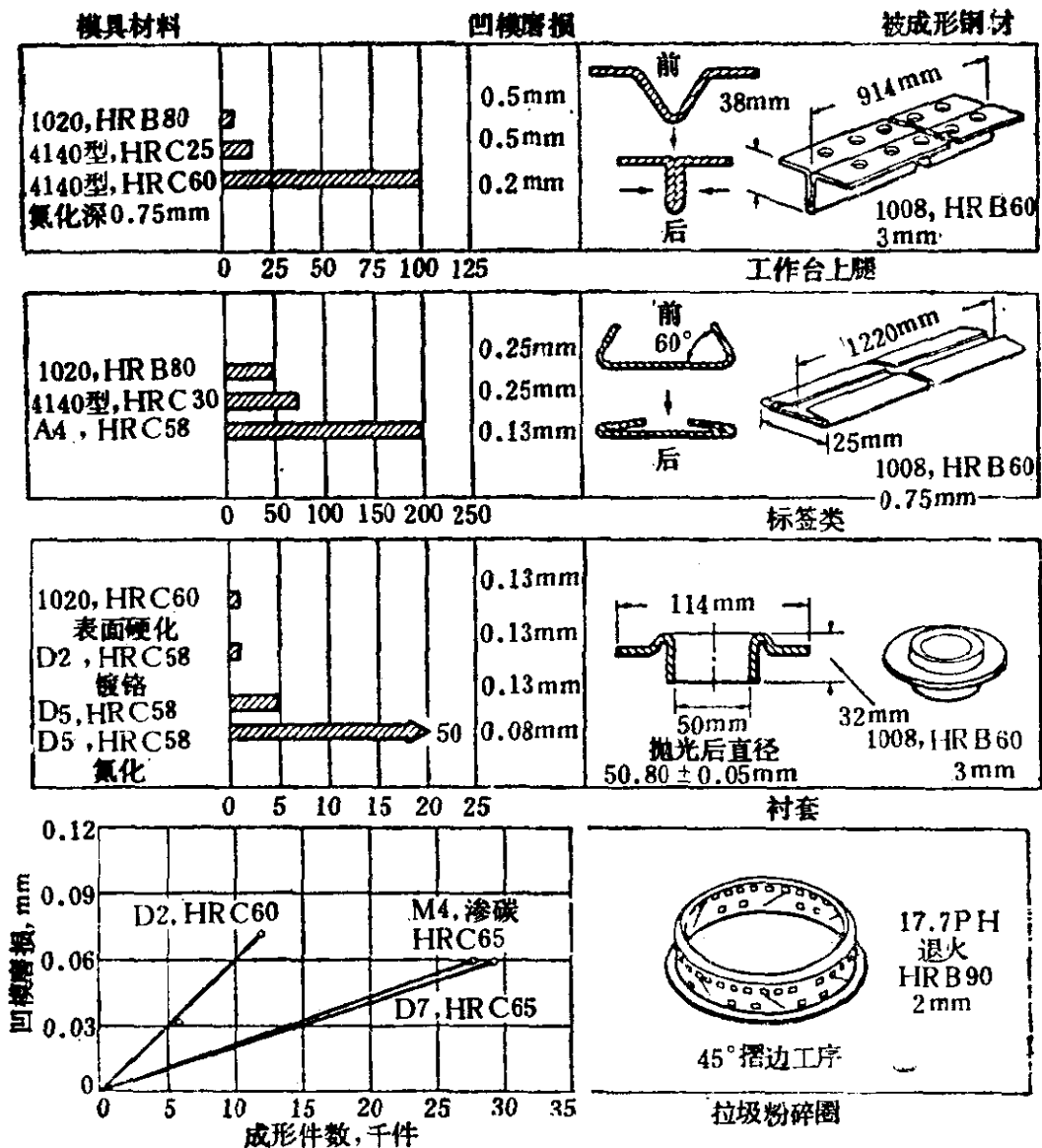


图 37 模具磨损和模具寿命数据

近年来，粉末冶金（P/M）高合金抗磨损工具钢的应用，获得了很大的进展，例如热等压成形高密度的P/M高速钢和相同成分普通铸钢锭钢比较时，极大地改善了制造性能和提高了使用中的韧性。不能用冶炼方法经济地生产的新型材料，可以用P/M来生产。为要求高磨损寿命和良好韧性的模具而特殊设计的空淬冷模钢CPM10V（2.45C、5.0Cr、9.75V、1.25Mo），就是其中的一种。在CPM10V中，由于高钒碳化物的存在，其耐磨性比任何其它冷作工具钢和最耐磨的高速钢还要更经久耐用，而且还可有效地取代易开裂和剥落的硬质合金。

硬质合金传统地被认为是最抗擦伤、最抗磨损的工具材料，但由于其高的成本和脆性，仅用作重要模具的镶块。硬质合金镶块通常用含有6%的钴粘结剂的碳化钨制成。钴含量高时，可提高抗冲击性能。最近发展的钢结硬质合金，容易加工，可以认定，在取代昂贵的钴结硬质合金中，有更高的经济效益。

第八章 拉延模材料的选择

拉延是一种使金属薄板在通过凹模时被拉伸，同时形成与凸模形状一致的圆的或方形的杯状件的工艺。在普通的拉延中，拉延是以同方向进行的。用于普通拉延的凹模及其他模具零件的型式如图38所示。

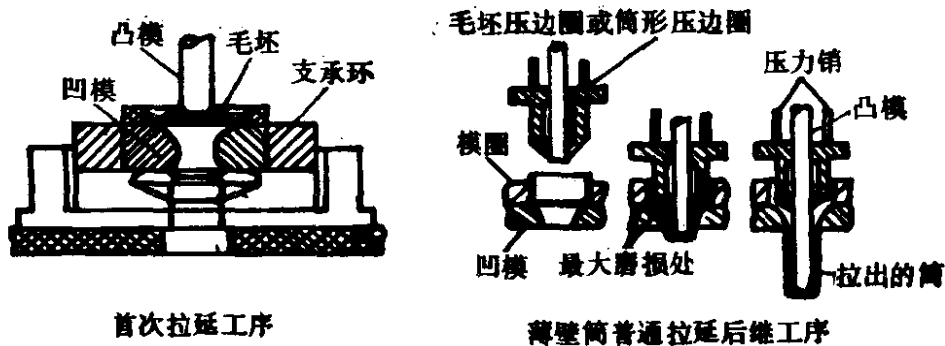


图 38 用于普通拉延工序的模具组成部分

有时，拉延筒必须有无皱纹的均匀厚度的侧壁或杯底有一部分急剧突起，常采用两道工序成形。如果用一次成形，则是困难和不可能的，也是不经济的。但是用反向拉延，则就容易多了。图39为薄壁筒反向拉延用的典型模具。

为了制造上的经济，拉延零件常用可能的最少工序拉延成形。变薄拉延在多次拉延中也是被广泛应用的，这种工艺是用通

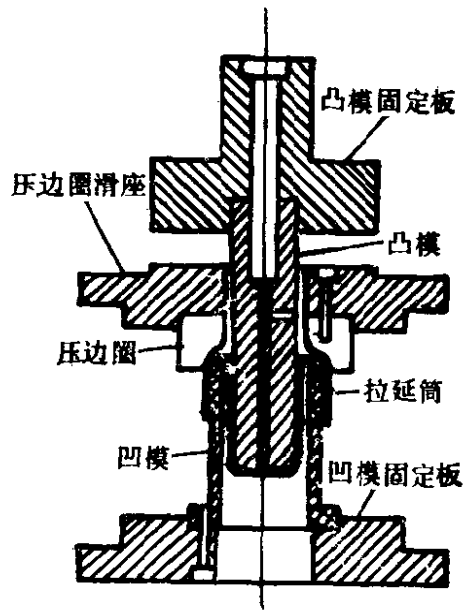


图 39 薄壁筒反向拉延的典型模具

过减少凸模和凹模的间隙，使拉延件的壁变薄。变薄拉延有助于以最少工序生产深拉延件，并能获得均匀的壁厚。每道工序都是按被拉延金属的最大减缩率设计的。相应地，本章所论及的是以35%的最大减缩率为基础的，

拉延模材料的选择是以用最低的成本生产出在数量和质量上符合要求的产品为目标的。在小模具里，如生产直径 $<75\text{mm}$ 的零件，性能是优先考虑的因素。因为材料费用只占很小的比例，即使是高合金工具钢，材料费也少于模具总成本的5%。对直径 $>200\text{mm}$ 的零件用的模具，材料费用占的比例就大了，对 300mm 的零件用的模具，即使模具是由工具钢镶块和火焰淬火合金铸铁制成的，材料也几乎要占模具总成本费的50%。

一、模具性能

拉延模的性能是由在一个生产周期由所产生的总磨损量（包括研磨和粘附）来决定的。一种给定的模具材料，其磨损取决于它的硬度、拉延板材的种类和厚度，凹模圆角半径的大小及模具的润滑、结构和表面光洁度。在凹模圆角半径处的磨损量可变化（减少）到在最大和最小的圆角半径之间。在拉延方形制件时，在伴随着高的局部集中压力的圆角处皱纹的形成，可产生极高的磨损速率。

润滑 在拉延时，如果要把摩擦、磨损和擦伤控制到可能最低的水平，则薄板金属的正确润滑是必不可少的。事实上，无润滑的拉延是不可能的，在实践中，模具材料是在试用一种或多种备用的润滑剂后，再来选择的。如果产生了过分的磨损和擦伤，那么就要选用更好的润滑剂。对难度极大的拉延，在一开始就应当使用最好的润滑剂。

表44为用于不同金属材料 and 不同复杂程度的拉延的典型的润滑剂。润滑剂可按专名买到，并且，任何一个润滑剂供应商都能

表 44

拉延润滑剂

拉延材料	拉延程度		
	≤10%	平均25%	≥50%
铝及铝合金	纯矿物油, 粘度为100-s(a); 混以约10%猪油的矿物油	纯矿物油, 粘度为200-s~250-s(a); 混以约15%的猪油的矿物油	有EP添加剂——硫及其它的矿物油; 拉前(或续延前)在坯料上(或壳体上)涂肥皂或干腊
铜及铜合金	5%皂化液; 猪油和肥皂乳化液	混有硬脂酸或油酸的10%皂化液; 猪油和混以硬脂酸的矿物油	混以5%矿物油的猪油, 在坯料上涂肥皂或干腊
碳钢	矿物油, 粘度为250-s~350-s(a); 5%皂化液	猪油乳化液、矿物油和磺化油	磷酸盐干皂或干腊涂层
不锈钢	蓖麻油和肥皂乳化液	添加云母或氧化锌的蓖麻油	混有云母和锌白的煮沸的亚麻仁油; 混有干皂或腊薄的磷酸腐蚀剂

注: 当有一种以上的润滑剂时, 按效果的增加顺序排列。

(a) 在40℃时的粘度。

表 45

要求用类似的拉延模材料的薄金属板

薄金属板种类	最高硬度	要求类似的拉延模材料的金属
优质铝及铜合金拉延	HRF(a)64	各种铝及复合的铝合金板、铜及铜合金、锌及锌合金、银、白腊及蒙乃尔合金
优质钢拉延	HRB70 HRB75	碳钢、1008~1020钢 碳钢、1021~1030钢
奥氏体不锈钢	HRB95	301、302、304、305、308、

续表

薄金属板种类	最高硬度	要求类似的拉伸模材料的金属
		310、316和317钢、410和430 碳钢复合不锈钢；铜复合不锈 钢；在200~300℃下非变薄拉 延的镁；17-4PH、17-7PH和 PH15-7Mo不锈钢

注：(a) 约相当于HB58 (负荷500kg)。
推荐表44中描述的那些商业化合物。

表45列出三种基本的及与每种相应的其它几种薄金属板材料，在拉伸复杂程度相当的零件时，它们要求用同样的工具材料（正如表中指出的，软的有色合金要求的模具材料与用于拉伸薄钢板的模具材料不同）。然而，约1/4硬的冷轧有色金属合金，所引起的拉伸模的磨损几乎和优质钢一样。铁素体不锈钢引起的磨损速率和硬度相当的碳钢或合金钢是一样的。

二、特殊模具材料

拉伸圈 表46给出了表45所列的三种基本材料的拉伸和变薄拉伸不同直径、长度的杯形零件所用的典型的拉伸圈（包括凹模和支承环）材料。表46给出了由1.5mm厚的板料拉伸圆形和方形杯零件的三种基本生产批量数据。表46还给出了大方杯和大盘

表 46 用于方、圆形零件拉伸和变薄拉伸典型的拉伸圈材料
(零件图和尺寸见图40)

拉伸金属	拉伸零件的总数量 (件)		
	10,000	100,000	1,000,000
用1.6mm薄板拉伸<76mm的杯状零件 (零件1.2和3)			
拉伸优质铝 和铜合金	W1, O1	O1, A2	A2, D2

续表

拉延金属	拉延零件的总数量 (件)		
	10,000	100,000	1,000,000
拉延优质钢	W1、O1	O1、A2	A2、D2
300系列不锈钢	W1镀铬、 铝青铜	A2氮化、 铝青铜	D2氮化或D3、 硬质合金
用1.6mm薄板拉延 ≥ 300 mm的杯状零件(零件4和5)			
拉延优质 铝及铜合金	合金铸铁(a)	合金铸铁(a)、 A2镶块(b)	A2或D2镶块(b)
拉延优质钢	合金铸铁(a)	合金铸铁(c)、 A2镶块(b)	A2或D2镶块(b)
300系列不锈钢	合金铸铁(a)、 铝青铜镶块(b)	A2或铝青 铜镶块(b)	A2氮化或 D2镶块(b)
用1.6mm薄板拉延类似零件6的方杯件			
拉延优质铝 和铜合金(e)	W1	O1、A2	A2、D2
拉延优质钢(e)	W1	O1、A2	A2、D2氮化的 A2或D2
300系列不锈钢	W1铝青铜	氮化的A2、 铝青铜	氮化的A2或D2
用0.8mm薄板拉延类似零件7的大盘			
拉延优质铝 及铜合金	合金铸铁(a)	合金铸铁(a) A2圆角镶块(b)	氮化的A2或 D2镶块(b)
拉延优质钢	合金铸铁(a)	合金铸铁(a)、A2 圆角镶块(b)	氮化的A2或 D2镶块(b)
300系列不锈钢	合金铸铁(d)、 铝青铜	氮化的A2或铝 青铜镶块(b)	氮化的A2或 D2镶块(b)

注: (a) 磨损的表面用火焰淬火。

(b) 用火焰淬火合金铸铁。

(c) 对零件4需淬火, 回火; 对零件5需火焰淬火。

(d) 火焰淬火的磨损表面, 硬度不超过HB420。

(e) 拉延铝, 铜及钢时, 工具材料作圆角镶块用。

(f) 拉延不锈钢时, 镶块用于各个磨损表面。

的类似的数据。如表46涉及到的所有7种零件的结构尺寸如图40所示。这些方形零件都有大的圆角半径圆滑过渡，所以有满意的模具寿命。表46所列的工具材料以及本章提到的其它材料的成分和性能，在本书的其它章节里都可以见到。

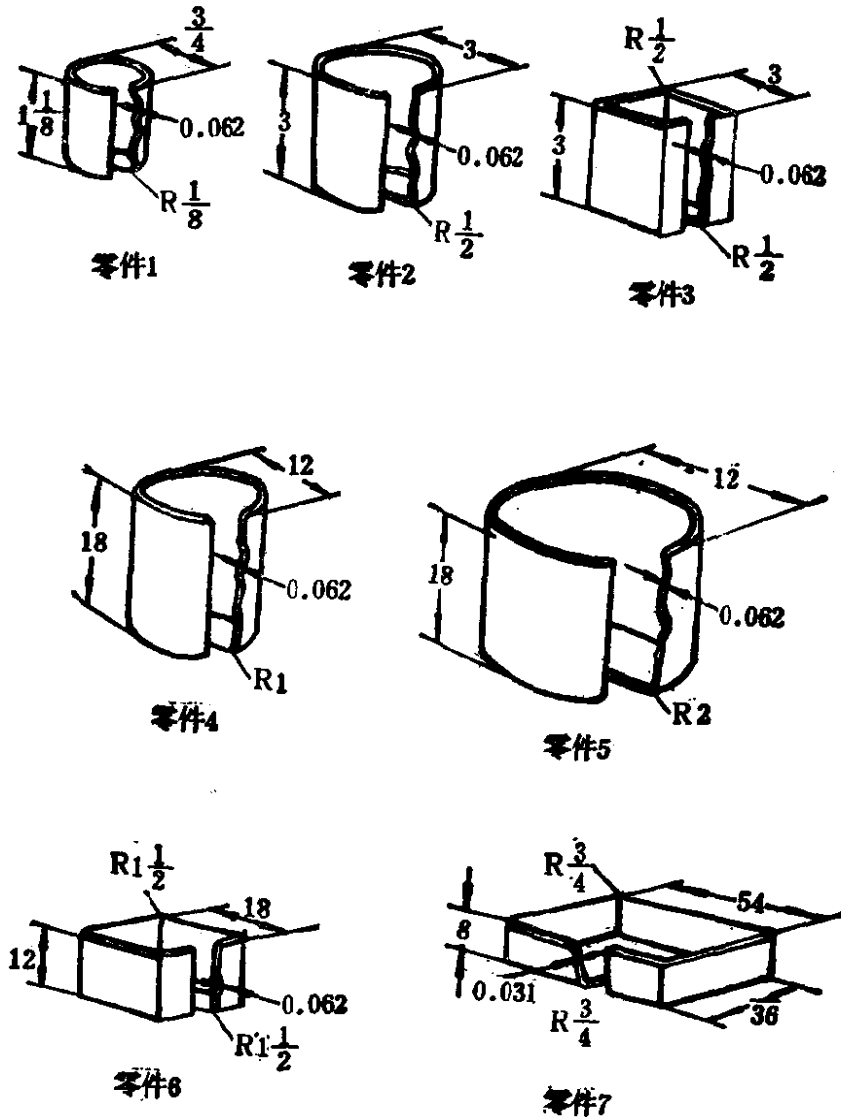


图 40 7种典型的拉延件

图中尺寸单位为英寸，若要化成mm时，用25乘图中的尺寸。
圆角半径按工业标准。典 的拉延材料见表46

改变被拉延的金属厚度时，对材料选择的影响 阐述在表47中。可以看出，在增加生产批量和加工金属的厚度时，要求极大地增加模具材料的磨损抗力。

表 47

用六种不同厚度的轧制薄板制造零件4时所用的拉延圈的典型材料

(零件图和尺寸见图40)

	钢的厚度		拉延零件的总数量 (件)		
	mm	1,000	10,000	100,000	1,000,000
0.4	合金铸铁 (a)	合金铸铁 (a)	合金铸铁 (a)	合金铸铁 (a)	合金铸铁 (b) O1, A2
0.8	合金铸铁 (a)	合金铸铁 (a)	合金铸铁 (a)	合金铸铁 (b)	A2, D2
1.6	合金铸铁 (a)	合金铸铁 (b)	合金铸铁 (b)	合金铸铁 (b), A2	A2, D2
3.2	合金铸铁 (b)	合金铸铁 (b)	合金铸铁 (b)	A2, D2	D2
6.4	A2	A2	A2	D2	D2
12.7	A2 (c)	A2 (c)	A2 (c)	D2 (c)	D2 (c)

注：表中推荐的工具钢，是在火焰淬火的合金铸铁中作镶块用的。

(a) 不必火焰淬火。

(b) 磨损表面火焰淬火。

(c) 在拉延12.7mm板时，用A2或D2镶块，要求压力机速度比拉延薄板料的压力机速度低，而且板是经过磷化处理的。

凸模和压边圈 凸模和压边圈(压力垫)或筒形压边圈(压力套筒)的典型材料如表48所示。用于拉延或变薄拉延图40中类似零件2~7圆形和方形钢杯的凸模及压边圈的材料列于表48。

表 48

凸模和压边圈的典型材料

(零件图和尺寸见图40)

模具零件	拉延零件的总数量 (件)		
	10,000	100,000	1,000,000
对类似零件2的圆钢杯			
凸模 (a)	渗碳的4140, W1	渗碳的S1, W1	A2, D2
压边圈 (b)	W1, O1	W1, O1	W1, O1
对类似零件3的方钢杯			
凸模 (a)	渗碳的4140, W1	W1, 渗碳的S1	A2, D2
压边圈 (b)	W1, O1	W1, O1	W1, O1
对类似零件4和5的圆钢杯			

续表

凸模 (a)	合金铸铁 (c)	O ₁ (d)	A2 (c) D2 (c)
压边圈 (b)	合金铸铁 (c)	合金铸铁 (e)	O ₁ , A2
对类似零件6和7的方钢杯			
凸模 (a)	渗碳的4140 (f)	W ₁ , O ₁ (d)	氮化的A2, D2 (d)
压边圈 (b)	合金铸铁 (c)	W ₁ , O ₁	O ₁ , A2

注: (a) 凸模镀铬是为了减少凸模和工件间的摩擦, 并有利于零件的脱模, 但是铸铁不能镀铬。

(b) 也用于筒形压边圈, 压力垫圈和压套筒。

(c) 不需火焰淬火。

(d) 凸模固定板是带有工具钢端部镶块的火焰淬火合金铸铁。

(e) 对零件4, 压边圈是经淬火回火的; 对零件5是火焰淬火。

(f) 凸模固定板是带有钢端部镶块的合金铸铁。

表 49 在各种缩减率时, 变薄拉延软钢板用的凸模和凹模的典型工具钢

变薄拉延缩减率, %	变薄拉延筒形件的总数量			
	1,000	10,000	100,000	1,000,000
变薄拉延凸模 (b)				
<25	W ₁	O ₁	A2	A2, S1 渗碳
25~35	W ₁	A2	A2, S1 渗碳	D2
35~50	A2	O ₂ , S1	D2	D2
>50	D2	D2	D2	D2
变薄拉延凹模				
<25	W ₁ (c)	O ₁	O ₁	D2
25~35 (d)	W ₁ (c)	O ₁	D2	D2
35~50 (d)	O ₁	D2	D2	D2
>50 (d)	D2	D2	D2	D2

注: (a) HRB<75的薄钢板或软金属。

(b) 所有的工具钢凸模均应镀铬至0.005~0.010mm厚, 以便使零件从凸模上脱模容易。

(c) 对这些作用场合, W₁淬硬至内部并回火到HRC60。

(d) 对大于25%缩减率的变薄拉延和数量大于10,000件时, 拉延圈必须镶入应力收缩环内。

高抗磨的材料不但用于拉延和变薄拉延硬或厚的材料，或用于大批量生产的模具，而且也用于为了达到较大的断面缩减率的变薄拉延模具。表49示为4种不同的变薄拉延缩减率时，用于小、中、大批生产的凸模和凹模的典型工具钢。

表50为反拉延钢制杯形件的凸模和凹模的典型材料。

表 50 反拉延钢制零件典型的凸模和凹模材料

模具零件	拉延零件 (a) 的总量			
	1,000	10,000	100,000	1,000,000
小的厚壁杯形件				
凹模和压力圈	O1	O1 (b)	A2 (c)	D2 (c)
凸模 (d)	4140, 6150	O1, A2	D2	D3
中、大的薄壁杯形件				
凹模和压力圈	1018(e), 4140	4140(f), O1	A2 (c)	D2 (c)
凸模 (d)	W1	A2	D2	D2, D3

注：(a) 无特定光洁度或公差要求。

(b) 经抛光和镀铬。

(c) A2、D2须氮化。

(d) 生产超过1,000件时，所有凸模需热处理至HRC60~62，抛光并镀铬。

(e) 经渗碳，淬火并抛光到一个精细的光洁度。

(f) 允许使用经渗碳和高度抛光的4140或6150。

三、对有争论的特殊应用问题的材料选择

磨损——严重的擦伤——是拉延模最常见的失效现象。通过选择硬的和抗磨损的材料；应用表面涂层，如对精加工的模具进行镀铬；采用渗碳或用碳氮共渗等表面处理，可减少模具的磨损。下列几段是对表46~50的补充。

擦伤 拉延模擦伤的原因是：

- 超过薄板金属临界极限的拉延；

装配不良，同心度差或相对于板厚度的模具间隙不足；

- 皱纹严重；
- 润滑不良或不足；
- 应用了对擦伤敏感的工具钢，制成模具未经表面涂层，或没有使用优质的润滑剂；
- 模具表面粗糙。

对小批量生产，渗碳的热轧钢或淬火的合金钢模具，在生产同等质量的零件时，往往可超过工具钢模具。但对于在变薄拉伸时缩减激烈，或如奥氏体不锈钢那样的易擦伤的拉伸材料则是例外。这些例外是不足为奇的，因为工具钢模具在同样的情况下，也是会被擦伤的。当模具有高的表面光洁度，并且研磨痕是平行于拉伸方向时，模具可以获得最高的寿命。

抗擦伤的材料，可按以下原则选择：

- 对于碳钢或有色金属合金板的拉伸件，其模具材料可不考虑擦伤性能，只需在精加工后，进行氮化或镀铬。对含铬和钼的A2、D2、D3或D4的工具钢，其光磨模具应进行氮化，然后抛光或研磨。

- 对不锈钢、高镍合金钢的拉伸，拉伸圈最好的抗擦伤材料是铝青铜，其次是经磨加工、氮化、抛光的D2、D₃或D4钢，再其次是淬火并回火到HB400~420的合金铸铁。

镀铬 镀铬被用于延长工具钢拉伸圈的使用寿命。至于凸模，关键是减少摩擦力和使零件从凸模上的脱模方便。镀铬通常可改善凸模的寿命，但不如改用最好的工具钢作为凸模材料。

为了有效地提高模具性能，镀铬必须在硬度高于HRC50的表面上沉积，镀层厚度应为0.005~0.01mm，而决不能小于0.002mm。这样可以达到要求的硬度，并可减少摩擦系数，而不会引起在拐角处激烈的擦伤或剥落。镀铬后应立即加热到

150~250℃，进行不小于3小时的除氢脆处理。

复合工序 三十年来，先进的复合工序获得了广泛的应用。其中一种是拉延和压印复合，另一种是连续拉延的复合或串联拉延（或变薄拉延）工序的复合。后者的复合被称为双拉延或双变薄拉延。复合工序的发展也促进了模具材料的发展，如拉延钢的更好的选择，模具结构和模具管理上的改进，特别是磷酸锌和皂化液表面处理的改进。

采用双缩减工序可增加生产，减少了工序数，但同时大型压力机要求有大量投资。另外，拉延和变薄拉延模具也就更需要高抗压和耐热的工具钢。

双拉延和双变薄拉延可把两个凹模串放在一个工装里成功地进行操作，凸模把杯形件压入通过一个凹模后，在热态下直接进入第二个凹模。所用的凸模要比普通拉延的长些，同时，由于细长，用S1工具钢为更好。模具的材料，除了在第二道工序中，由于温度高而限于选用A2，D2工具钢外，其它和单工序时一样的。有高抗回火性能的钢，可以经受住由于在增加工件的塑性变形时所产生的高温的影响。

硬质合金 硬质合金镶块广泛地用于大批量生产的拉延模。在截面小于200mm、连续生产超过100万件拉延件的模具中，在许多例子已经证明，硬质合金是最经济的模具材料。这种模具采用60%缩减率时，拉延零件达50万件仍可保持尺寸；当拉延零件的材料表面经磷化锌和肥皂液处理，并采用缩减率大于40%，则可以生产100万工件。但是，当润滑不良时，硬质合金模具不能获得满意的结果。而且，在复杂的拉延工序里，（例如在拉延与压印或成形复合时及拉延缩减率大于40%时）。硬质合金模也不优越于D2工具钢模具。

常用作拉延模的镶块，是有着正常颗粒、含钴9%的碳化钨硬质合金。钢结硬质合金也用于拉延模具。

塑料 对小批量生产，特别是当样机零件适用于塑料浸渍玻

玻璃纤维敷层面作模型时，塑料是最经济的模具材料。它是以断碎的玻璃纤维浸渍50%的树脂为背衬的。在这些树脂中，聚酯、环氧树脂、酚醛树脂和尼龙等已经被使用。呈现出最高寿命的塑料模是以玻璃纤维为磨损面的那种结构，而玻璃纤维的大多数在固化前和固化过程中在压力下可被压出。

塑料只在极小批量的生产中，才被用作压边圈，因为毛坯的毛刺边在滑过塑料面时，会发生严重磨损和拉出半圆槽。

锌合金模具 由于锌合金很软，因此，所制造的模具仅作小批量、大直径薄壁零件的拉延用（不适用变薄拉延）。在不易产生皱纹的情况下，锌合金模具可以很好地把良好润滑的坯料拉延成直径300mm或更大直径的零件。

第九章 强力旋压工具材料的选择

旋压是一种无切削加工。它是由一平的或预成形的坯料，借助于一成型工具或辊轮，将旋转中的坯料紧压在旋转的芯模上，最后成形一个通常为圆形或圆锥形的薄壁筒件。严格地讲，旋压包括用轻级薄板制成的炊具和乐器等这样的应用。这里可以用或不用芯模，而且成型工具甚至可以采用木质制成。在本章讨论中，我们仅考虑这样的应用，即由动力驱动的滚轮将工件的轮廓成形同时，将坯料紧压在芯模上，减薄工件金属的厚度。这类旋压通常称为强力旋压。图41表示从一平圆盘料强力旋压成一锥体的典型工具装置。

强力旋压的工具包括一个具有适当形状的芯模和多个滚轮（工具环）。通常，二或三个滚轮等距分布在机床头架周围，以

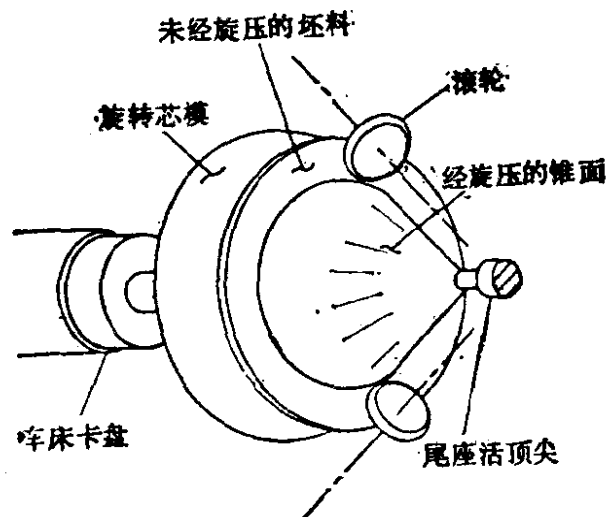


图 41 由平圆板强力旋压成一锥体的典型装置

圆盘金属片受平行于芯模表面滚动，并在坯料上产生2800MPa压力的作用下，沿水平方向塑性变形。坯料厚度 t 与加工完成后锥体壁厚的关系由等式 $t_1 = t \sin \alpha$ 表示。式中 α 是锥体顶角的1/2。锥体的最大直径等于坯料的直径。

减少作用在头架上和在芯模上夹持坯料定位的顶尖上的反作用力。这种装置减少或消除了作用在芯模上的弯曲应力。

一、工具材料

对芯模材料的要求是不严格的，显然，它的抗压强度必须大于被旋压的材料。就大多数应用来看，如4140合金钢淬硬到HRC 50~55或经过硬化的合金球墨铸铁都是令人满意的。对大批量生产，用A2型工具钢制成的芯模是很典型的。很少要求稀有的芯模材料。

对滚轮所用的材料要求比较高得多。典型的旋压滚轮的损坏途径：包括摩擦磨损、粘焊磨损、表面疲劳和剥落、热网裂和断裂等。选择滚轮用典型材料——按耐磨性的增加顺序排列——包

括A2、D2和D3工具钢。

A2和D2是二次硬化后在510~540℃范围内回火到HRC61。D3型在200℃回火到HRC63。钛合金零件常需在热态下成型；用于这种场合时，常选用M2，M4高速钢滚轮。

滚轮轮廓的恰当结构可以减少滑动接触速度，从而减少使用中的热冲击。图42为各种不同的强力旋压用的典型滚轮结构型式。

按性能的增加顺序，

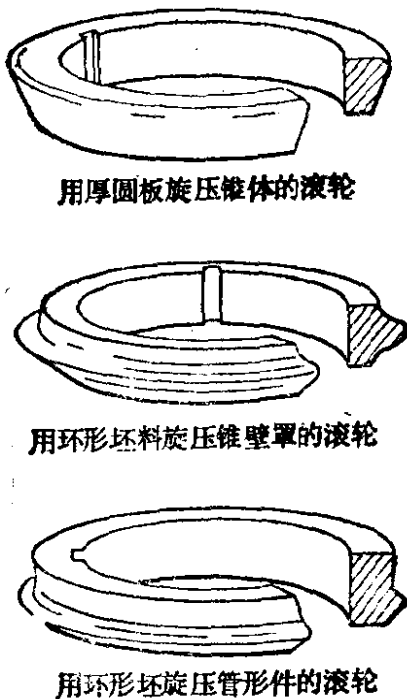


图 42 三种类型的强力旋压滚轮
典型的滚轮尺寸是350mm(外径)×
250mm(内径)×65mm(厚)

旋压滚轮可以用静浇铸、离心浇铸、墩锻及环形滚锻法制造。静浇铸一般不希望有枝晶间收缩及碳化物偏析。离心铸造往往没有收缩性的疏松，但可能含有晶粒界碳化物。在墩锻与环形滚锻中，热加工提炼网状碳化物，而且环形滚锻还得到了各向同性的晶粒取向，其结果得到了最佳的工具寿命。

二、表面的完整性与表面光洁度

旋压滚轮会遇到极高的高频接触应力，为此经精加工的滚轮表面的完整性至关重要。在热处理过程中，防止滚轮脱碳和渗碳是十分主要的。脱碳的结果是使表面软化，也就是抗压强度减低。另一方面，经过渗碳的表面，供此用途又太脆。高铬工具钢如D2和D3是很容易渗碳的，用于低铬钢的中性炉内气氛可对同样含碳量的高铬钢进行渗碳。

如果经精加工的滚轮具有所要求的表面特性，那么它们在投入使用之前必须经过磨削和抛光。必须仔细控制磨削，以便防止冶金方面再受到损伤和减少表面的残余拉应力。建议在粗、精磨加工之间以原来的回火温度再次回火以消除滚轮应力。磨损的滚轮经粗磨后也建议再回火以消除应力。

精磨后应再抛光。有一个制造厂将滚轮放在车床上转动，用浸有 30μ 金钢砂研磨剂的毡块研磨使表面光洁度达到 $0.2\mu\text{m}$ 均方根值。

对已经完全硬化的旋压滚轮，以陶瓷刀代替研磨和抛光是另一种成功的加工方法。用陶瓷刀加工会使滚轮表面引起相当大的残余压应力，其结果延长了使用寿命。

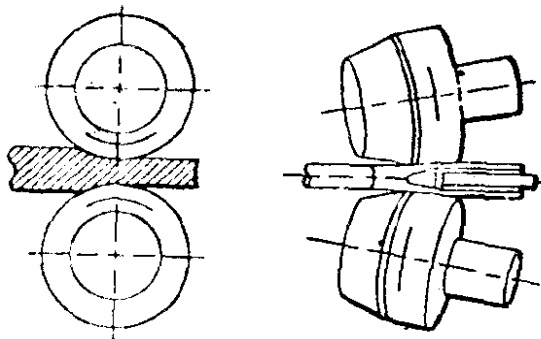
第十章 金属加工的轧辊

材料的选择

轧辊用来减少金属的截面或改变其形状或两者兼而有之。圆柱形轧辊系放在轧机内用轴承支承,对它产生向下螺旋压力。轧辊朝相反的方向旋转,金属棒、板或薄板纵向通过其间,如图43(1)。斜置轧辊用于制造无缝管或平直圆棒如图43(2)。斜置轧辊还用来扩宽坯料(以供制造宽阔薄板或板材制品);以及用来作为生产显微组织更均匀的产品。

金属可以热轧或冷轧,它可以减少截面或改变形状并使金属延伸。为了减少摩擦,保持轧辊表面并控制轧辊形状,可以采用冷却剂或润滑剂。

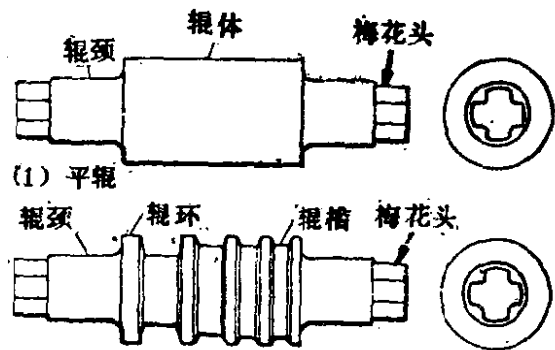
轧辊零件 轧辊的主要部分是位于中间的、较大的工作部分,它被称为辊体。直径较小的两端称为辊颈或轴颈,而它的驱动端则称为梅花头。在现代轧机中,梅花头可用键槽、花键或扁平铲状端部来取代。轧辊的辊体便是真正轧制金属的部分,辊颈或轴颈便是装轴承的地方,梅花头或驱动端便是传递扭矩的部分。



(1) 平置轧辊

(2) 斜置轧辊

图 43 金属加工用轧辊的典型装置



(2) 槽辊

图 44 金属加工的轧辊的主要零件

图44(1)为用于两辊轧机轧制板材的平面辊体。图44(2)为轧制型材的带槽轧辊。在带槽轧辊中，金属在通过槽或轧道时被压缩，用来分隔开轧道的隆起部分称为辊环。

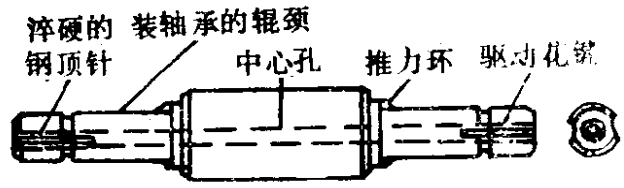


图 45 用于轧制板材的四辊轧机的锻钢工作辊

图45为用于轧制扁平产品的四辊轧机的平面轧辊。

轧辊的种类

轧辊可以按所轧制产品的种类来分类（开坯轧辊、板材和板坯轧辊、钢坯和棒材轧辊、型钢轧辊、管材轧辊、薄片轧辊和板条轧辊）。轧辊又可以按轧机的顺序位置来分类（粗轧、粗选和中间轧、过渡轧、小型轧机、中间轧、多辊型钢、精整和精轧轧辊。另外还可

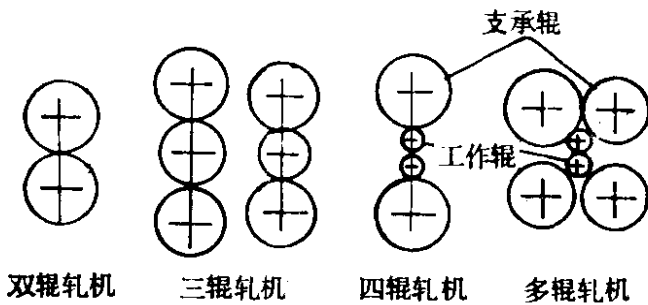


图 46 双辊、三辊、四辊及多辊轧机轧辊的布置方式

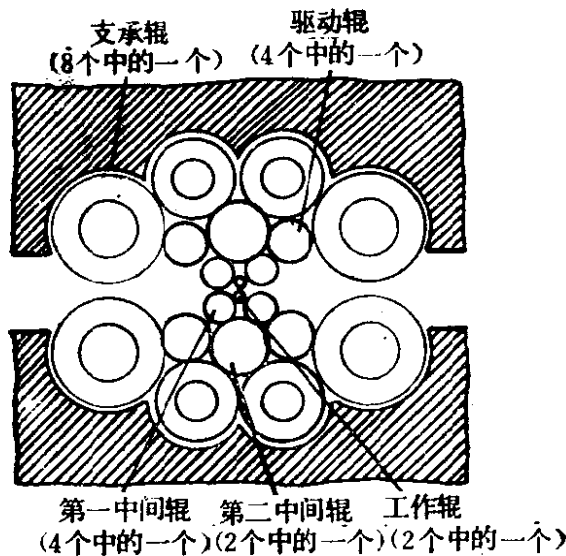


图 47 森氏极薄钢板多辊轧机的轧辊布置方式

按轧辊的功能来分类（去皮、穿孔、平直、表皮光轧和研光轧辊）。

轧辊在轧机机架上的布置 放在轧机机座内的轧辊有两辊、三辊、四辊或多辊的布置方式(图46)，或者以如图47所示的更复杂的“Z型”森氏极薄钢板多辊轧机的布置方式。除了两辊和三辊外，并非所有轧机都是和工作金属相接触的，有些只不过对工作轧辊起支承作用而已，不管轧辊的布置如何，与被加工金属相接触的轧辊称之为工作轧辊；起支承工作轧辊并防止它们在负载下弯曲的辊称为支承辊。

一、轧辊的要求

抗磨性 在使用中轧辊损坏的主要原因是磨损，轧辊的表面受损会使被加工金属的截面超出了规定的公差。磨损主要是由于金属与轧辊表面的相对运动，又在高负荷下互相压紧所引起的摩擦与磨耗所造成的。辊体工作面上的磨损，划伤或刻痕会使被加工的金属打上印记，严重地影响到它的外形及机械公差。有没有通用指标用来决定轧辊抗磨性。由于没有较好的指标，只好用硬度来表示。但轧辊的成分也应予以考虑。

合适的硬度规范的选择是以轧制的方式、经验或操作要求为基础的。辊体的硬度必须相当高，以保持表面的经济运行。轧辊的硬度受到韧性、震动、强度及抗烧裂和表面龟裂要求的限制。

轧辊的硬度通常用C型肖氏硬度计测定。这是一种可携式的仪表，可以快速地决定硬度而使轧辊表面留下最少的痕迹。对轧辊作洛氏硬度试验时也可以把轧辊放到一台标准的洛氏硬度计上进行。

各硬度计之间的大致关系，肖氏、洛氏与维氏硬度数，可查阅ASTM E140和A427。应该注意到锻钢轧辊的肖氏硬度数

(HFRRSc) 如同在ASTM E448中所说明的那样, 要比常用的肖氏硬度数 (HSc) 为高。在市场上还供应其它各种测量轧辊硬度的硬度计, 由这些硬度计所指示的数值与肖氏硬度计所指示数值之间的相互关系都曾经测定。

强度 轧辊应能承受它在运行中所受到的由于弯曲所引起的断裂、扭转和剪切应力。通常粗轧比精轧需要更高的强度。对某种用途, 足够的强度视成分、热处理及没有内部缺陷而定。

尺寸大小、热处理、结构和加工条件对所有轧辊在某种程度上存在的残余应力有重要影响。在使用中有高残余应力的轧辊会由于不寻常的震动或是快速的或是轧机受热不均匀更易于断裂。表面下的强度对抗散裂是必要的, 它们发源于表面的下面, 然后向外扩展, 直至有一块从表面剥落。

为了抓住金属材料, 以及通过轧机对金属开始轧制, 辊齿是必要的, 对大的压下量辊齿是特别重要的。普通的辊齿和轧辊的直径有关, 它与直径成反比。将轧辊表面搞得粗糙些可以增加咬入量, 这种使轧辊面粗糙些的作法, 称之为“轧辊刻纹”, 方法可在轧辊表面喷丸, 磨削或切割纵向槽或焊上几道线纹。

对轧制扁平产品轧辊的表面光洁度, 即可按轧机运行中所要求的特性, 或将一种花样复制到被轧的产品上, 或使被轧的产品表面光洁。为了复制花样或使表面光洁, 根据不同的要求, 将轧辊精车、磨削和抛光到镜面, 用喷丸法使表面成无光光洁度或压印花样或浮雕花样。如果高表面光洁度十分重要, 那么轧辊表面必须要磨削, 然后抛光、研磨到高亮度, 而且不许有表面的瑕疵, 轧辊表面的平滑度以百万分之一英寸均方根值来表示和量度。对于获利的生产, 为了保持表面光洁度, 轧辊高硬度是必要的。

轧辊的刚性对取得轧辊表面最小的弯曲 (或回弹) 是十分重要的。为了保证更均匀的厚度公差, 这对轧制扁平产品如厚板,

薄板和板条更为重要。对某一给定的直径，钢轧辊比铸铁轧辊有高的刚性，但钢轧辊的硬度对它的刚性没有影响，因为弯曲主要决定于弹性模数，它对硬的或软的钢材是一样的。大直径短轧辊比小直径长轧辊弯得少些。轧辊的中间隆起（轧辊直径的中间面比它的两端隆起一些）会减轻回弹并使轧制品比较平些，但由于这种隆起办法仅在某种厚度、硬度及截面宽度的综合情况下才是正确的，所以这种补救办法的应用受到一定的限制。

轧辊的设计 除了带槽轧辊的辊道和辊槽是由轧辊使用车间设计以外，一般轧辊均由轧机制造厂或工程公司设计的。轧辊的各部分尺寸比例，视用途和轧机的结构而定。在需要用斜置轧辊时，被轧金属的宽度或坯料的长度决定了辊体表面的宽度，为了提供所需的辊齿及辊道角度以便完成轧压并为了提供足够的材料以抵抗轧辊挠曲和断裂，据此选择辊体的直径。直径较小的轧辊，由于工作金属的分布面较少，对某一压延所需的轧制压力、分离力和功率也较小。在设计带辊槽的轧辊时，深槽应离开中心越远越好，使其所处地位受到的弯矩最小。

轧辊的大小通常用辊体直径和辊体长度的顺序排列来表示，例如 $600 \times 1200\text{mm}$ ，表示辊体的直径为 600mm ，长度为 1200mm 。对用于成型加工用的轧辊，所给的直径是名义或节圆直径。

轴颈或辊颈的尺寸决定于所施加的弯曲负载和轴承的设计，从辊体到辊颈直径的突然变化，加剧了这个部分的弯曲和扭转应力。为了防止断裂，辊颈直径与辊体直径之比越大越好。供各类轧机用轧辊的辊颈与辊体直径的最小安全比见表51。安全比与轴承的种类、轧机的型式和使用条件有关。不论何种情况下，辊颈直径不得小于辊体直径的50%。

使用不当 轧辊在使用中很容易断裂或损坏。造成故障的主要原因有轧机损坏、过载、擦伤、夹带圆石块和尖物。被加工的金属会卷在辊子上或进入不对的辊道内或出现火裂，被轧的金属

可能太冷或温度不均，如果经过加热的被加工金属在轧辊之间被夹住，则会引起轧机的严重损坏。在遇到轧机损坏时，要把轧辊从轧机上取下来，在受控情况下让过热区冷下来。在初安装后或停机后，轧辊可能受热太快，由于温度分布的梯度不太理想，在膨胀力的作用下形成破裂。

表 51 辊颈与辊体直径的最小安全比

应 用	辊颈与辊体直径比
粗轧机	0.50~0.55
薄板与白铁皮轧机	0.76~0.80
带料轧机：	
工作轧辊	0.60~0.65
支撑轧辊	0.55~0.65
商品条钢轧机	0.6~0.67
厚板轧机：	
中间轧辊	0.60~0.70
上层与底层轧辊	0.65~0.72
结构钢轧机	0.57~0.65
连续棒料轧机	0.70
通用轧机：	
立式轧辊	0.57
冷轧黄铜：	
粗轧	0.775
精轧	0.72~0.75

在冷轧时，被轧钢片会断裂或折迭起来，通过辊道形成多层厚度。棒、条在轧辊间滑过，在轧辊表面会产生很高的局部摩擦热或热网裂，有时由于这种失误所引起的轧辊的真正事故还是等后来才发生的。在轧辊的磨削或重磨中，采用不恰当的工艺方法会引起严重的损害，特别是对经过淬硬处理的轧辊。轴承润滑不足会形成热网裂、开裂或辊颈的过度的刻痕。

轧辊材料 供轧辊用的三种主要材料是铸铁、铸钢及锻钢。

偶而也用硬质合金，特别是用于棒料精轧的小轧辊。

二、铸铁轧辊

铸铁轧辊在浇铸状态或消除应力后使用。某些高合金铸铁轧辊在保持高温下热处理后，接着再进行几次较低温度下的热处理。用于轧辊的铸铁是暂时稳定的，可以是白口铁或是灰铸铁，视其成分，夹渣（如果有的话），冷却速率或其它因素而定。由于存在着许多因素，所以要确定转换图是复杂的。

要得出能广泛满足各种轧机要求的恰当的技术规范是十分复杂的技术工作。例如提出有关辐向硬度的深度，轧机的制造厂必须考虑各个轧机所提出的对设计的要求。正因为这些原因，所以每一轧辊必须要制作成适合于它所需要的用途，在制造厂与用户之间必须紧密合作，以便取得最大的轧辊寿命和良好性能。

按美国习惯，铸铁轧辊可以分为①激冷铸铁轧辊。②砂型铸铁轧辊。③软面铸铁轧辊。④球墨铸铁轧辊及⑤复合轧辊。

激冷铸铁轧辊（硬度HSc50~59）具有一种定界形式、纯净的、均匀的激冷白口铁的辊体表面，在激冷表面与内部灰铸铁之间有一层十分清晰的分界线，清洁的激冷铸铁轧辊可以是非合金或是合金的，如表52所示激冷的深度可用目测，即自辊体的加工表面到初次出现石墨斑点之间的距离，再往下就有一个灰白铸铁混合的区域，称之为麻口铁，然后变得越来越灰和更多的石墨，直至它与主要灰铸铁结合构成了辊心。

合金激冷铸铁轧辊的硬度范围在HSc60~90之间，主要由碳素及合金成分来控制，习惯上最大的合金元素的百分比为1.25钼，1.00铬和5.5镍，可以有许多不同的组合以便生产出所需的性能。这类轧辊，特别是较硬的这一类主要用来轧制扁平的工件，有冷轧也有热轧。比较软的、可加工的一类，是用来轧制棒料和小型钢。

表 52

铸铁轧辊的应用

轧辊类型	应 用
激冷铸铁轧辊:	
非合金 (HSc50~72)	薄板轧机、马口铁轧机、两辊和三辊板材轧机和杂用轧机的热、冷轧辊;四辊热轧带钢轧机以及条钢、商品型钢、薄板、棒料和制管钢板轧机的中间和精轧的湿或干的工作辊
合金铸铁 (HSc60~69)	黑色金属、有色金属、橡胶、塑料和造纸工业中的薄板和带钢轧机、双辊和三辊板材轧机和多用轧机的热轧辊;四辊热轧带钢轧机的工作辊;薄板、棒料、制管钢板、带钢和商品型钢轧机的精轧工作辊;精轧黑色金属、有色金属、板材和带钢的冷轧辊
砂型铸铁轧辊 (HSc40~90),	
低硬的	供小型商品型钢和棒料轧机轻负荷初轧辊之用
中硬的	供商品型钢和棒料轧机以及供大型结构钢轧机作中间轧辊之用
硬的	供商品型钢、棒料和结构钢轧机作精轧辊;供薄板、棒料、制管钢板的校平精轧辊、轧管机的定径、高速轧、均整和焊合轧辊
软面铸铁轧辊 (HSc35~45)	小型轧机的初轧和大型结构钢轧机精轧用的中等负荷轧辊
球墨铸铁轧辊 (HSc50~80)	供棒料, 商品型钢轧机, 轧管机和其它各种用途轧机的初轧及中间轧辊

砂型铸铁轧辊为“不定型激冷”铸铁轧辊(硬度 HSc40~90), 辊体上具有激冷的外表面, 表面上分布着很细的石墨, 并随着离表面距离的增加石墨含量及石墨斑片的大小逐渐增加, 而硬度相应降低。这些轧辊在相当深度范围内具有高的抗磨性并具有良好的表面光洁度。较硬的类别用于冷、热精轧扁平制品; 而较软的类别是用来轧制断面很厚的制品(即使是小轧辊)。通常

加入合金元素有铬、镍和钼，或单独加或几种拼在一起的，以得到与激冷铸铁轧辊所规定的程度相似的硬度和韧性。

软面铸铁轧辊(无激冷，硬度 HSc35~45)是在砂模中铸出来的，与激冷的铸铁轧辊和砂型铸铁轧辊相比较，而后者的辊体直接铸成激冷。在软面铸铁轧辊中，在辊体槽内的金属可用铸铁环作为内冷铁放在沙型内使其轻度地硬化。软面铸铁轧辊主要用于轧制大型型钢轧机的中间轧与精轧，它们也在初轧机上作粗轧之用。

球墨铸铁轧辊(硬度 HSc50~65)是由有限成分的铸铁组成，在受控情况下加入镁或稀土金属，在固化过程中使石墨形成球状体而不像灰铸铁所共有的片状石墨，结果所得出的铸铁的强度和韧性介于灰铸铁与钢之间。

复合轧辊，有时称为双浇铸轧辊(硬度：辊体 HSc70~90；辊颈 HSc40~50)，这类轧辊的辊体表面是由贵重合金、抗磨的硬性铸铁制成，而辊颈、梅花头以及辊体的中心区域则为较韧性的和较软的材料。在浇铸时，金属牢固地结合在一起形成一整体结构，这样便产生一个高硬度的抗磨表面，同时还带有韧性的辊体和辊颈，因此复合轧辊对承受冲击和热应力的场合是有利的。轧辊外表面可能是激冷的或是粒面的。复合轧辊主要应用于四辊冷轧和热轧带材或板材轧机的工作辊；在轧制有色金属方面，主要用于带材和板材的热开坯和冷轧。

制造 供轧辊用的铸铁，虽然烧煤粉的空气炉或是烧油、气的平炉也可以冶炼，但大多数铸铁均无芯感应炉或电弧炉内冶炼。铸铁轧辊是垂直浇铸的，金属自模具底部切向进入。由于融化铁水旋转的结果，使所有溶渣都在中心集中而外部的金属比较纯洁。辊颈是用砂模制造的。视应用情况的不同，辊体可以在①轻套的铸铁激冷圈或②含有铸铁半激冷圈的砂模内铸成。

在铸造复合辊时(双浇铸)，把壳体所需的金属成分融化并

留在模具内，直至外层有一适当厚度凝固层，然后通过同一浇口注入芯部所需的金属，并把仍留在模腔内的体部和颈部尚呈融化状态的金属排挤出来。这样制成的轧辊，具有可加工的颈部和硬的抗磨损表面。

另一种方法是在模腔的最底部装一滑动闸阀，当外壳的金属凝固到适当厚度时，打开滑动闸阀，放出多余的液态金属，然后在模具内注入芯部金属，这种方法也有称之为“抽水”铸造法。

用于制造复合轧辊的另一种方法是采用垂直的或水平的离心浇铸法，把适量的外壳金属浇到有耐火材料保护的金属激冷模内，当金属受到60“G”或更大的作用力下开始凝固。

三、铸钢轧辊

铸钢和铸铁不能在含碳量的基础上严格地加以区分，通常在铸铁的组成中在未激冷部分产生游离石墨，而铸钢则没有。

较硬的合金铸钢轧辊所具有的硬度与较软的铸铁轧辊相当，但铸钢轧辊的优越强度性能，常得到选用。

成分 合金钢轧辊几乎彻底取代碳素钢轧辊。大多数合金钢轧辊的成分居于下述范围以内： $0.40\sim 2.60\text{C}$ 、 $\text{S}<0.12$ ，通常最大为0.06、 $\text{P}<0.12$ ，通常最大为0.06、 Mn 最大为1.25、 Cr 最大为1.50、 Ni 最大为1.50和 Mo 最大为0.60，较高的含碳量可提高硬度和抗磨性。有些轧辊有较高的合金成分，但都是属于特种用途。

制造 钢轧辊是用平炉或电炉炼成的钢浇铸的。钢在砂模中浇铸，在砂模中也可放些金属激冷块以便轧辊的某些部分更快地凝固。对所有各种钢轧辊，规定各种各样复杂的热处理，包括磨损表面的感应淬火以符合各种使用要求。

应用 铸钢轧辊按含碳量分类。这些轧辊一般应用见表53。

该表并没有严格的分类，因为各轧机之间的区别很大。为了满足个别条件，通常要调整含碳量和合金含量。

表 53 铸钢轧辊的应用

含碳量 (%)	应 用
0.50~0.65	用于强度是主要的，并且是唯一的要求
0.70~0.85	初轧轧机；零批、中板、薄板轧机粗轧；废料轧机
0.90~1.05	初轧轧机；厚板轧机；连续轧制棒材的粗轧；支承辊
1.10~1.25	初轧轧机；厚板轧机（很少破裂）；穿孔机；钢坯、棒料、钢轨和结构钢轧机的粗轧
1.35~1.55	钢轨轧机的中间轧；结构钢；连续钢锭和连续棒料轧机的中间轧
1.60~1.80	连续棒料和钢锭轧机的中间轧；三辊轧机的中间轧辊
1.85~2.05	轨钢和结构钢轧机的中间轧辊；当外壳的设计作铸铁轧辊受到限制时，用于精轧辊
2.10~2.60	在不平常条件下的精轧辊
2.65及以上	特殊应用

四、锻钢轧辊

经过淬硬的锻钢轧辊主要用于冷轧各种成卷薄板和带料金属，用于冷轧时需要非常高的压力，并且锻钢轧辊对冷轧有足够的强度，表面质量和抗磨性。由于锻钢轧辊有较高的弯曲强度，抗金属粘着，所以有色金属热轧机优先选用锻钢轧辊而不选用铸铁轧辊。

型式和设计 锻钢轧辊的表面通常是平的。尺寸公差和同心

度要求很高，它们的大小范围很广。从几公斤到 45000 公斤，在制造时，在大型轧辊的中心镗孔，供热处理及检查之用。新设计发展了一种带锥度的轴承，上边钻有若干孔以便装一种特殊的滚柱轴承，并较大的利用了全部淬硬的、供滚柱轴承直接接触用的轴颈。锻钢轧辊用来供工作轧辊、支承轧辊、辅助轧辊及特殊轧辊之用。

制造 锻钢轧辊系从碱性电炉或酸性平炉冶炼，它是在尺寸形状适当和起皱的大头朝上的钢锭模型内铸成的，所以在锻造后，可以得到所要求的结构和晶粒。新发展采用自耗电极法进行真空融炼和用真空铸造法将钢锭真空除气。在真空融炼过程中，钢锭的大小受到限制。而在真空铸造中这些限制是不存在的。真空融炼产生最纯净的钢材，对于轧制箔片或要求没有一点斑痕表面的其它产品是十分有价值的，但所增加的费用常常过高而使人不敢多用。

成分 最常用的锻钢轧辊（有时称为常规轧辊钢）的成分平均含 0.85C，0.30Mn，0.30Si，1.75Cr 和 0.10V，有时在这基本成分上再加约 0.25Mo，而 Cr 的含量是可变动的，以取得所要求的特性。供轧制有色金属时，常选取含 0.40C 和 3.00Cr 的锻钢。在森氏极薄钢板多辊轧机中，工作辊和第一，第二森氏极薄钢板多辊轧机的中间支承和驱动轧辊通常用的是含 1.50% 或 2.25C 和 12.00Cr（D1 或 D4）的高碳高铬钢；对更苛刻的使用条件，采用 M1 含钨高速钢。采用粉末冶金工艺制成的高合金工具钢，如 CPM10V 新合金钢具有接近于硬质合金的抗磨性，因而使它在某种特殊锻钢轧辊的应用中颇有吸引力。CPM10V 的成分是 2.45C，5.25Cr，10.0V 和 1.30Mo。

硬度 为了取得圆满的使用性能，选择恰当的辊体硬度是十分重要的。硬度的范围随各种用途而有所不同，是与轧机使用部门共同决定的。大多数锻制轧辊均经热处理到高硬度，但为了某种特殊目的，硬度值可降低。由于它们的高硬度，经过淬硬的钢

轧辊需要在运输、存放、轧机修理和磨削中予以注意。

轧制薄带材工作辊的硬度平均约 HSc95；对轧制较厚带材时采用较低的硬度。在平整和精整轧机中，工作轧辊的硬度有时高于 HSc95；对特种应用场合，如薄片轧辊可达 HSc100；在有色金属轧制中，特别是铝板轧机，工作轧辊的硬度达 HSc60~80，支承轧辊的硬度在 HSc55~95 之间；这里高的数值是供小型轧机和薄片轧机轧辊用的。

对森氏极薄钢板多辊轧机，习惯上用 D1 和 D4 制成的工作辊的硬度是 HRC61~64；对高速钢轧辊 HRC64~66，中间辊的硬度是 HRC50~85。

仅仅是锻钢轧辊的辊体部分是淬硬的。辊颈部分（除直接接触滚柱轴承的外）是不淬硬的，对与滚柱轴承接触的轴颈规定最低硬度为 HSc80。按正常方式，锻钢轧辊的辊颈硬度在 HSc30~50 之间。

五、套筒式轧辊

在某些热轧带材和冷轧机中，采用锻造和淬硬的套筒式支承辊已经很普遍。因为这样的轧辊较经济。套筒式轧辊如图 48 所示，套筒轧辊的外套是用高级合金钢锻造的。铬——钼——钒和镍——铬

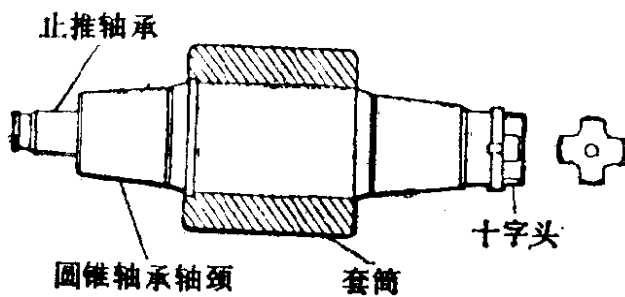


图 48 套筒式支承辊

——钼——钒是经常采用的成分，套筒或在油或水中淬火，然后视用途不同回火到硬度 HSc50~85。

套筒的心轴可以是报废的铸铁轧辊（它的直径已经磨损小于可用的范围，或是专门用来作为心轴的新铸件，或是用一个新的合金钢锻件。

心轴的外径和套筒的内径均经精密加工并磨到热压配合，装配时将外套加热使它膨胀到所需尺寸，然后套在心轴上或将心轴插入套筒内。装配时心轴处于垂直位置，采用一种锁紧装置防止套筒作横向串动，在套筒装好后作最后机加工。

在冷和热轧制中的恶劣工作条件下，锻造的套筒提供了硬的、质地稠密的、抗剥落所需的表面。这类轧辊的另一经济优点，是它的心轴可以重新加套四、五次。

六、其它锻造轧辊

在与轧机有关的、从事于加工和传送的设备中常用到校平轧辊和压紧轧辊等辅助轧辊。这种轧辊的特征是细长型，它们是由锻造或轧制的52100钢或经过渗碳的这类钢制成，然后热处理到硬度约为HSc95，各类平直机上所用轧辊常设计成套筒式。一个轧辊的辊体形状可能是中凹形的，与它配合的轧辊则是平直的，可采用锻钢轧辊的标准材料成分，辊体可以淬硬到HSc85~90。

七、硬质合金轧辊

在多种轧机中和在品种繁多条件下，已采用硬质合金轧辊制金属。它们可用于热轧或冷轧，其尺寸大小为6~400mm，剪切机及切边机上的轧辊也已采用硬质合金。

在丝和薄板的平辊中，硬质合金可制出极为光滑的表面。在轧薄板中，硬质合金轧辊的刚性和尺寸的稳定性，使轧成的材料沿宽度方向厚薄均匀，硬质合金轧辊比铸铁或铸钢轧辊可以运行在较高的转速，有较长的耐磨寿命。

对热轧棒料——在轧制光杆或混凝土加强棒料(钢筋)时——因为要求增加速度和寿命、控制精密尺寸和较好的表面光洁度，

所以采用硬质合金轧辊。这是由于硬质合金有较高的硬质，较好的抗磨性和抗蚀性、较高的热硬度和较大的抗压强度。在这些用途中，CPM10V锻钢轧辊已证明比硬质合金轧辊的性能好，经济效益高。

用于金属加工的轧辊的硬质合金成分视镍或钴粘结剂的用量、碳化钨晶粒的大小以及所加入的其它碳化物的用量和种类而有很大的不同，各种变化是为了从增加抗磨性、抗热冲击性并减少粘结剂的腐蚀速度以获得较长的轧辊寿命。

硬质合金轧辊从用于常规的冷轧薄板和钢丝到连续热轧各种规格大小的棒料，其应用范围正在不断扩大。这类轧辊的设计技术和材料成分也正在快速变化中，因此在为某种用途选用材料时，有必要向有经验的硬质合金制造厂咨询，听取他们的建议。

第十一章 压印模材料的选择

在冷压印工序中，被加工的表面金属只在压印工序中作少量的自由流动，较大范围的流动就成为冷挤压了。有关这方面（即金属从一个部分大量转移到另一部分）的冷挤模材料选择的资料参见本书第十三章“冷挤模材料的选择”。

压印模由于挤压（所谓“刻印”）会产生磨损、变形而失效，甚至开裂。采用低的压印压力和软的加工材料，磨损起主要作用。在模具材料和工件材料的某些配合情况下，模具可能因粘结而失效（由于金属粘焊而损坏）。

模具由于变形或开裂而造成的损坏的主要原因是：①特别复杂图样的压印。②企图压印包容整个金属面的大面积压印，建立过大的压力或③压印坯料过大。

由于受到所要制造的图样的约束，可能会限制模具寿命，并引起过早的开裂。如果一件装饰性徽章艺术品的正反面吻合得不好，金属的流动会受到限制，模腔也不会恰当地充满，其结果必须用大吨位（压力）使金属充满。这样就显著地缩短了模具的寿命。在装饰性的徽章图案中，常常存在直线部分和锐边，在压印中，这些部位的应力升高，除非降低压印吨位，否则也会降低模具寿命。压印较软的坯料可以降低吨位要求，但坯料又不能太软，以至在压印时产生翘边。

一、装饰性压印

用于压印高质硬币和徽章的模具，其材料的选择需要考虑到若干重要的特性。当中有加工性、淬透性、淬火中的变形、硬度、抗磨性和韧性。用于装饰性复制品的模具，其材料应选用能

全部淬硬并具有优良抗磨损、高硬度和高韧度相结合的性能，有关本章所述的工具材料的特性和成分，在本手册内随处都可以找到。

压印不穿透的硬币和徽章，模具的基底表面必须平滑并抛光。大量未溶入的碳化物或非金属夹杂物会使达到这种平滑的表面更为困难，供硬币用模具（特别是大截面）的工具钢需经特殊加工和检查，因为任何缺陷均会带来困难。尽管对工具钢的严格控制，但也很难保证模具表面达到要求的状态。

典型的模具材料 当模具直径 $\leq 50\text{mm}$ ，自耗电极真空熔炼或电炉再熔炼的52100钢，可以提供纯净显微组织以利高度抛光模具表面。当热处理到HRC59~61时，52100钢可以提供最佳的模具寿命。这种钢材还适宜于作光化腐蚀，它是一种用来代替机械的压印浮雕很浅的模具的工艺。淬硬HRC58~60的L6工具钢适于制造直径 $\leq 100\text{mm}$ 的模具，对于大批量生产时，它可以全淬硬，还有足够的韧性，并适宜于作光化腐蚀花样浅的制品。当压印和浮雕模的直径大于100时，一般选用在空冷淬硬的工具钢，选用空冷淬硬工具钢的一个主要理由，是因为在热处理时变形最少。A6是一种不易变形、深淬透的工具钢，常用于需淬硬到HRC59~61的大型模具。对要求韧性特高的应用场合，采用硬度为HRC52~54的空冷淬硬热作钢(如H13)。

当压印的件数少于预计模具寿命时，对浮雕图像较深的模具，可用机加工方法把图像直接加工在模具上，其成本最低。对于需要2副或更多的同样模具的大批量生产，采用型腔冷挤压法是合算的。所谓型腔冷挤压法，是先将图形制成一个阳的挤压头，经淬硬后，将挤压头压入凹模块制成压印图象。高合金工具钢是很难压的，如果压印模是用这类钢材制作时，必须采用热挤压法或是分几次挤压，每压一次经退火后再压。

表54给出供压印小件（例如直径13mm徽章）的凸模和凹模典型材料。在选用模具的材料时，通常对被加工的金属考虑得较

模具类型	压制不同总件数时的模具材料 (a)		
	100	10,000	100,000
供落锤用的机加工模具	W1	W1	O1 (b)、A2
供压力机用的机加工模具	O1	O1、A2	O1、A2
供落锤用型腔冷挤的模具	W1	W1	W1 (c)
供压力机用型腔冷挤的模具	O1	O1、A2	A2、D2 (d)

注：(a) 压印铝、铜、金或银合金，或压印低碳钢、合金钢或不锈钢。

(b) O1仅推荐用于压印低碳钢和铜、金或银的合金。

(c) W1模具的平均寿命，在压印硬度小于HRB60的铜、金、银的合金时，约为40,000±10,000件；压印较硬材料的W1模具，其寿命为上述数量的一半。因此，需用多副模具才能生产10,000件或多于此数的徽章。

(d) 其型腔用热挤压法制造。

少些，对如何制作这种模具和采用什么样的挤压设备则考虑得更多些。当生产量高达100,000件时，可选择O1和A2工具钢，采用A2的费用可能略高些，但也是合算的，因为A2的寿命较长，特别是对加工像铝合金，合金钢，不锈钢或耐热合金这类材料。

在原著第八版第四卷从83页开始，曾介绍了制作硬币和大奖章，其制作的数量常超过10,000件。硬币生产通常是在高速机械压床上采用凸出基底面浮雕较浅的模具，这类模具应采用易于压制、价廉、抗磨并不易变形的材料。对小型模具常选用W1，而52100钢既用于大型也用于小型模具。根据压印合金的种类和硬币直径的不同。平均模具寿命约200,000~大于1,000,000冲次。

压印银器的模具 也许在工业上压印量最大的要数用落锤压印的银器业了，在生产花纹很深的表面如图49所示的汤匙柄，水淬钢如W1几乎常被用来作此种压印模，不管产品是银制的，铜合金制的或是不锈钢制的。之所以选用水淬钢，是因为用这种材料制成的凹模块可以重复使用。当凹模块损坏——或是由于淬硬外壳浅的开裂或是压印花纹凸起部分的磨损——将凹模块退



图 49 一个深压印的汤匙柄

火后，加工掉原来的花样，并在凹模重新淬硬之前挤压上新的花纹。由深淬透工具钢如O1、A2和D2制造的凹模不再重复使用，因为它们往往由于深裂而损坏。

对于要求尺寸重复精度高的制品，可用A2或高碳高铬钢D2、D3和D4制造凹模以便取得较大的抗压强度。对压印很深的图案，不管它是粗线条的或是细线条的，其凹模经常由于开裂而失效，可用硬度较低并可深淬透的碳素工具钢，也

也可选用O1或S5或S6。在某些实例中，也可选用空冷硬化钢如A2，它可以改善尺寸的稳定性并抗磨。当特殊韧性作为主要要求时，热作模具钢如H11、H12或H13是最佳的。当模具由于快速磨损而失效时，那么较高硬度的钢材或较高合金的抗磨损钢如A2能解决问题。

用落锤压印300系列奥氏体不锈钢的工件时，采用S1、S5、S6和L6钢，用油淬火并回火到HRC57~59是比较有利。因为这类材料的含碳量在0.50~0.70之间，虽然抗磨性比W1、A2或D2差，但韧性好、抗剥落和抗裂的性能也较好，如果需要的话，将S5工具钢模具表面渗碳0.18~0.25mm，可以略微改善它的抗磨性能。

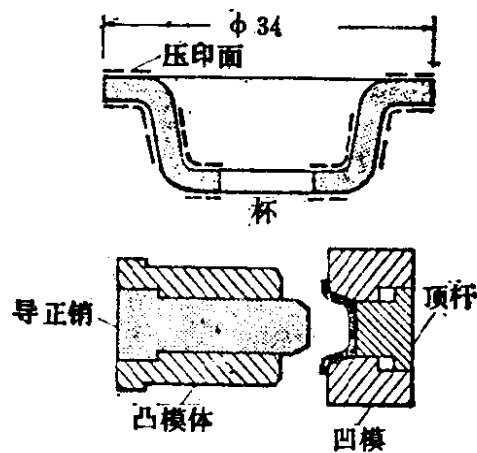
二、在级进模中压印

在级进冲压的最后工步中，将一个杯形零件压印到最后尺寸，其模具所推荐的工具钢如表55所示。这种压印法包括整个杯形件在凹模内部分封闭。这就产生高的径向压力，因此对大量生

产的模具就要求采用压入式镶块以防模具裂开，批量达10,000件时，可按表内所列的钢材制作，不会因开裂而损坏。批量大于10,000件的，应以表列D2钢作为镶块压入凹模板内。

表 55 在压机上将一预成形杯形件压印至最终尺寸的典型工具钢

压印金属	按生产批量（件）用的模具材料（a）		
	1,000	10,000	100,000
铝、铜合金	W1	W1	D2
低碳钢	W1	O1	D2
不锈钢、耐热合金和合金钢	O1	A2	D2



注：（a）超10,000件时，给出的材料用作凹模镶块。表中所示的材料均用作机加工的模具。因W1可能在热处理中会裂开，所以除应用O1伏W1以外，对于凸模采用与凹模相同材料。

凸模材料可以用凹模同种材料，当W1在淬火中会裂开时，才用O1代替W1。

表55所附的草图的压印是由带料通过级进成型工序的典型压印工步，每一工步都采用了凹模镶块和凸模镶块。通常，镶块是接近于或甚至低于最小尺寸，并按此提供所需模具材料的用量是切实可行的。模具通常不能作得过大，否则它们将不会与可用的空间位置相配合，如表55附图所示。在这样的情况下，热模钢将比

W1、O1、A2或S2有较长的寿命。如表55附图所示工装中的凸模体与导正销可用H12制造，并淬硬到HRC49~52，这个数字是介于会形成刻伤的较低硬度与会导致涨裂的较高硬度之间的折衷数。防止导正销刻伤的最好办法是镀一层厚为0.008~0.01mm的硬铬，在150~200℃之间烘焙3小时以减少由氢引起的氢脆。

在制作压印模中，淬硬到HRC45~48的H12热模钢，也许比其它任何一种冷压印模钢具有更高的抗裂应力。关于顶杆，推荐采用淬硬到HRC40~45的L6工具钢。

对那种具有圆槽、卷边、薄截面或其它任何结构，并要求改善抗断裂而允许牺牲某些抗磨损性能的压印模，选用H11、H12、H13、H20和H21，并淬硬到接近于它们的最高硬度HRC50~54时，使用情况良好。

三、工作硬度

表54和表55所列工具钢的正常工作硬度为：

W1	HRC59~61
O1	HRC58~60
A2	HRC56~58
D2	HRC56~58

压印小铝件，其模具可用硬度为HRC60~62的D2钢。

四、齿轮和类似零件的压印

图50示出一种压印的具体应用，由于它的难度如此之大，以致使压印模有断裂的危险，并且，在正常使用中，磨损也极高。对这样的锻钢件，把齿轮的工作面进行冷压印0.025~0.13mm以达到最终尺寸，同时，使中心部分冷压印到零件所规定的同心度，为这些用途所推荐的工具钢是：当齿轮的批量为1,000~

10,000件时用A2；当产量为100,000件时用D2。如果由不锈钢或耐热合金制成的类似零件，其生产量为100,000件时，可能要用几副D2钢模具，因为不锈钢和耐热合金会造成更严重的模具磨损。

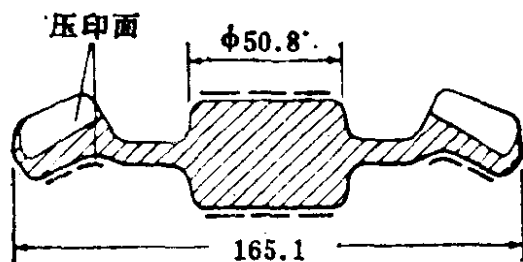


图 50 强力压印斜齿轮

锻造的斜齿轮(20° ，齿数26，齿节4)压印 $0.025 \sim 0.13\text{mm}$ 达到尺寸要求，并校正同心度到 0.90mm (偏离节线的最大指针读数)

五、用粉末冶金钢制作压印模

将热等静压工艺方法应用到粉末冶金上所制造的高速钢和高合金钢，已发展为大批量生产用的压印模的工具钢品种。它在韧性与磨削性能方面取得了很大的进展（参阅本书“工具钢”中“粉末冶金钢”一节）。M4是一个特殊的例子，粉末冶金方法与常规生产的方法相比，粉末冶金法生产的M4，其韧性大约是常规方法生产的M4的2倍，磨削性能则是2~3倍，其结果是把粉末冶金制成的M4热处理到HRC63~64以后，与常规生产的、硬度为HRC62的D2相比较，具有更好的韧性、抗磨性和抗压强度。

CPM10V就是为用于高磨损的应用场合的冷作和温作模具而特殊创造的钢种之一。CPM10V甚至比最抗磨的高速钢还要抗磨，而其韧性与抗压强度则相当于D2。

六、硬质合金压印模

硬质合金偶尔也用来作压印模，但一般仅在批量十分大的情况下供制作小件轻压印之用。硬质合金的成功应用，在很大程度上决定于模具的设计(或模具镶块的设计)，甚至在更大程度上还决定于由淬硬工具钢制造的用来支承与加强硬质合金模具或镶块的零件的设计。特别重要的是支承件和加强件要抵消在压印过程中加在硬质合金上的任何拉伸应力，并要保证模具零件的移动量为最小。

在具有最小震动或冲击负荷的轻载荷应用中，所用的硬质合金至少得含钴13%；在较大的震动载荷应用中，则需要较高的钴含量(最高达25%)。

第十二章 冷镦模材料的选择

被大量采用的、多种类型的紧固件都是在冷镦机上制造出来的。这类机床所用到的大多数模具要求具有最高的抗磨损表面硬度，以及最高的强度和韧性，以便它们能够承受较高的使用压力而不致破裂。为这类模具恰当选用材料，对于获取盈利的生产是根本性的。

表56列举了单模、双模三击和多工位冷镦机所用的模具材料。

表 56 冷镦模的典型材料

模具零件	材 料
切断模	M4或硬质合金镶块
切断刀	M4或硬质合金镶块
镦粗、拔锥或弹跳凸模	W1、S1、M1或硬质合金镶块
支承芯子	O1
锥形凸模顶杆	M2或CPM10V
终凸模套	H13
终凸模镶件	M1、M2、CPM10V或硬质合金
凹模套	H13
凹模镶块	M1、D2、M2、CPM10V或硬质合金
凹模顶杆	M2或CPM10V

一、工具钢模具

用W1和W2工具钢制成的实心冷镦模是供少量生产用的。这类模具采用冲水淬火方法，这样可以得到所需要的高硬度、高强度和高韧性的综合性能。对于大多数大批量生产用的模具，则

是用高合金工具钢M1、M2和D2，或硬质合金制成的。一种新的耐磨P/M工具钢CPM10V，也具有极好的性能，可在大量使用中代替硬质合金钢。这种材料最常用于在H13工具钢模套中作镶块。这类模套的硬度通常保持在HRC48，以便提供最佳的支承力和不致于发生断裂危险的综合性能。不过，对镶块与模套具有过盈配合的场合，用有较大强度、断裂韧性的马氏体时效钢，如18Ni(300)作为模套材料是非常适合的，但在抗磨性能方面多少作了一些牺牲。

二、硬质合金模具

根据经验，合理设计和合理使用的硬质合金模具的寿命约为钢制模具寿命的十倍；由于硬质合金模具在大量生产中能更好地保持尺寸的稳定性及一致性，因此硬质合金模具也会改善产品的质量。虽然硬质合金模具的生产成本比工具钢制成的模具要高，但是由于高寿命及尺寸的一致性的结果，则每生产一千件的成本就要低得多。

最适宜用于冷镦模的硬质合金为用钴作粘结剂的碳化钨硬质合金。常用硬质合金的成分、硬度和横向抗破裂强度如表57。通常韧性与钴的含量，以及晶粒结构粗细成正比。表57所列的材料具有由中到粗的晶粒结构。晶粒大小和钴的含量是可调的，以求

表 57 供冷镦模用典型硬质合金

WC	成分，%		硬 度	横 向 抗 破 断 强 度
	Co		HRA	MPa
75	25		84.5	2760
80	20		84.7	3030
85	15		87.0	3240
88	12		88.0	2960

达到最佳性能所需的硬度，强度和耐磨性。一旦供某种用途的硬质合金材料性能的基准定了以后，可以调整成分及其显微组织以提高模具寿命。

以硬质合金作为冷镦模具的包括：切断刀、切断模、镦粗锤（标准的及可调的）、凹模和终凸模。硬质合金模均属嵌入式，由经过淬硬的钢模套来支承硬质合金镶块。也有用整体的硬质合金模，但极为少见。

为取得良好效果，硬质合金模具应用于条件好、有滑配合的滑块、振动小和经准确校准的冷镦机上。

三、重复加工和重新刃磨

虽然硬质合金冷镦模在试车时可以重复加工和重新修整，但建议先用钢制模具作试用（比较容易修改），待最后肯定设计之后，再用硬质合金作模具。

在使用钢质切断刀及切断模时，每一班结束后应从机床上拿下来略微磨一下，磨锐刃口以保证良好的平直的切口。这种作法要求每台机床在每班要停10~30分钟，但它可以免掉许多冷镦过程中所产生的问题。而硬质合金切断刀及切断模可以用许多天或若干星期而不需刃磨，在它们确实钝了以后或有微小的缺口，可以用金刚石砂轮刃磨一下。

25%钴的碳化钨硬质合金被广泛用在冷镦模上，它有一个特殊的优点，就是可以加工。它可用硬质合金或金刚石刀具进行镗、钻和车削。新的工具钢CPM10V具有相当高的耐磨性和较佳的韧性，它是比较容易机加工或重复加工的。在需要较好的耐磨性及轻冲击的应用场合，可选用12%和15%钴的碳化钨硬质合金，但这类材料必须用金刚石砂轮磨或用磨盘来研。

第十三章 冷挤压模材料的选择

在冷挤压过程中，模具和工件都不经预热。不过，当在稳定和接近于均衡压力下，工件塑性变形所产生的热量已足以要求工具钢必须在温度提高的情况下具有相当高的抗软化特性。

在冷挤压过程中，如图51左边所示，在一个闭合的凹模内，工件金属有着一个与凸模运动方向相反的反向位移。这种工件常是杯形，它的壁厚等于凸凹模之间的间隙。

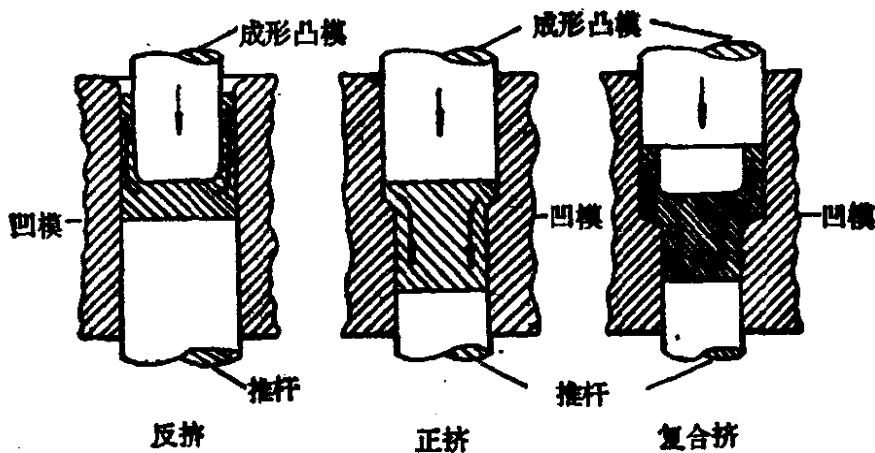


图 51 在冷挤压中，反挤、正挤和正、反复合挤工件金属的位移

正向挤压时迫使金属沿凸模方向运动(图51中)。凹模一端的扩大部分，其大小仅足以容纳原始的毛坯，另一端有一个与最后工件所要求的形状相同的小孔。

有时两种挤压方法是混在一起的。其中一部分金属反向流动，另一部分正向流动，如图51的右边所示。

在影响到冷挤模材料选择的几个因素中，凸模的抗压强度和凹模抗拉强度是比较主要的。因为凹模经常受到内、外层预紧圈压缩所产生的预应力，对一套令人满意凹模的主要要求，便是在

使用中能承受不断重复的拉伸负载的拉伸屈服强度和压缩预应力的联合作用。凸模需要有足够的抗压强度以便它们能够承受较粗而不致有危险性的脆断，因而几乎没有例外，尤其对钢的挤压，与工件相接触的主要零件，必须要用整个截面都淬硬的钢来制造。

在冷挤压中，模具报废的主要途径为凸模和凹模的研磨与粘着（擦伤）的磨损，使得成品零件的外形尺寸和形状渐次改变，表面的粗糙度也渐次增加。对于那种带有拉伸的冷挤过程，坯料延伸致数倍原来的长度，由于金属行经凹模表面更多些，所以凹模比凸模损耗更快些。

至少在理论上，润滑是控制模具磨损的主要因素，因为在理想的润滑时模具与工件之间没有金属与金属的接触。实际上，改变润滑可使加在模具上的应力变化多达100%。如果润滑不足或用劣质润滑剂，常为擦去型腔的斑痕或是从凸、凹模上除掉粘物而增加辅助时间，而且还会造成模具寿命短及较多的废品损失。

一、凸模与凹模材料

冷挤压1018或1021钢要比冷挤压1010钢多加10%的冷挤压力。低合金钢的成型负载约又比1010钢大20~30%。这项结论是以冷挤压8620钢大量经验和从冷挤4130、5120、5130和4027钢所得到的一些经验为基础的。中碳钢如1030和1040的成型负载比1010高出20~30%。

用W1工具钢制成的凹模通常对挤压较软的铝合金是比较满意的。对挤压硬铝合金常选用A2和D2，因为挤压时会产生相当大的热量而使W1制成的模具退火；在挤压铝时，模具的磨损大致与工件材料的屈服强度成正比。因此普通冲击挤压合金1100、6061、2014和7075会按照顺序对模具渐次产生更多的磨损。本章所讨论到的各种模具材料的成分与性能在本册书内随处都曾提

及。

表58~63列述用于冷挤钢和铝合金的各种典型冷挤模用钢，按图52所示的假想零件系列，分别以两种生产数量列出。这种简单的零件很少会在实际中遇到，不过它所包含的原理是可以与较复杂的实际生产零件相关联的。

反挤模具 表58列出供反挤零件1和2的凸模、凹模及顶杆的典型工具钢。用零件1作为挤压零件2的坯料和用圆柱型坯料挤压零件1的复杂性相同（如果用铝制成，则零件2一步就可以从圆柱型坯制成）。

表 58 **反挤零件1和2的典型工具钢**
(零件图见图52)

被挤压金属 (a)	被挤压零件总数量	
	5,000	50,000
凸模材料 (b)		
铝合金	A2	A2, D2, M4 (c)
碳素钢 (含0.40%C以下)	A2	D2, M2 (b), M4 (c)
渗碳合金钢	A2	M2 (a), M4 (c)
凹模材料 (b)		
铝合金	W1 (e)	W1 (e)
碳素钢 (含0.40%C以下)	O1 A2	A2 (f)
渗碳合金钢	O1, A2	A2 (f)
顶杆材料 (b)		
铝合金	A2	D2
碳钢 (含0.40%C以下) 及渗碳合金钢	A2	A2 D2

注。(a) 零件1、从实心坯料开始，零件2用零件1作坯料，如工件为铝，零件2可以直接用圆柱型坯料制成。

(b) 遇同种情况下，有两种或两种以上材料时，材料顺序是按成本高低排列的，列在最前面的是最便宜的。

(c) 在加工汽车零件时优先采用。

(d) 液体氮化。

(e) 推荐含碳1.00%级。

(f) 仅气体氮化内表面。

推荐挤压50,000件钢零件的凹模材料是比较保守的。用D2的凸模总寿命可达30万件,约每6万件重新修整模具一次;用O1的凹模总寿命为16万件,约每4万件重新修整模具一次;用A2的凹模总寿命为20万件,约每7万件重新修整模具一次。

在一个冷挤压部门中,在挤压类似零件1和零件2的钢零件中,凸模的磨损十分悬殊,如挤压与零件2相似的工件,其损耗可达4倍。

拉伸型模具 表59为用于拉伸零件3的典型凸模和凹模钢材。当用钢制成时,这个零件假定是从零件2拉成的,

表 59
拉伸零件3的典型工具钢
(零件图见图52)

被拉伸的金属 (a)	被挤压零件的总数量	
	5,000	50,000 (b)
凸模材料 (c)		
铝合金	A2	D2, M4 (d)
碳钢及合金钢, 含碳量<0.40%	O1	A2, M4 (d)
凹模材料 (c)		
铝合金	W1 (e)	W1 (e), A2
碳钢及合金钢, 含碳量<0.40%	O1, A2	A2 (f), D2

注: (a) 对钢,从零件2开始(表58);对铝,零件是从一圆柱形毛坯在一次反挤中制成。

(b) 当数量超过100,000件时,特别是在公差要求很严的情况下,钢零件应考虑用碳钢凸模与凹模。

(d) 供汽车零件加工时优先选择。

(e) 推荐采用含1.00%C的那类。

(f) 推荐内表面采用气体氮化, F2工具钢可以用来代替A2。

当用铝材制成时,则假定是直接从圆柱形毛坯拉成的。在此种加工时,该零件被拉伸的金属几乎等于零件2的2倍,凹模的滑落及磨损将比凸模更为严重。

由钢拉制零件3,用O1钢做成的凸模,每修整模具一次可以加工5,000~10,000件,用A2制成的凸模约为50,000件。O1制

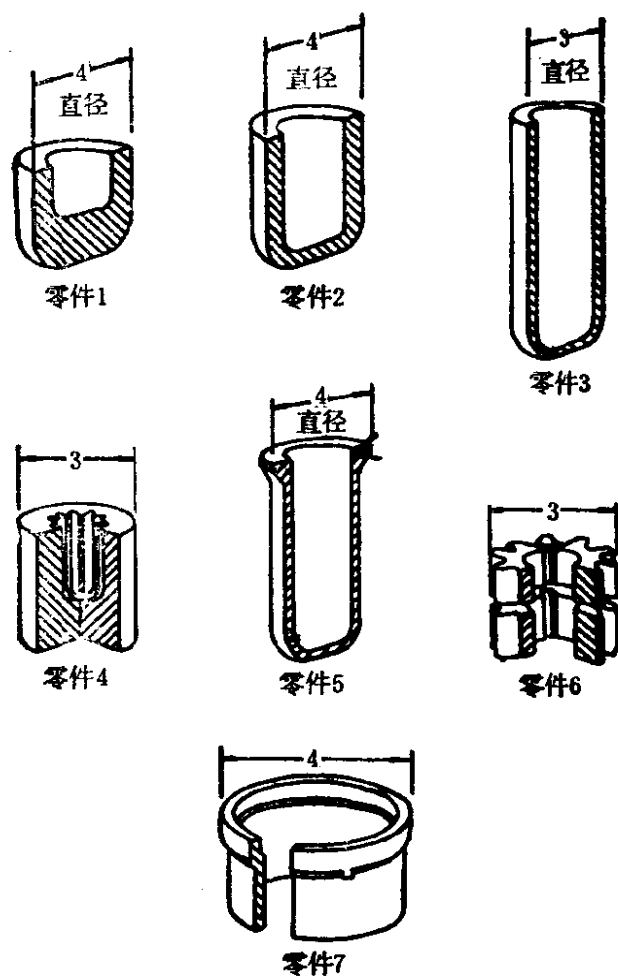


图 52 7种假设冷挤压件

图中尺寸为英寸，乘25.4得相当毫米值。挤压低碳钢及铝零件时的典型凹模材料见表58~63

的凹模约可拉制5,000件，经过正常淬火处理的A2约为30,000件。不论是D2凹模也好或是经过气体氮化处理的A2凹模也好都不可能超过50,000件

用铝材拉制零件3，用A2制成的凸模寿命可望达到总数75,000件，D2为200,000件；用W1或是A2制成的凹模约为500,000件。

表60表示推荐供制造零件4的模具用的工具钢。这种选择问题须满足凸、凹模的普通要求，但由于零件形状的原因，其冷挤压过程所包含的工序是应予以考虑。除了在拉伸工序中凸模负载

较高外，（如果零件是采用反挤压的，则还会高些）。这种拉伸工序可与零件1的反挤相比拟。

在拉伸钢零件4时，通常由先成形的初形杯，其深度如图52所示，然后在约650℃将杯形件进行退火处理，为了成形这个零件，用一个带花键形的凸模压入经退火杯形件的孔中直至接触到底，然后由凸模上部的一个圆环与杯形件上的凸缘接合，并向前推入凹模以便减少杯形件的外径并形成内部花键。这种方法有时称为“推-拉”工序。

表 60 拉伸零件4用的典型工具钢
(零件图见图52)

被拉伸的金属 (a)	被拉伸零件的总数量 (件)	
	5,000	50,000
凸模材料 (b)		
铝合金	A2	D2, M4 (c)
碳钢, 1010	M2	M2, M3 (c)
碳钢, 1020~1040及 经渗碳的合金钢	M2 (d)	M2 (d), T15, M4 (c)
凹模材料 (b)		
铝合金	A2	A2, D2
碳钢及合金钢	A2	A2 (d), D2

注: (a) 对钢材, 零件经两道工序制成并有一次中间退火 (见文); 对铝材, 零件由一次反挤制成。

(b) 凡在同一条件下推荐两种或两种以上材料时, 按成本高低排列, 成本低的在前。

(c) 供汽车零件加工时优先选用。

(d) 推荐作氮化处理。

正挤模 表61列出由零件2经正挤制成零件5用的典型工具钢 (对铝材, 该零件由圆柱形毛坯制成)。在正挤中, 零件金属沿凹模移动数倍于凸模的行程, 因而凹模的正常磨损也较快。在此种情况下, 不必采用顶杆, 因为零件在回程中可从凸模脱出。

表 61

正挤零件5的典型工具钢

(零件图见图52)

被挤压金属 (a)	被挤压零件的总数量	
	5,000	50,000 (b)
凸模材料 (c)		
铝合金	A2	D2, M4 (d)
碳钢, 1010	A2	D2, M4 (d)
碳钢, 1020和1040及渗碳合金钢	A2	M2 (e)
凹模材料 (c)		
铝合金	W1 (f)	A2, D2
碳钢及合金钢 < 0.40%	A2	A2 (g)

注: (a) 对钢材, 从零件2开始 (表58); 对铝材, 则由圆柱形毛坯挤压。

(b) 当钢制零件数量大于100,000件, 尤其在严密的公差要求时, 应考虑采用硬质合金凸模和凹模。

(c) 凡在同一条件下推荐采用两种材料时, 按成本高低排列, 成本低的在前。

(d) 供汽车零件加工时优先选用。

(e) 氮化处理。

(f) 推荐采用含碳量1.00%的那种。

(g) 液体氮化。

表 62

正挤零件6的典型工具钢

(零件图见图52)

被挤压金属	被挤压零件的总数量	
	5,000	50,000
凸模材料 (a)		
铝合金	A2	D2, M4 (b)
碳钢及合金钢, 含碳量 < 0.40%	A2, D2	M2 (c), M4 (b)
凹模材料 (a)		
铝合金	A2	A2
碳钢及合金钢, 含碳量 < 0.40%	(d)	(d)

注: (a) 凡在同一条件下, 推荐采用两种材料时, 按成本高低排列, 成本低的在前。

(b) 供汽车零件加工时优先选用。

(c) 液体氮化。

(d) 未经合格, 无工具钢可供推荐, 中碳合金工具钢如H12, H21和6F5曾取得良好效果。

表62列出正挤零件6用的典型工具钢。在这种工序中,由于凹模的形状有可能引起:①由热处理引起凹模圆角处局部残余应力。②穿过圆角引起不连续的负载应力。③额外的摩擦表面会增加挤压零件所需要的压力。当由钢制造这种零件时,其应力已高到足以排除采用低硬度的标准工具钢,或许H12或H21可以除外。抗磨性较低但抗裂较好的低合金钢,当淬火并回火到HRC55或HRC56时,曾取得良好的结果。在本节内被指出的这些非标准钢如6F、6G、或6H不应该渗碳。

表63给出了用环状毛坯正挤零件7其模具所采用的典型工具钢。挤压这样薄壁形状的铁基合金所需的压力是如此之高,以致

表 63 **正挤零件7的典型工具钢**
(零件图见图52)

被挤压金属 (a)	被挤压零件的总数量	
	5,000	50,000
凸模材料 (b)		
铝合金	A2	D3, M4 (c)
碳钢和合金钢, <0.4%C 及300系列不锈钢	A2	D2, M4 (c)
凹模材料 (b)		
铝合金	A2	D2
碳钢及合金钢, 含碳量<0.40% 和300系列不锈钢	(d)	(d)
顶杆材料 (b)		
铝合金、钢和300系列不锈钢	1020 (e), O1 (f)	1020 (e), O1 (f)

注: (a) 从环状毛坯开始。

(b) 凡在同一条件下采用两种材料时,按成本高低排列,成本低的在前。

(c) 供汽车零件加工时优先选用。

(d) 未经合格,无工具钢可供推荐。中碳工具钢如H12、H21、6F5及6H2曾取得良好效果。

(e) 或用其它低碳或低合金钢作顶杆之用。

(f) 顶杆头。

其模具由前面所述的那些低合金非标准钢制成。

二、次要的模具零件

表64列出供冷挤钢零件1~7（见图52）用的次要模具零件所采用的结构钢和工具钢（正挤和反挤铝件的模具仅包括一个凹模、一个模架、一个凸模和一个顶杆）。表64所列的钢反映了零件1~7所包含的中到高挤压复杂程度。

表 64 用于挤压钢零件的次要的模具零件的典型钢材

零件号	有关表格	操作方式	上模板	凸模支承板	内预应力圈	外预应力圈	第一支承块	第二支承块	下模板
1和2	表58	反向	1040	S1	S4、S5	1040	W2	W2	1040
3	表59	拉伸	1040	S1	S4、S5	1040	W2	W2	1040
4	表60	拉伸	W2	8620(a)	4340(a)	W2	S4、S5	D4	W2
5	表61	正向	1040	S1	S4、S5	1040	W2	W2	1040
6	表62	正向	W2	8620(a)	4340(a)	W2	S4、S5	D4	W2
7	表63	正向	W2	8620(a)	4340(a)	W2	S4、S5	D4	W2

注：各种模具零件的名词术语按图53定义；零件图如图52所示。

(a) 或具有淬透性的、适用于作模具零件的其它合金钢。

模具的名词术语见图53，该图阐明了用于反挤钢零件的典型模具。各厂模具也会有某些变异。例如：在反挤零件1和2时，因为过大的毛坯会引起外凸模开裂，所以有些模具就不用外凸模（有时称为凸模套）。

除了正挤模其工件底部不靠在顶杆上之外（为了将工件从凹模内顶出，模具内可装有顶杆），正挤模与反挤模是相类似的。拉伸型冷挤模与图53所示的模具不同，它主要装有一个卸料板和一个为吐出被拉伸工件的漏件孔。

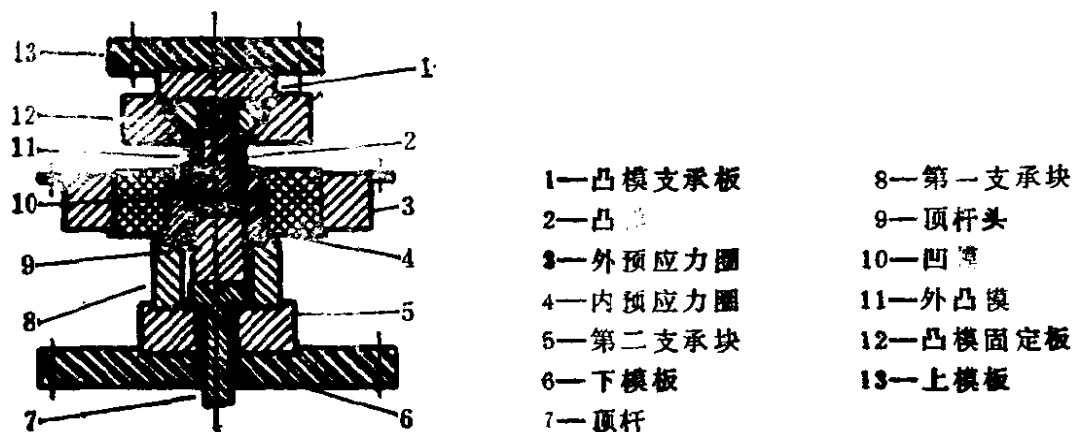


图 53 反挤钢零件的模具的名词术语

内预应力圈有一个高精度的内孔，锥度 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ ，光洁度 $0.2 \sim 0.25 \mu\text{m}$ （通常为均方根平均值）。凹模压配到内预应力圈内，从而受到压缩预应力，与凹模在挤压时所产生的拉应力相抵销。内预应力圈是由低合金或中合金钢制成，淬火并回火到HRC50，使它们能承受使用应力而不致产生永久变形。

外预应力圈通常用经过正火处理的低碳或中碳钢（如1040或1045）制造，用热套或压配在内预应力圈上。支承块的设计和材料选择视冷挤成形工序复杂程度、压床型式以及所需挤压压力的垂直分量而定。工具钢或合金钢必须具有足够淬透性，例如：支承块必须淬硬至足够深度，以便它们能够吸收使用应力而不致产生永久变形。

上、下模板材料的选择要能抵抗模具设计中固有的变形压力。视设计不同，凸模固定板可由深淬透的钢材如4140制成。像6F5钢，把它淬硬到HRC56~58，供外凸模用时相当成功。

三、特种材料的应用

供正挤与反挤用的模具可用水淬的W1和W2工具钢，但使用时通常限于大部分截面都能淬硬或限于在使用中不会因为中心

部分硬度低而变形或粗糙。

油淬工具钢 油淬工具钢(特别是O1)用于次要零件,有时用于少批量生产的凸模和凹模。O1钢具有充分的淬透性,几乎在小于50mm的截面上整个厚度都能全部淬硬。因此,当淬火或回火到表面工作硬度HRC58~62时,仅在50mm厚的截面中心处有少量的低硬度。

耐冲击工具钢 硬度为HRC57~60的S1、S4、S5和S7可用来作次要挤压模具,S7是最易获得的一种,如果S4、S5不能获得的话,它还可以用来代替S4或S5。

A2空冷淬硬工具钢 A2是一种深淬透抗磨的钢材,在经过淬火处理后,外形尺寸的变化最少。除了最高挤压力及大批量生产的场合以外,它是可供冷挤压模具选用的一种工具钢,虽然它较O1略贵,但比较抗磨,特别是在经过氮化以后,抗磨性更好。因A2有高的抗拉强度,它广泛地用于小批量和中批量生产的凸模和凹模,大多数应用于凹模,它在950~980℃淬火并在495~525℃回火,可达到硬度HRC56~58。

高碳高铬工具钢 D2是供正挤和反挤钢或铝件的大型凸模最常用的高碳高铬工具钢。D2还常用来作为挤压或拉伸铝材的凸模,它常用于承受压缩载荷的模具零件,虽然它不常用于正、反冷挤压钢材的模具材料,但它常用来作为拉伸型挤压模具。

D2工具钢通常经两次回火到工作硬度HRC57~59,有时也回火到HRC55,以避免凸模断裂;在损害到凸模寿命使之缩短的条件下,在这种应用场合,可考虑选用A2来代替。D2不推荐采用硬度在HRC60以上,因为这么硬的D2凹模,在高的使用负载下会碎裂。

D3 (2.25C, 12.0Cr) 和D4 (2.25C, 12.0Cr, 1.0Mo) 钢在硬度为HRC62~64时,抗磨与抗压性能比D2强。当有利条件超过较大的脆性的不利条件及制造中要增加额外费用时,可以考虑选用这样的材料。有一个工厂报道用D7 (2.35C, 12.0Cr,

1.0Mo 4.0V) 作凸模,用于大批量生产挤压 如图52中1、2、7钢质零件时,取得良好效果。可是,对大批量生产的小凸模, D系列工具钢一般比M2高速钢为差。

高速钢 M2适用于小到中批量生产的小凸模,对大批量生产,当只能用于压力机和用硬质合金却又会断裂时,可用M2作小凸模。HRC64~66的M2凸模常用在中批量生产,在这种场合,挤压力会使M2变形。高碳高钨M4高速钢,经热处理到HRC62~64是供大量生产冷挤压汽车零件的第一选择。以往由于M4很难磨,所以在应用方面受到限制,现在已为新研制的砂轮所克服。不过,如果M4凸模在使用中断裂时,它可用具有同等硬度的M2来代替。T15高速钢常用来作必须承受高挤压力、很大尺寸的凸模。

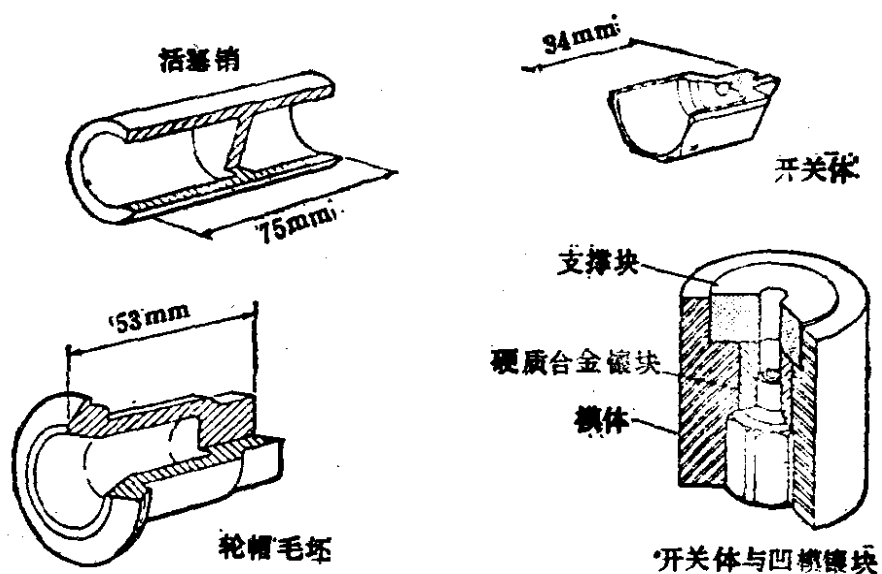


图54 凹模镶块及三个冷挤压的小型钢零件

关于工具材料和工具寿命的论述,见正文

图54的轮帽是零件图中的一例,这个零件成型时,由一个凸模成型零件的外表面,这样使拉应力全部加在未受支承的凸模上。用经过氮化的M3高速钢制成的这种凸模广泛用于生产,平均寿命达25,000~30,000件。

图54中的活塞销也是大量生产的，凸模上受到的压应力大概为1380MPa，在小批量生产时，像W1钢可以用来作为凹模、经氮化处理的M2或M3可用来作为凸模；在大批量生产时，凹模材料可改用A2。不过，在大批量连续生产这种零件时，推荐选用的凹模与凸模材料是硬质合金，每一凸模可增加10~20倍产量（平均为1,000,000件），由于调换模具而停机的时间可缩减90~95%。

硬质合金 经常用于制作冷挤的凸、凹模的各类硬质合金见表65。在决定选用硬质合金时，一般来说，对生产零件的数量及尺寸公差的要求比考虑模具的尺寸更为重要。

作为特例，估计用硬质合金模具挤压钢零件5（图52），而数量少于100,000件时是不合算的，用硬质合金挤压铝零件5，则需要更大的批量（例如500,000或以上）才合算。

表 65 用于冷挤的凸模和凹模镶块最常见的硬质合金

使用形式	成 分, %		晶粒大小
	碳化钨	钴粘结剂	
凸模			
高冲击	84	16	细
中等冲击	88	12	细
凹模及凹模镶块			
高冲击	75	25	中等粗
中等冲击	84	16	中等细
轻冲击, 最大磨损	88	12	细

硬质合金除用于冷挤压凹模及凹模镶块以外，多年来曾用于汽车及农机设备以及大量生产工业用小零件的冷挤凸模，典型的零件如轴承盖，活塞提升杆，肘节销，火花塞体。现在大型零件也已经用冷挤压方法生产，其中主要是杯形体，有时就这么用了，有时再把杯形体冲制成衬套；另一倾向于挑选硬质合金就是

为了挤压高级合金的需要，因为不论是冷挤压或将毛坯预热到约500℃进行温挤压，都需要很高的成型压力。

对凸模最首要的、最关键的要求是高抗压屈服强度。在反挤大型杯形件时用应变仪测量表明，断面上平均压缩负载在2,300 MPa以上。由于该值是整个凸模上的平均值，但因临时性错位，在工作冲程时及冲下去刚与工件材料接触时，力的变化在局部地方可能高出50%。用这种重冲击级硬质合金作凸模，其压缩屈服强度约为经全部硬化工具钢的 $1\frac{1}{2}$ 倍。

另一关键要求便是高刚度或高弹性模数。当凸模的长度与直径比为4:1，或大于这个比值时，这个特性更为重要，重冲击级硬质合金的弹性模数约为高合金工具钢的 $2\frac{1}{2}$ 倍。

由于冷挤的凸模常伸出在外，在正、反挤压时，会有不平衡力，所以凸模的材料必须具有高抗弯应力。具有高断裂模数或高断裂强度的重冲击级硬质合金可以提供必要的抗弯强度。

此外，由于冷挤压力机的运行速率很高，凸模必须具有良好的耐冲击，以承受与工件相接触点的高冲击。如果它们需要在这种模具的使用过程中承受成千上万次的冲击的话，凸模还需要高的抗疲劳强度。抗疲劳强度与机械的滞后作用成反比，如果挠度相同，重冲击级硬质合金材料的机械滞后大致为钢的八分之一。由于高弹性模数与低挠度的结合，结果使硬质合金的机械滞后优于钢，在模具载荷给定的情况下，它们之比大约为18:1或20:1。

第十四章 拉拔（丝、棒料和管子）

模材料的选择

把金属冷拉拔连续成形如丝、棒料和管子的模具材料的选择，主要视被拉金属的尺寸大小、成分、形状、坯料的公差和数量而定。材料的成本也是重要的，也可能是决定性的。

用于冷拉拔凹模或心轴会受到严重的磨损。为了这个理由，拉拔大多数的丝、棒料和管子常用金刚石或硬质合金作凹模镶块，而拉管子的心轴常装有硬质合金头；而少量的，畸形的和尺寸大的工件通常用经过硬化的工具钢模较为经济。

本章所述的各种模具材料的成分与特性在本书内随处都有所论及。

一、拉丝模

表66为推荐的拉丝模用料。对圆形丝材，通常不论其所拉金属的成分或数量，均推荐用金刚石或硬质合金；对小批量生产的或特殊形状的，虽然用硬质合金在任何场合下都能获得优越的性能，但用经过硬化的工具钢成本较低。

表 66 推荐作拉丝模的材料

被拉金属	丝的尺寸 mm	推荐采用模具材料	
		圆丝	特殊形状
碳钢与合金钢	<1.57	天然或人造金刚石·CPM10V、M2或硬质合金	
	>1.57	硬质合金	
不锈钢、钛、钨、钼及镍合金	<1.57	天然或人造金刚石	CPM10V、M2或硬质合金

续表

被拉金属	丝的尺寸		推荐采用模具材料 特殊形状
	mm	圆丝	
铜	>1.57	硬质合金	
	<2.06	天然或人造金刚石	CPM10V、D2或硬质合金
铜合金及铝合金	>2.06	硬质合金	
	<2.5	天然或人造金刚石	CPM10V、D2或硬质合金
镁合金	>2.5	硬质合金	
	<2.06	天然或人造金刚石	
	>2.06	硬质合金	

模具寿命 拉丝模的前进角和支承面（见图55）受到严重的磨损。模具正常寿命是以通过拉模的金属材料的长度或重量来定义的，它使模具的支承面由最小增加到最大尺寸，影响到模具磨损的因素（单项的或是集合在一起的）有：拉拔速度，被拉金属的成分，丝的温度，每拉拔一次坯料的断面缩减率，以及模具材料的硬度。图56数据表明，某些因素对天然金刚石和硬质合金磨损

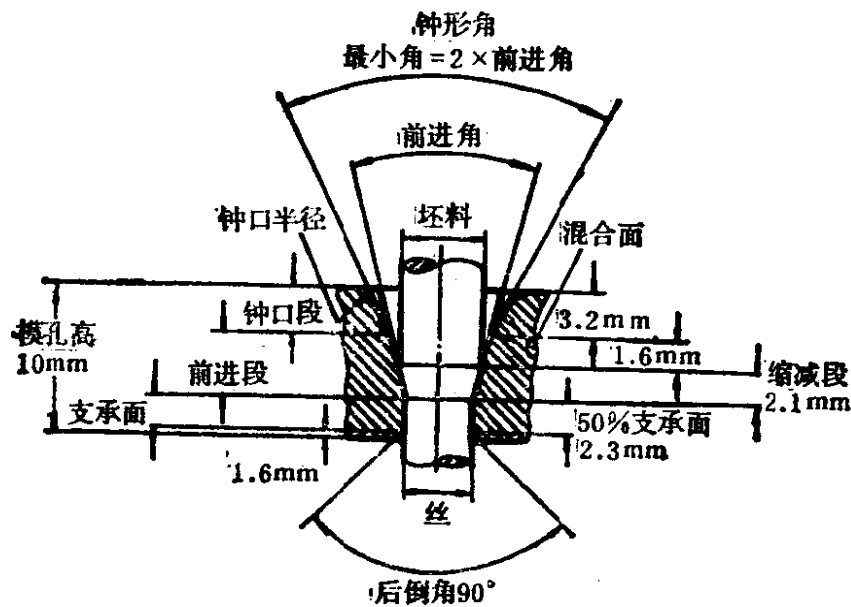


图 55 典型拉丝模的横截面

用于把 $\Phi 5.5\text{mm}$ 的棒料拉成 $\Phi 4.6\text{mm}$ 的丝（每次缩减率为17%）

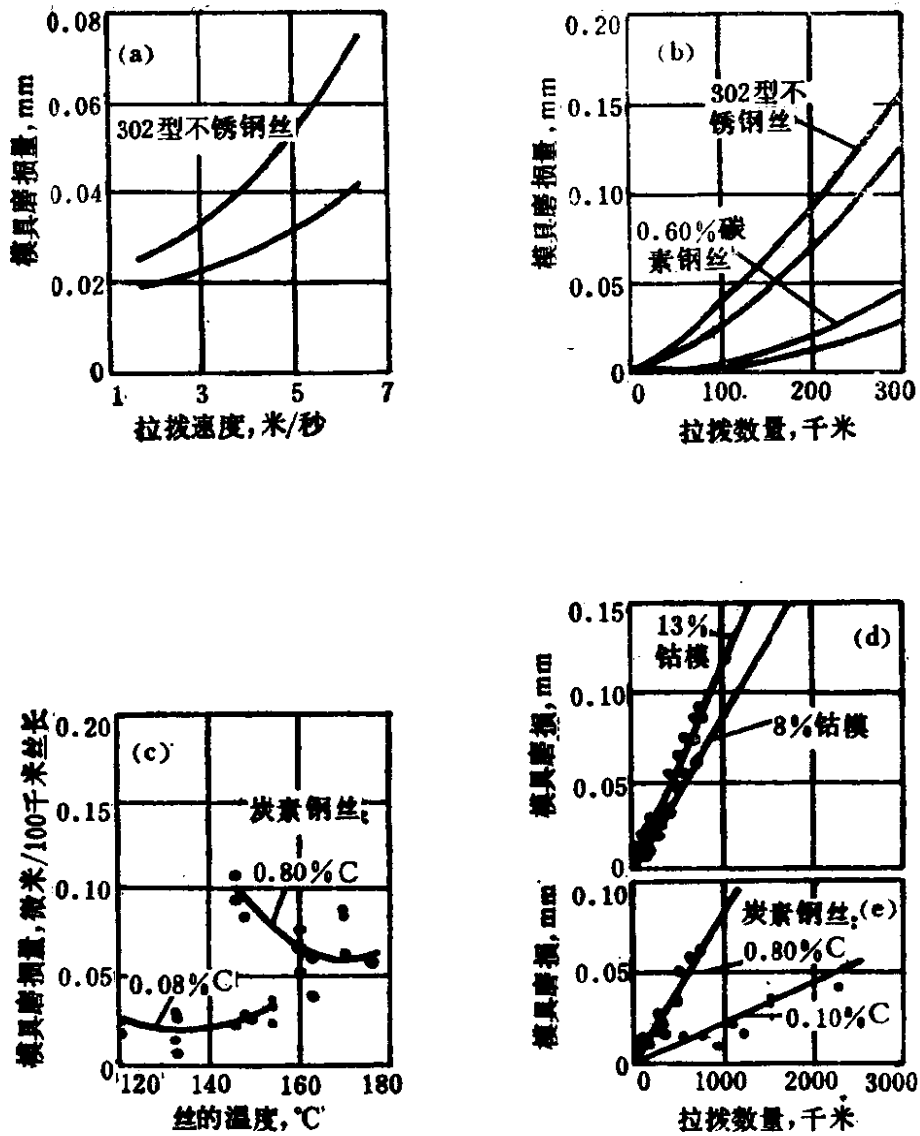


图 56 用于拉丝的天然金刚石和硬质合金模的磨损

(a) 拉丝速度对拉拔302不锈钢丝的影响。丝径1.4mm，外涂石灰，抗拉强度1030MPa，用油润滑拉拔7.6千米，通过每一模具坯料断面缩减率为20%

(b) 拉拔302不锈钢丝，抗拉强度965MPa，以及0.60%C碳素钢丝，抗拉强度900MPa，在油中拉拔，直径自0.84mm缩减至0.50mm，每拉拔一次，断面缩减20%，两种材料均涂石灰

(c) 温度对模具磨损的影响。在模具出口处用温度显色蜡笔测钢丝温度，钢丝(0.80%C)以每秒10m速度拉拔至0.8mm，采用特种润滑剂

(d) 以76~360米/秒速度拉拔0.80%C专利钢丝，硬质合金模的含钴量对模具磨损率的影响。用特种润滑剂，自直径2.8拉至1.6mm

(e) 钢丝成分对含8%钴硬质合金模具的影响。采用一种合适的润滑剂拉拔含碳量不同的钢丝

的影响。

磨损常从模具的前进角上的角环开始,如果在出现角环时,将模具拆下来抛光,则模具的寿命可以增加达200%;不然的话会加速模具的磨损,重新修整不应使支承面的长度缩短大于产品直径的30%。

金刚石模 采用金刚石模受可能买到的人造金刚石的大小所限制,尺寸大的金刚石价格很高。视被拉材料的不同,这种模具性能可能超出硬质合金10~200倍,因此,虽然生产成本很高,但有利于减低产品成本。

金刚石模有两类:天然的与人造的。天然金刚石模的时间最长,是由单块金刚石制成,可以得到表面十分光洁的成品。

天然金刚石的性能可能是不稳定的,每四、五个模具中的可能在30%预期寿命时破裂,这是由于晶体裂纹或是与整块晶体面间断裂面取向不利时所引起的。此外,用作拉模的大块天然金刚石越来越少,而且价格也越来越高。

人造金刚石模是由多晶人造金刚石与硬质合金,在高温高压下融合在一起,微小不定向金刚石与碳化钨晶体结合在一起形成模坯,硬度很高并抗磨。这种材料的细晶粒的同素异形体结构大大减少了断裂与不均匀磨损。其结果是,从相对模具寿命试验中表明,人造金刚石模比天然金刚石模使用时间更长些(见表67)。不幸的是由人造金刚石拉成的工件表面光洁度不及天然金刚石模好,因而,有些使用者用人造金刚石模初拉,然后用天然金刚石模精拉。

表68列出了孔径在标准金刚石模范围内天然金刚石模与人造金刚石模生产成本之比。通常小孔径天然金刚石模比人造金刚石模便宜些;如果孔径为0.66mm,两种成本约相等;孔径再大,则人造的比天然的金剛石模更便宜些;对所有各种孔径的金刚石模来说,从生产成本与模具寿命综合起来看,人造的金刚石模比较合算。

表 67

人造与天然金刚石模具寿命的比较

金属	丝径 mm	模具寿命比 人造：天然
铜	0.64~2.5	3:1
铜	0.38~2.0	10:1
镍200	0.33~1.5	10:1
钨	0.18~0.64	4:1
铜	0.18~1.0	5:1
黄铜镀复铜	0.15~0.97	4:1
304型不锈钢	0.41~1.6	6:1
304L型不锈钢	0.71~1.5	3:1
302型不锈钢	0.36~0.71	3:1

表 68

天然与人造金刚石模的相对成本

孔 径mm	相对成本(a)
0.051	0.60
0.064	0.60
0.15	0.60
0.23	0.60
0.28	0.65
0.29	0.70
0.33	0.70
0.37	0.80
0.42	0.95
0.47	0.75
0.52	0.90
0.59	0.95
0.66	1.0
0.74	1.2

续表

孔 径mm	相对成本 (a)
0.83	0.80
0.93	0.90
1.04	1.1
1.18	1.4
1.32	1.6
1.48	1.9
1.66	1.4
1.87	1.5
2.10	1.6
2.36	1.0
2.62	1.1
2.95	1.2

注：(a) 天然金刚石模与人造金刚石模的生产成本比。

硬质合金 在超过金刚石模使用尺寸范围之上时，硬质合金用作拉丝模较为经济。较软性的硬质合金（含8%钴），其脆性较小，并能承受较大的坯料缩减而不致断裂，但比低钴类材料更易磨损（图56）。如果不损坏或断裂，硬质合金模可以不断再加工以适应较大丝径。金刚石模也是可以再加工的，但大多数再加工的模具是用硬质合金的。据两个不同工厂报道，拉制各种不同尺寸钢丝用的硬质合金模的数据见表69。拉拔不锈钢丝硬质合金模寿命的数据如下：

钢 丝 直 径	寿 命(a)
1.27mm	810kg
0.64mm	450kg

注：(a) 每套模具拉丝重量。

表 69 用于拉拔钢丝的含钴9%硬质合金模的寿命

直 径 mm	寿命 (约) 吨/每模
4.1	100
3.2	70
2.3	40
1.8	35
0.5	1
2.7~4.7	50~75(a)
0.9~2.7	10~20(b)
0.4~0.9	$7\frac{1}{2}$ ~10(c)
0.15~0.4	$1\frac{1}{2}$ ~2(d)

注：(a) 拉拔速度1.25~3.75米/秒。

(b) 拉拔速度3.75~9.0米/秒。

(c) 拉拔速度7.5~10.0米/秒。

(d) 拉拔速度10.0~15.0米/秒。

工具钢 当缩减率低于20%，供拉丝模用的工具钢其硬度应接近于它最大的硬度（HRC62~64）；当缩减率大于20%时，由于有可能破裂，即使磨损量将会增加，硬度也应减到HRC58~60。

模具破裂 通常是由于不正常的缩减率，对镶块缺少机械支承，不合适的润滑或是所用的工具材料对所需的缩减率与拉拔速度来讲太硬，太脆而造成的。为了减少破裂常常牺牲某些抗磨损性能。

二、拉拔棒料和管子

表70给出拉拔棒料和管子所推荐采用的凹模与心轴材料。对尺寸较大的工件实际上从来不用金刚石，在大约3/4的应用场合，

表 70 推荐供拉拔棒料、管材及复杂型材的模具材料

被拉金属	圆的棒料和管子 (a)			复杂形状
	普通商业尺寸		最大商用尺寸(c)	
	棒料和管子凹模	管子心轴 (b)	凹模与心轴	凹模与心轴 (a) (b)
碳钢和合金钢	硬质合金	W1或硬质合金	D2或CPM10V	CPM10V或硬质合金
不锈钢、钛、钨、铜和镍合金	金刚石或硬质合金(d)	D2或硬质合金	D2、M2或CPM10V(a)	F2或硬质合金(e)
铜、铝及镁合金	W1或硬质合金	W1或硬质合金	D2或CPM10V	O1, CPM10V或硬质合金

- 注： (a) 凹模和心轴用的工具钢通常镀铬。
 (b) “硬质合金”表示采用装在钢杆上的硬质合金的头。
 (c) 外径10英寸×壁厚3/4英寸。
 (d) 1.5mm以下用金刚石；1.5mm以上用硬质合金。
 (e) 推荐供大型管子或仅适用于不锈钢的复杂型材。

都采用硬质合金。拉拔 $\phi 90\text{mm}$ 以下的商用圆棒料很少用工具钢作拉拔模具，硬质合金常来作为拉拔外径大达280mm的不锈钢管。

对常规产品，必须拉制足够的数量，用硬质合金才合算。此外，棒材或管用硬质合金模还可改制供下一档较大尺寸模具之用。改制后模具的寿命基本上仍将与先前一样。在拉拔钢棒料时，如适当规划所要拉拔材料成分的顺序，可以增加模具的正常寿命。例如：拉拔直径为25.4mm含0.45%碳的钢棒料，允许直径负公差为0.08mm，但对这类产品必须允许棒料在通过模具时弹性膨胀0.05mm，当模具与工件接触面磨损到支承面最大尺寸时，直径仍将有25.35mm，这时，有可能用这模具来拉拔0.20%碳的钢棒料，因它的屈服强度较低。当这一档极限公差达到后（直径25.38mm或支承面0.999英寸），那么，这套模具还可用于含碳量更低的碳素钢，例如：低碳光圆，它的膨胀更少，直至支承面达到25.4mm，最后可将模具再加工到下一可用尺寸。在

很多情况下拉拔顺序的方案会比上述更要复杂。在规划拉拔顺序时，必须考虑影响拉拔尺寸大小的钟形角、引入角、后倒角以及相继的平直量，因为它们都会影响到弹性胀量。

由于硬质合金的高硬度，磨损到接近下一尺寸大小的硬质合金模具改制费用亦随之降低，但对用工具钢制成的模具就未必如此，因为可以把它退火软化，改制后再淬硬。

由于成本高的原因，对较大模具采用硬质合金可能有所顾虑。如果一个大的硬质合金破裂，经济上的损失很大，但直径大到280mm的硬质合金模具，也曾用得成功而且很经济。有一个工厂报道，在报废之前钢模平均可生产直径180mm的油井套管长达10千米，硬质合金模用于生产同样的套管平均可达122千米；有一个硬质合金模具已经生产过180千米。在此例中，硬质合金模每单位提拔长度的模具成本仅为钢模的五分之一。

当所需拉拔的形状很复杂时，模具材料的选择不太肯定。少于300米的小批量生产通常采用工具钢较便宜；对大批量生产，不带锐边的则用硬质合金通常更为经济些。因为锐边可能会使硬质合金碎裂，在此情况下，即使工具钢模会因为磨损而常要更换也要采用工具钢模。有一种常用的合适的P/M工具钢，CPM10V是代替硬质合金的另一代替品，CPM10V的韧性相当于常用工具钢D2和M2，在用于拉拔模时具有实质上较优越的抗磨性能。

截面可调模 截面可调凹模经常用于拉拔长方形和方形棒料，并在拉成后需带锐边的场合，凹模由实心硬质合金的侧块和端块组成，端块的尺寸大小决定于被拉棒料的位置，侧块的位置决定宽度，需要用一种特殊的凹模固定板，采用经过硬化并磨制的加强板以保证合适的配合。这种凹模不宜用来拉拔带圆角的长方形棒料。

心轴 不论是硬质合金或是经过硬化的工具钢，用作心轴是令人满意的。但当管子直径小于125mm，则用硬质合金更为经济些。为了这一应用目的是在适当长度做成硬质合金心轴头的

结构，有的是钎焊式的，有的是用机械方式套上去的，以便于更换。拉制型材的心轴头可用硬质合金，但对硬质合金的采用正像把硬质合金用于制作拉拔型材一样也要留有余地。拉拔内径超过155mm管子时，推荐采用工具钢心轴。

模具破裂 拉拔棒料与管子最经常发生的模具破裂便是模具设计中缩减率选择不当引起的。模具过硬也常导致破裂，特别是拉制薄壁管。缺少润滑，过高的拉拔速度及其他操作中的激烈情况也常导致模具破裂。

工具钢模的许可硬度与拉拔速度、缩减率成反比，对缩减率超过20%，高速度情况下，硬度可采用HRC58~60；对缩减小一些，速度低一些的，硬度可提高到HRC60~64。

当模具尺寸增大时，对硬质合金模具要注意选择硬质合金的类别。用于制作拉拔各种不同尺寸棒料和管子的硬质合金凹模材料见表71，最后选择哪一种，通常是在和供应商商量后决定的。

拉拔棒料和管子用模具的工作面光洁度是十分关键的，经过抛光的和不抛光的相比较，模具寿命可增加200%。对经过硬化的钢凹模和心轴，通常推荐采用0.08~0.25mm厚的镀铬层。

表 71 推荐供拉拔棒料、管子及型材凹模用的硬质合金类别

直径(a) mm	成分(b), %		硬度, HRA
	Co	TaC+TiC	
3~16	2.5~6.5	0~3	93~91
16~50	6.5~15	0~2	92~86
>50	15~30	0~5	88~83

注: (a) 对凹模指内径; 对心轴指外径; 对复杂形状指外接圆。
(b) 各种直径的剩余成分为WC。

第十五章 闭式热锻模材料的选择

本章所讨论的、用于立式热模锻压力机和锻锤上热锻的闭式热锻模，仅限于模块、凹模镶块及切边工具。在模锻时，锻锤——不论是重力、蒸气、空气-落锤或上、下模相对运动的锻锤——都是骤然一击，在锻模上加冲击负载。在压床上锻造，工作压力是快速推压而不是骤然一击。虽然模具受到较少的冲击，但是，由于压床比锻锤的动作缓慢，在锻造过程中，模具从热坯中吸收更多的热量。

被锻工件的形状和大小影响到改变热塑性材料形状所需的力和能量——从锻坯的初始形状（通常是圆的、方的或是平的）到锻造成型所需的力和能量还进一步受到材料成分的影响，例如当钢的合金成分增加时，热强度和随后的抗流动性也增加，锻成同种形状需要更多的能量；类似地，某些铜合金与铝合金锻造则比其它材料更容易得多。

一、模具损坏的原因

模具提前损坏的基本原因，是过大的力、磨擦和过热，以下三节将依次论述。此外，如果在冷态下使用模具会脆性破裂，因此，推荐预热到 $260\sim 300^{\circ}\text{C}$ 作法是把“加热器”（几块热钢块）放在模具中间或安装燃气体装置或电热装置，以保持设备停顿时的温度。

过大的力

过大的力会引起普遍的或局部的模具过量损耗及可能的破裂。用下面一些方法都可减少磨损与破裂：仔细选择模具钢与硬度；使用适当大小的模块；控制坯料重量及锻压温度；以及保证

工作压力的合理应用。从预锻到成形锻到终锻应有正确的金属流动，并要使模具在锻锤或压床内保持正确的位置。

磨损 磨损是锻造所固有的，没有什么实用的防止办法。磨损是由于热金属在型槽内的流动和伸展造成的，并随型槽复杂性的增加而增强。磨损的程度还受到被锻热金属热强度的影响，如果在被锻金属上有氧化皮，磨损作用还会继续增加。

虽然磨损不能消除，但可以通过良好模具的设计，模具钢成分与硬度的正确配合，以及锻压工艺：包括合适的加热，去皮（如果必须话）及正确模具润滑来减少。

温度过高 温度过高是引起模具早期磨损的最简单的原因，在选择模具钢材时，耐热是主要考虑的因素。锻造各种金属的典型温度如下：

镁合金	370 ℃
铝合金	425 ℃
铜合金	815 ℃
工具钢	1040 ℃
不锈钢和耐热合金	1200 ℃
碳素钢和合金钢	1260 ℃

视成分不同，实际温度可能较上表所列有55℃或更多的差异，因为锻造可能在370~1260℃范围内进行，所以模具材料可能受到的工作温度范围也十分宽。在锻造钢材时，模块内的温度常达到150~300℃，但那些薄的凸出的部分或芯子温度还可能高达400~550℃。在锻造铝和镁合金时，希望加热模具，使模具的温度保持在金属的锻造温度附近，以减少由于与模具接触而使热量在锻造中失去。

在锻造钢材和其他难锻的金属时，模具表面可能达到比上述还要高的温度，从而形成龟裂（见图57）。龟裂即在模具表面产

生细小的裂纹，它主要分布在角落里或模腔内的突出部分。这由于在锻造中，工作面的温度较高，表面膨胀量比模块内部要大的缘故。膨胀的差异导致已产生拉应力的表面的塑性变形并在冷却中裂开。一旦表面有了微裂，工作压力（特别是冲击载荷）又会使裂纹扩大，如果让这种裂纹继续增长，会使模块裂开。

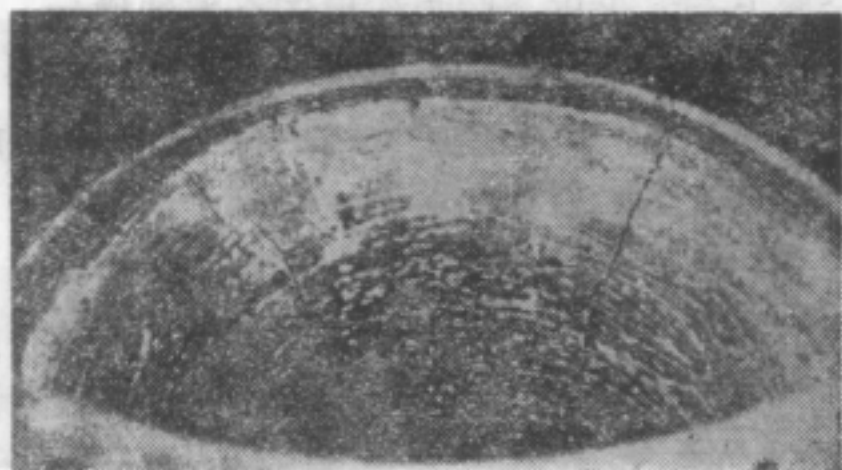


图 57 在一个由于过热而损坏的D-6ac
锻模上肉眼能够看到的热网裂

在平均锻造温度为1100℃使用次数不明情况下，对225公斤镍基合金预锻所出现的热网裂

在锻造钢材和耐热合金时，龟裂最大，铜合金较少，铝、镁合金更少。由于较低的锻造温度，对非铁属合金的锻造，其他因素比龟裂更能影响模具钢的选择。

除非采取适当的冷却，否则，连续生产会使模具的某些部分过热。不应采用喷水来冷却热点，这样作会引入很高热应力，从而导致模具早期损坏。如果所用锻造技术不能防止模具过热，则模具或模具的某些部分应采用耐热性较好的工具钢。

二、模具材料

下面所论述的各种标准类型的工具钢的成分和性能，在本书内随处都可找到。通常用作预硬化模块的三种非标准低合金工具

钢的名义成分见表72。

表 72 作模块用的非标准工具钢的名义成分

钢(a)	成 分, %						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
6G	0.55	0.80	0.25	1.00	—	0.45	0.10(b)
6F2	0.55	0.85	0.25	1.00	1.00	0.40	0.10(b)
6F3	0.55	0.60	0.85	1.00	1.80	0.75	0.10(b)

注: (a) 不论是AISI或SAE都未曾对这些工具钢定过型号。
(b) 选用。

适合于制作锻模的预硬化模块有一通用的成分和硬度范围。预硬化工具钢还可用来作小型模块、凹模镶块和切边工具。为便于机加工, 各种预硬化的钢材也可在退火状态下应用; 一旦机加工到所要求的轮廓, 就采用标准工具钢通常采用的方法进行淬硬及精加工。

表73列出了市场上可以获得的五种预硬化模块的硬度范围。硬度范围采用布氏、洛氏及肖氏来表示。

硬度通常用布氏硬度计测量, 因为几乎所有模块对标准洛氏

表 73 各种工具钢的预硬化模块的正常硬度范围

硬度, HB	布氏测试头 直径(a), mm	硬度HRC	肖氏硬度
444~477	2.80~2.90	47~50	63~66
388~429	2.95~3.10	42~46	56~61
341~375	3.15~3.30	37~40	50~54
302~331	3.35~3.50	32~36	45~48
269~293(b)	3.55~3.70	28~31(b)	45~43(b)

注: (a) 模块硬度常用3000公斤试验时的布氏测试头直径表示。
(b) 经淬火并回火的模块也可获得低硬度。

硬度计来说都显得太大了，还因为布氏硬度计对大型模块中可能存在的微小的组织上差异不太敏感。作布氏测量时，用硬质合金球在经过淬硬的模块上测量，因为硬质合金球在高硬度下，具有较好的抗变形特性，而且较钢球有更好的尺寸稳定性。

在许多锻造车间里，因为肖氏硬度计便于携带，硬度常用肖氏硬度计测量，然后换算到其它硬度值。

经预硬化的模块钢材常以硬度和适当名字来供采购用。供锻锤及热模锻压力机上用的模块和凹模镶块的典型工具钢及其布氏硬度见表74，在该表内，列出了图58所示加工难度渐增的6种假想锻件所推荐采用的模具材料，内容包括两种不同生产量及4种锻件材料。

表74所列的钢材与硬度是以最低的总成本（包括材料及制造费用）和避免断裂为基础来作推荐的，若用碳素钢或低合金钢来制造为数不太多的零件时，也可考虑用硬度较低的低合金工具

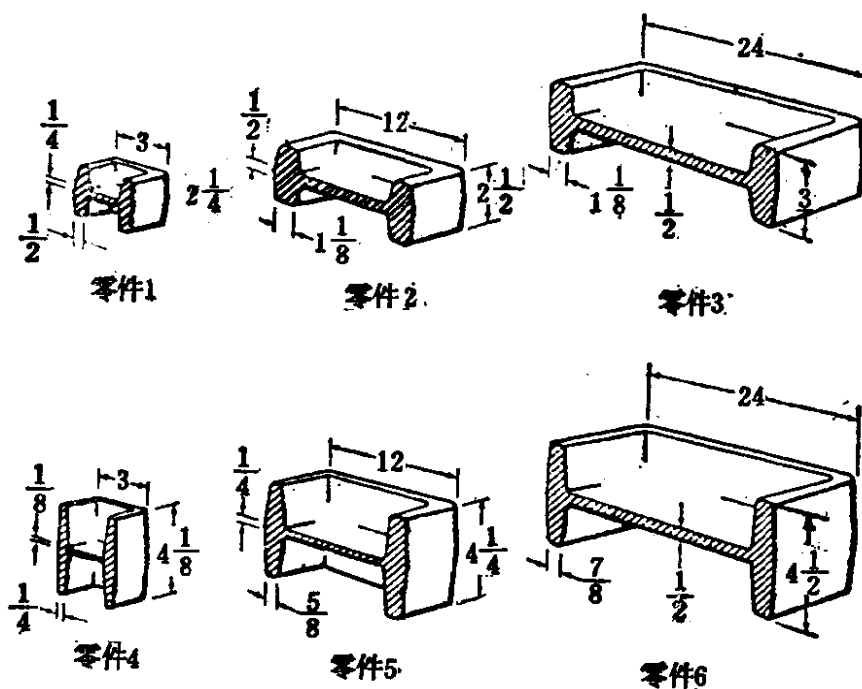


图 58 难度逐渐增加的 6 种假想锻件

图上尺寸均为英寸，化为mm时，需用图上尺寸乘25
典型的模具材料和硬度范围见表74。

表 74

供模块和凹模镶块用的典型工具钢

(锻件示例, 见图58)

被锻金属	典型模具材料与硬度范围		压机锻造
	锻锤锻造	10,000件以上	
供锻造难度不大于零件1的锻件		100~10,000件	10,000件以上
碳素及合金钢	6F2或6G	6F2或6G	6F3HB369~388
	HB341~375	HB388~429	或H11或H12HB 388~405(a)
不锈钢及耐热合金	6F2或6G	6F2或6G	H11或H12镶块,
	HB388~429	HB388~429	HB477~543
铝及镁合金	6F2或6G	6F2或6G	或H26HB514~577(b)
	HB302~331	HB341~375	6F3, HB375~405
铜及铜合金	6F2或6G, HB341~375	6F2或6G, HB341~375	或H11或H12, HB 448~477(a)
	或H11或H12, HB405~433	或H11或H12, HB405~448	H11或H12 HB477~514
供锻造难度不大于零件2的锻件			
碳素钢及合金钢	6F2或6G	6F2或6G	6F3, HB369~388
	HB341~375	HB341~375	H11或H12, HB388~405(a)

续表

被锻金属	典型模具材料与硬度范围		压机锻造
	锻锤锻造	100~10,000件	
不锈钢及耐热合金	100~10,000件	10,000件以上	10,000件以上
	6F2或6G HB341~375	6F2或6G HB341~375 用6F3作镶块 HB405~448	...
铝及镁合金	6F2或6G HB302~331	6F2或6G HB341~375 H11或H12, HB405~448(a)	6F2或6G, HB341~ 375 用6F3作镶块 HB405~448 H11或H12, HB448 447(a)
	6F2或6G HB341~375	6F2或6G HB341~375	H11或H12 447(a)
钢及铜合金	6F2或6G HB341~375	6F2或6G HB341~375	H11或H12
	6F2或6G HB341~375	6F2或6G HB341~375	HB477~514
供锻造部件难度不大于零件3的锻件			
低合金钢, 不锈钢及耐热合金	6F2或6G	6F2或6G, HB302~331 用相同钢作镶块 HB341~375	...
	6F2或6G	6F2或6G, HB302~331 用相同钢作镶块 HB341~375	...

续表

锻金属	典型模具材料及硬度范围		
	锻锤锻造	压机锻造	10,000件以上
铝、镁及铜合金	100~10,000件 6F2或6G HB269~293	100~10,000件 6F2或6G HB302~331	10,000件以上 ...
供锻造难度不大于零件4的锻件			
碳素钢和合金钢	100~10,000件 6F2或6G, HB341~375, 整体的或用H11或H12 作芯子(c) HB369~388	100~10,000件 6F2或6G, HB341~ 375, H11或H12芯子 HB369~388, 或H11 或H12, HB405~433	10,000件以上 6F2或6G HB388~429 H11或H12作芯子 HB405~433
不锈钢和耐热合金	100~10,000件 6F2或6G, HB341~375, 整体的或用H11或H12 作芯子(c) HB429~448	100~10,000件 6F2或6G HB388~429, 整体的或用 H11或H12作芯子 (c), HB429~448	10,000件以上 6F2或6G HB341~375, 用H11 或H12作芯子 HB429~448
铝和镁合金	100~10,000件 6F2或6G, HB341~375 或H11或H12 HB405~433	100~10,000件 6F2或6G HB341~375, 用H11 或H12作芯子 HB405~433, 或H11或H12 H12, HB405~433	10,000件以上 6F2或6G HB341~375, 用H11 或H12作芯子 HB429~448

续表

被锻金属	典型模具材料及硬度范围		
	锻锤锻造		压机锻造
	100~10,000件	10,000件以上	100~10,100件 10,000件以上
铜和铜合金	H11或H12, HB405~433	H11或H12 HB405~433	H11或H12 HB405~433 6F2或6G HB341~375, 用H11或H12作芯子 HB429~448
供锻造难度不大于零件5的锻件 碳素和合金钢	6F2或6G HB302~331	6F2或6G HB302~331, 整体的或6F3 作芯子(a) HB369~388 6F2或6G, HB302~331	6F2或6G HB341~375 6F3HB369~388, 用H11或H12作芯子 HB369~388
不锈钢和耐热合金	6F2或6G HB302~331	6F2或6G HB302~331 用H11或H12作芯子HB369~388	... ... 6F2或6G, HB341~375, H11或H12作芯子(d) HB429~448
铜和铁合金	6F2或6G HB269~293	6F2或6G, HB269~293 用相同的铜作芯子 HB302~331	6F2或6G, HB341~375, H11或H12作芯子(d) HB429~448

续表

被锻金属	典型模具材料及硬度范围		
	锻锤锻造	10,000件以上	压机锻造
铜和铜合金	100~10,000件 6F2或6G	10,000件以上 6F2或6G, HB302~331, H11或H12作芯子 HB405~448	100~10,000件 6F2或6G H11或H12 HB477~514
供锻造难度不大于零件6的锻件			
低合金钢、不锈钢和耐热合金	6F2或6G HB269~293(d)	6F2或6G, HB269~293, 用相同的钢作芯子 HB341~375	6F2或6G HB269~293 HB341~375 ...
铝、镁和铜合金	6F2或6G HB269~293	6F2或6G HB269~293	6F2或6G HB269~293 ...

注: (a) 推荐供大量生产用, 例如50,000件。

(b) 推荐供锻造高合金、耐热材料用, 如镍基和钴基合金。

(c) 推荐供1000~10,000件用。

(d) 对于大批量生产——例如50,000件——推荐采用由硬度HB477~514的H11或H12工具钢制成一个实心块。

(e) 对1,000件以上, 推荐采用硬度HB341~375的同种材料的芯子。

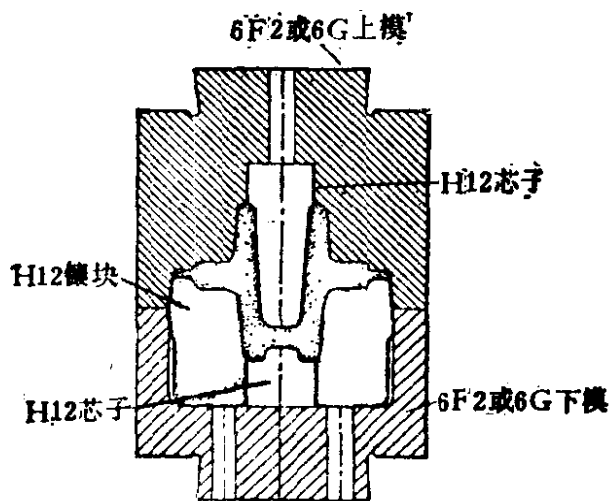


图 59 汽车轴套典型模具设计

常推荐采用芯型镶块（未画剖面线部分）来锻造上述难度锻件（图中涂墨部分表示汽车轴套剖面）。在此情况下，上模部分的H12芯子与下模部分的一个很完整的H12镶块配合使用

钢。供锻造不锈钢及耐热合金钢，则需硬度略高的模具。

锻造铜合金时，较贵的H11和H12工具钢是合适的，因为铜合金在其最高锻造温度下具有较大的流动阻力，氧化铜是有腐蚀性的，而铜合金锻造用的模具常比钢锻件公差要求要小，这两种特性要求模具材料有高的耐磨性。

如表74所示，较高硬度适用于压床锻造，因为成型模具不受冲击。由于与热工作金属长时间相接触，压床锻模必须由在高温下有较高的抗软化能力的钢制成。

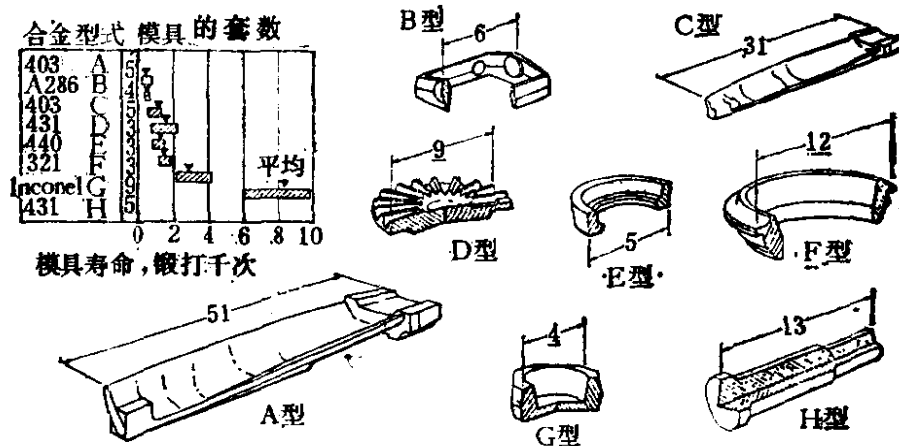


图 60 用 6 G 钢模锻造 8 种不同的不锈钢和耐热合金锻件的模具寿命

模具硬度HB341~375，图的左上角给出了所示的模具套数的平均寿命及寿命范围。A型到H型大致按难度渐减顺序排列，尺寸均为英寸，化为mm时，要将图中尺寸乘以25

和芯型镶块相结合的**模具结构**常用于锻造形状较复杂的锻件，图59系用于闭式模锻造汽车轴套的芯型镶块。

图60系锻件的大小和形状对模具寿命的影响，图60的左上方的图表为在同一厂内用于锻造八种不同的不锈钢和耐热合金8种不同零件的锻模寿命数据。锻造合金类别不同，是影响模具寿命最主要因素，例如：在锻造431型不锈钢齿轮坯料中，3套模具的平均寿命仅为1,500件（D型），但用同种材料锻造比较简单的零件（H型）时，8套模具的平均寿命为8,000件。

三、切边模

通常在150℃以下切除金属飞边称为冷切边，在500℃或以上切边称为热切边。为了便于选择切边模材料，在150~500℃范围内仍作为热切边考虑。

究竟切边工作应在热时或冷时进行，主要视切边是一般的或精密的，以及被切边材料的成分。表75给出了冷、热切边模的典型材料。碳素钢和合金钢可以在冷态或者在热态下切边，但精密一些的切边通常是在热态下进行。不锈钢和耐热合金常在热态下切边，而非铁属合金则可在冷或热的状态下进行切边。

冷切边 通常采用报废的模块，供作冷切边碳素钢和合金钢锻件的凸模之用。由于采用这种做法，经预硬化的低合金模具钢被认为是制作各种型式凸模最令人满意并得到广泛使用的材料。虽然高碳合金工具钢如A2曾被满意地用来作为正常冷切边碳素钢和合金钢锻件的凹模刃口材料，但选用D2常更好些，因为它的寿命更长。

经淬火并回火的6150钢，常被成功地用来供制作有色金属锻件一般冷切边的凸模，其它类似6150硬度的合金钢，用于这种场合也能令人满意。供较精密切边时，D2有能保存切刃的特性，用它作为切边凸模材料更为合用。还推荐这种材料，供制作有色金

属锻件较精密冷切边的切口。

热切边 经过预硬化的模具钢用作碳素钢、合金钢和不锈钢锻件的热切边凸模材料能令人满意。供有色金属锻件热切边用的凸模材料就不那么紧张了。由于便宜的缘故，常选用轧制或经过退火的1020钢作凸模。

常选用表面硬化的碳素钢作为切边切口（见表75）。经过表面硬化切口的一个优点，是容易修复刃口中的裂口。表75中（4A型）钴基合金具有高的耐冲击、耐热和耐磨的特性，大多数锻造厂愿意选用这种合金（或类似合金）来制作所有切边切口。关于4A合金及其它硬表面的合金资料在本书内任何地方都能找到。

四、等温锻造模具

锻造相当高热强度的材料如钛合金、镍基超级合金时，采用等温锻造工艺最为合适。等温锻造，便是将模具在整个加工过程中加热到并小心地保持在与锻件相同的温度。这种方法消除了冷模影响，其结果是尺寸十分精确，减低锻造负荷，比常规热模锻所需的预备工步要少。

等温锻造钛合金的典型温度为870~980℃，镍基超级合金为925~1100℃，对模具材料要求高热强度、抗裂和抗氧化。等温锻钛合金的模具是由铸镍基超级合金制成，开始时它是作燃气轮机叶片用的。在这些超级合金中，IN-100曾用在等温模具中取得满意的结果，但在高温和应力的严重恶劣环境下，过量塑性变形成为IN-100模具的最主要的失效原因。在恶劣环境下，用一种甚至更高屈服强度的合金TRW-NASAVIA来代替IN-100，已经证明是十分有效的。

等温锻造镍基超级合金常用钼合金TZM制成的锻模预锻。在工作温度下TZM模具对氧化很敏感，要求在真空中预锻。只

表 75 切边模用的典型材料

被切边的材料	冷切边				热切边(a)	
	一般切边		精密切边		凸模	切口
	凸模	切口	凸模	切口		
碳素钢及合金钢	6F2或6G HB 341~375	D2 HRC54~56	一般热切边	6F2或6G HB 341~375	在1035钢上复硬 表面合金4A(b), 或D2HRC58~60	
不锈钢及耐热合金	一般热切边	一般热切边	一般热切边	6F2或6G HB 388~429	D2 HRC58~60	
铝, 镁和铜合金	6150 HB 461~477	在1020钢上复硬表面合金4A(b), 或01 HRC58~60	D2 HRC58~60	1020软钢	在1020钢上复硬 表面合金4A(b)	

注 (a) 普通切边与精切。

(b) 硬表面合金4A的正常成分: 1C, 30Cr, 3Ni, 4.5W, 60Co, 其余铁。欲知细节, 查本书内有关硬表面合金介绍。

有在被锻造的合金不能用任何其它方法来锻造或是可以节省大量昂贵的、难以买到的原料情况下，需要大量投资而生产率又低的真空锻造才是花得来的。

第十六章 热锻锻模材料的选择

热锻锻模材料的选择，须视被锻的材料、工件大小、模具形状与设计的复杂性、生产率和生产数量以及所采用的锻压与加热设备而定。本章所述模具仅限于卧式平锻机用的锻头模、夹紧模和辅助工具。

由热锻锻方法锻造的锻件尺寸范围自13mm螺栓至305mm石油工业用的带法兰管。生产率的变化与锻件大小和自动化有关，采用自动送料允许最高生产率达7200次/小时。如用于螺栓制造，需要有在高温下长时间连续使用的工具材料，对中等大小的零件，例如汽车用锻件，其生产率常在120~150件/小时，模具在两次打击之间有足够时间冷却，可采用热强度较低的模具材料。螺栓制造工业用的高合金、高硬度锻锻模并不适用于中等大小的汽车锻锻件，因为这样高硬度的模具是太容易破裂了。以较低速度锻锻更大的锻件时，因为热锻件与模具之间较长时间的接触，模具要求在锻造温度下有较高的强度和较高的合金含量。

模具形状的复杂性也影响到热锻锻模具钢材的选择。锐角、锐边大大增加了应力集中，而单薄断面会受到极端严重的负荷与很高的热应力。内凸模和心轴会受到高的冲击负荷和滑动摩擦磨损，因为它们的寿命短并常设计成可更换的，可更换的镶块可用于寿命短的夹紧模以及需要公差较严的锻件的模具。

在选择模具材料时，被锻材料是十分关键的。在锻造温度下，碳素钢与低合金钢较不锈钢与耐热合金钢的强度低，模具可以用较便宜的工具钢来制造。

在锻锻耐热钢或钛合金，即使用最好的模具钢，寿命也不长。

本章内所提及的各类工具钢和 AISI 各种钢的成分与性能在

本书内随处可见。供制作热锻模的6种非标准工具钢的名义成分见表76。

表 76 供热锻模用的非标准工具钢的名义成分

型号(a)	成 分, %						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
6G	0.55	0.80	0.25	1.00	...	0.45	0.10(b)
6F2	0.55	0.75	0.25	1.00	1.00	0.30	0.10(b)
6F3	0.55	0.80	0.85	1.00	1.80	0.75	0.10(b)
6F4	0.20	0.70	0.25	...	3.00	3.35	...
6H1	0.55	...	...	4.00	...	0.45	0.85
6H2	0.55	0.40	1.10	5.00	1.50	1.50	1.00

注: (a) UNS, AISI及SAE并未为这些工具钢编号。
(b) 可任意选择的。

一、锻头模与夹紧模

热锻模通常作成镶块式模具, 多工位的锻模和锻头模例子和用在它们中的镶块例子见图61。表77概述了用来制作如图62所示不同难度的零件的热锻模典型材料。图62中零件1表示纯锻粗, 零件2和3表示两种不同难度的冲孔和锻粗, 三种形状中, 每一种都是一次而成。对这三种形状锻件, 制作锻件所需的(不计夹持部分)原始坯料的长度为坯料直径的2.5倍。

用低碳钢和合金渗碳钢热锻简单带法兰形状的零件时, 锻头模有时比夹紧模损坏得更快一些。例如: 用1020, 1045或4140热锻13~25mm六角螺栓头, 它的锻头模与夹紧模均用H13工具钢制成, 但锻头模的硬度较高些, 在同等磨损的条件下, 硬度高的预计磨损速度慢些, 但图63示出锻造28,000件后锻头模所产生的磨损量(0.15mm)与锻造40,000件较软夹紧模所产生的

表 77

典型热锻锻模材料

被锻材料	不同总生产数量 (件) 的模具材料型号和硬度范围				
	100 夹紧模	1,000~10,000 夹紧模	50,000及以上 夹紧模	50,000及以上 锻头模	50,000及以上 锻头模
对锻最大外形、复杂程度如零件1的锻件(零件1) (a)					
碳素钢与低合金钢	4150钢HRC38~42 或4340锻块 HRC38~42	含0.70C的W1 HRC42~46或 4340锻块 HRC38~42	6H1或H11钢 HRC46~50 或4340锻块 HRC38~42	6H1或H11钢 HRC44~48或 6G(b)锻块 HRC41~45	H11钢, HRC46~50 6H2钢HRC52~56或 6G(b)锻块 HRC41~45
不锈钢与耐热合金(310钢以下)	6G(b)锻块 HRC38~42	6F3锻块 HRC42~46	H11钢HRC 46~50或用 H11作锻块	6H2钢HRC52~ 56或H11锻块, HRC44~48	6H2钢HRC52~56 或H11锻块, HRC48~52
对需要锻锻与穿孔的锻件(零件2,3)					
碳素钢与合金钢	4340锻块 HRC38~42或 6G(b)锻块 HRC36~40	4340锻块 HRC42~46或 6G(b)锻块 HRC41~45	4340锻块 HRC38~42或 6G(b)锻块 HRC46~48	H11或H11锻块 HRC42~48	H12或M10钢 HRC50~52或H11 锻块, HRC46~50
不锈钢与耐热合金(310号钢以下)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)

注: a 所有头部均为圆形, 一次锻成, 有关尺寸见图示。

(b) 6F2模具钢可以代替6G。

(c) 推荐采用如零件1所示的同一模具材料锻锻零件2。零件3太难锻, 不宜制造不锈钢或耐热合金。

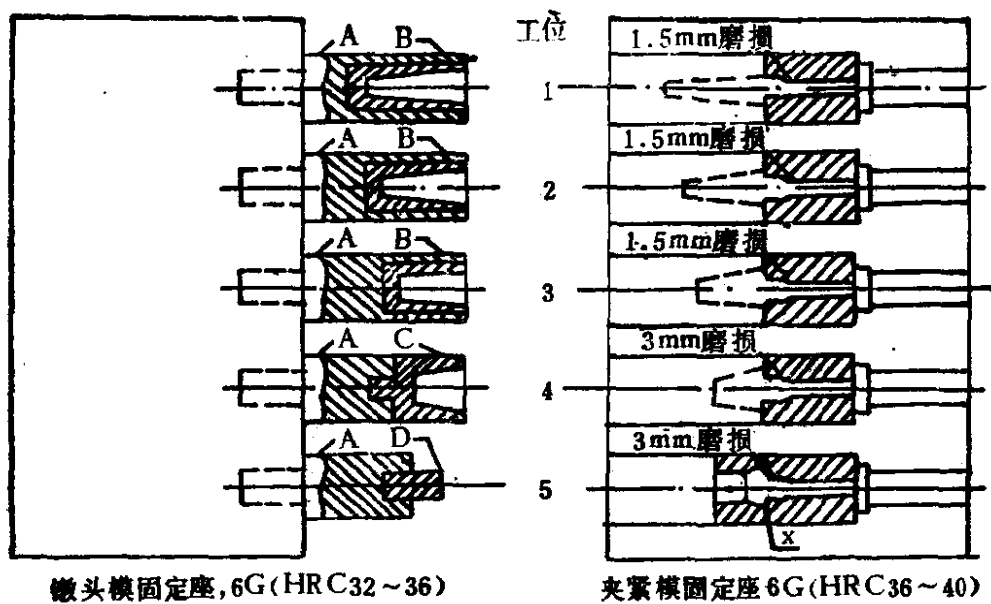


图 61 供锻制后轴汽阀用的多工位锻锻和锻头模

锻头模镶块：镶块固定座(A)和套筒镶块(B)由4340钢制成，并淬硬到HRC38~40。帽形镶块(C)用4340钢制成，并淬硬到HRC36~38。凸模镶块(D)由6F3制成，并淬硬到HRC44~46。夹紧模镶块：第1、2、3工位其镶块由4340、6G或6F2制成，并淬硬到HRC36~40；6F4钢因焊接性较好，用于第4、5工位。图示X处为磨损3mm后焊接处，补焊后在540℃退火。镶块在达到每工步图示肩部磨损量时更换

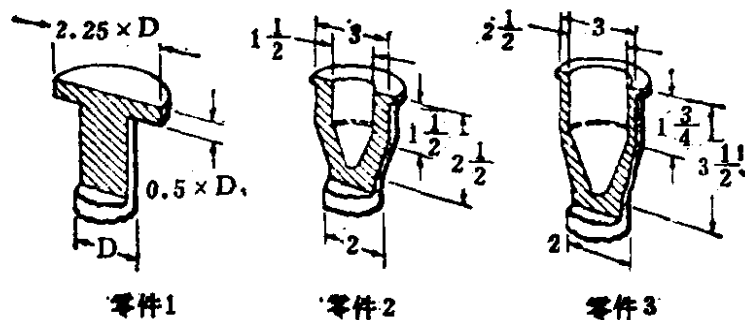


图 62 由热锻制成的三种典型锻件

锻件2、3的尺寸为英寸，乘25换算成mm。圆角半径与常用商业标准相同。典型的锻头...与夹紧模材料见表77

磨损量相同。

在某种难度条件下锻造，反过来也是可能的，例如图64所示不对称驾驶轮锻件，在锻造时毛坯材料集中在夹紧模的一侧，因为大量金属的流动，结果在该部分由于模具的负荷较大而磨损较快。

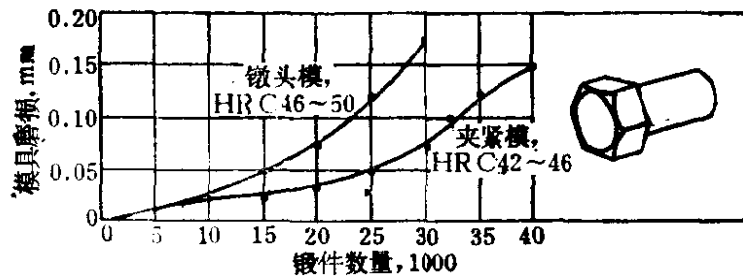


图63 用H13工具钢制成的模具磨损比较

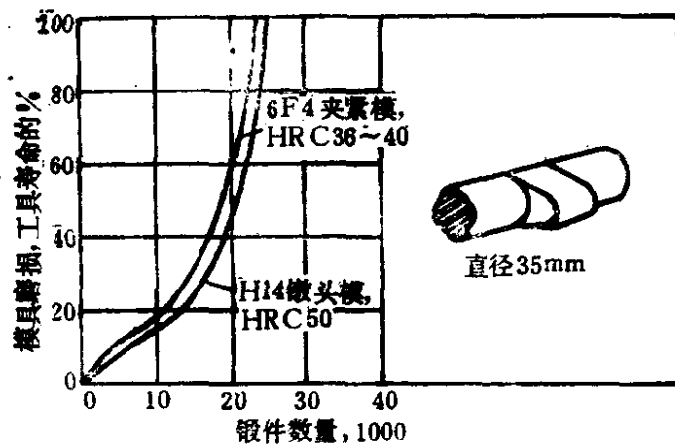


图64 用6F4和H14工具钢制成的模具磨损比较

上图的数据系以用5132钢锻造图示形状438,000件驾驶机构传动轴为基础

锻造某一零件时，用来冷却热锻模的冷却水量，通常并不影响模具钢材的选择。不过，在螺栓制造工业中，用含钨工具钢制成的水冷模具，在高生产率时（每分钟100件规模），则容易开裂和龟裂。象在这样高的生产率情况下，热螺栓坯料几乎一直是和模具相接触，很少有机会冷却，在这样情况下，水冷会施加激烈的热冲击。低碳（0.58~0.65% C）M10高速钢热处理到 HR-

C58用起来很好，与用T1热处理到同样硬度，效用相同。

如用6G或6F2低合金钢作镶块，调节冷却水流量使模温低于200℃，可改善耐磨性能。在这样温度下，如果换成别种低合金模具钢，情况改善不明显。

在锻造钢料时，模具润滑降低速度，所以没被广泛使用，在深冲和冲孔中，可能采用某些润滑，但仅用于防止工件与凸模粘结。模具润滑可以改善耐磨性能，但还没有取得润滑与模具性能之间的关系，使润滑成为选用模具钢时所应考虑的一个因素。

二、附属工具

附属热锻造的工具的典型材料和硬度如表78所示。在高温下抗软化能力是选择剪切工具材料的主要因素，没有这种特性就会出现提前变形或最终的破裂。工具与被剪切坯料之间的不断接触，使大量热都传到刀刃上，由于退火而软化，遇毛坯尺寸较大时，这个问题更为严重，因为被剪切的材料体积大，接触的时间长。具有高热强度和高抗剪性的高合金钢将要求最高级性能的工具材料，硬表面合金结构钢（例如8630和4340）用作小型和中等尺寸的锻件的大多数剪切应用是令人满意的。

如果切边与锻造模合并在一起，那么在选择工具钢时要特别仔细。如果放在同一模座内的切边工具不好使了，那么就会造成停机的损失。此外，切边工具的损坏会导致不合理的剪切，严重地缩短了随后模腔的寿命并产生废品。

如果飞边是由组合工具切边的，这种工具通常不用表面硬化，因为硬表面有可能碎裂或剥落，碎片会使整副模具损坏，这种切边工具通常是用H11或H21工具钢制成。为了适应大部分锻造零件尺寸大小或材料的变化，通常无需改变切边工具的要求。对特大的飞边推荐采用H21。

表面硬化碳素钢（例如1040）对大多数冷切边工序是很合适

表 78

典型附属工具材料

工 具 种 类	材 料 (a)
热剪切飞边工具	8630, 硬表面(b)(c) H11, HRC 46~50 H21, HRC 50~52(d)
冷剪切飞边工具	1040硬表面(b) 6G 或 6F2, HRC48~50 D2, HRC 56~58
附属凸模	6F3, HRC 44~48 8630硬表面(b)
弯曲工具	6F3, HRC 40~44 H11, HRC 46~50
推 杆	6F3, HRC 44~48 M10, HRC 58~58
热打记号工具	M2, HRC 58~60

注: (a) 表中有为某种特殊用途推荐了多于一种材料时, 其排列顺序按成本由低到高排列。

(b) 具有一种合金为1.10C, 30Cr, 3Ni, 4.5W, 60Co, 其余为铁的硬表面, 硬度最低HRC48。

(c) 如果锻造模和切边合并时, 不推荐。

(d) 供切厚大飞边选用。

的, 6G和6F2模具钢也用 D2型工具钢比6G或6F2寿命更为长些, 但价钱也高些。

第十七章 热挤压工具 材料的选择

热挤压工具是在温度、压力和磨损等困难运行条件下进行操作的。挤压过程基本上是力迫使塑性状态的材料在高压下通过一个适当的模具形成连续的长条形，某些软金属如铅和铝，具有相当的塑性，可以在接近于室温状态下挤压，但其它大多数金属和合金，则在温度提高的情况下挤压。

典型热挤压坯料的温度如表79所示。

表 79 典型热挤压的坯料温度

材 料	坯料温度 ℃
铅合金	90~260
镁合金	340~430
铝合金	340~510
铜合金	650~1100
钛合金	870~1040
镍合金	1100~1260
钢	1100~1260

热挤压通常是在卧式挤压机上操作的，这种机床的额定容量自几百Mg~13Gg（几百至13000吨），容量为1.5~2.3Gg（1600~2500吨）压床最为普遍，这种压床可以生产所有各种标准尺寸的铝合金型材和管材。表80为由 $\phi 100 \sim \phi 275$ 坯料挤压铝合金型材推荐的压床容量。为了由给定的工作金属满意地挤出不同

表 80

推荐挤压铝合金的压床容量

圆型材直径 mm	型材最小厚度 mm	所需挤压压力 MPa	压力缸内径 mm	所需压床容量 Gg 吨	
低、中强度合金					
0~75	1.15	620	110	0.6	650
75~100	1.25	520	160	1.0	1150
100~150	1.60	520	185	1.4	1550
150~200	2.00	520	235	2.3	2500
200~250	2.80	350	285	2.3	2500
高强度合金					
0~75	1.25	1035	110	0.9	1060
75~100	1.60	1035	160	2.1	2300
100~150	2.00	830	185	2.3	2500
150~200	2.80	690	235	3.1	3400
200~250	4.80	585	285	3.8	4200

的产品的需要，可以改变特殊的机械装置。其中主要的变更之一便是影响挤压力的压力腔内径，例如选用2.3Gg (2500吨)压床，变更压力腔内径会产生各种不同的挤压力。举例如下：

压力腔内径 mm	挤 压 力 MPa
160	1100
185	855
210	660
235	520
285	360

现有商用热挤压工艺（以产品吨位为基础）系用单装料直接挤压，并带有残余切头，这种工艺所用到的工具的基本零件参照图65，说明如下：

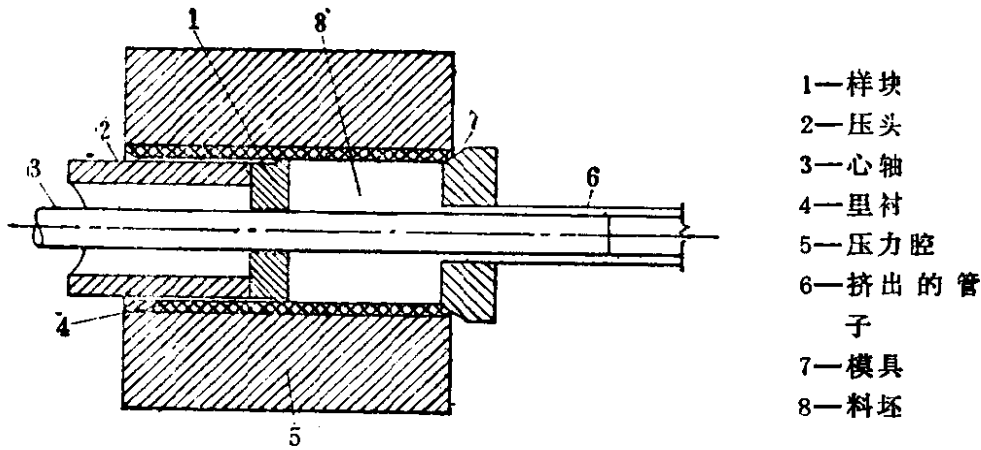


图 65 挤压无缝钢管典型工具

在本装置中，心轴装在压床的穿孔器上并穿过中空压头进行工作。

- 压力腔 压力腔供放入被挤压的热坯料之用。腔体可以加热，通常装入一个里衬，里衬在挤压坯料时必须有抗磨蚀作用，并应在温度提高的情况下，保持相当高的硬度。腔体与里衬具有高抗裂的韧性，并具有良好的抗低频疲劳的性能；
- 压头 压头在压力腔里衬内动作，将压力缸内的压力传递给坯料，压头必须能承受高频压缩负载，其材料应具有良好的抗镦粗、抗加工硬化、抗热冲击以及快速施加的应力；
- 样块 样块介于压头与坯料之间，用以吸收热量及防腐蚀，否则就会直接作用到压头上。在接近于坯料温度的情况下，样块应能抵抗坯料压出凹痕；
- 模具或模具装配 坯料通过模具后被挤压成棒料或所需的形状。模具装配主要包括下述零件（见图66）：①一个有挤压型腔的凹模；②一个凹模环（凹模固定座）；③一个凹模支承块；④一个或几个垫枕；⑤一个或数个辅助垫枕；⑥模具托架（凹模滑座或凹模套）。凹模本身必须具有高的韧性并在高温下有抗磨损及抗软化的性能。模具装

配的其它零件应具有高强度和高韧性；

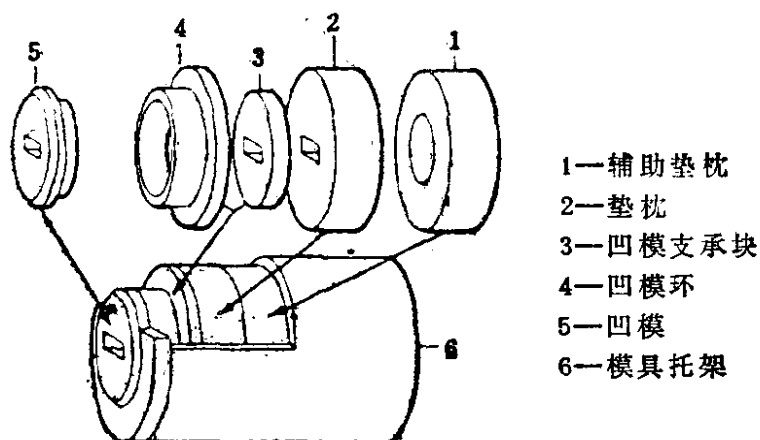


图66 指出模具托架内各零件的相对位置的典型挤压模装配

• 心轴 心轴用于制造中空产品。心轴必须具有高的热硬性、抗磨蚀性、断裂韧性和屈服强度。

在压头后退时，把一块热坯料放入压力腔内，在压头与坯料之间插入一块样块，热坯料被推入压力腔的里衬内，并在高压下沿着模具向前推进，金属通过模腔被挤出所需的形状，然后从夹持端锯断或剪断。

一、模具损坏的原因

模具的大部分损坏属于破裂，许多模具破裂实例均是由于试图挤压“冷”坯料所造成的；不过，其它各种工艺的变化也会造成模具破裂。模具过硬或含碳量过高，特别是在挤压形状复杂的工件时，也会引起破裂。破裂或裂开是由于预热不够充分、渗碳作用、骤然冷却、温度过高以及其它如机械装配配合不良和支承差，或者由于钢材选用或热处理不当等原因造成。

磨损、冲刷或由于腐蚀而造成的尺寸损耗，可能是由于低硬度或凹模表面脱碳的缘故。在可能的情况下，过热常可以用冷却液来

减少，或让模具在装置内转动。为了避免过多热量的积累，提高挤压速度也是必要的。龟裂是由使用中过热、硬度过高、急剧淬火和磨削应力所造成的，如果合金在挤压中受到渗碳或脱碳时，龟裂常会显得更加严重。

经常周期性的消除压头及其它未经预热的高硬度工具的应力，会提高工具的寿命和减少由于工具损坏停机的可能性。约在65℃温度下存放压头会减轻故障的发生。为了安全操作起见，经常用超声波或磁性分析法检查是十分必要的。

二、工具材料

表81列述热挤压工具用的典型材料及硬度。铝和镁的热挤压在许多情况下是相仿的，主要区别在于所用的压力有所不同而已。通常同种工具材料可以适用于挤压铝或镁。表81所列工具钢的性能和成分在原著第一卷中均可找到，某些热挤压工具用的超级合金的典型成分见表82。

供挤压铝合金和铜合金的模具通常由H11、H12或H13制成。有些公司推荐采用含钨热模钢H14、H19和H21供挤压铜合金之用。欲挤压钢材，通常可采用H13整体凹模或具有铸H21镶块的H13凹模。

样块、衬垫、垫枕和凹模环通常由H11、H12和H13制成。在挤压铜、黄铜和钢时，有时也用H14、H19和H21。因康镍合金718和其它超级合金，有时也用作样块，应用这些合金常得到很高的工具寿命。

不管被挤压的材料是什么，心轴通常是用H11或H13制成。大多数挤压铝的心轴尖头和镶块均用T1或M2制成；挤压铜和黄铜用的心轴尖头和镶块通常用因康镍合金718；挤压钢用H11、H12、H13、H19或H21做尖头和镶块。

挤压铝或钢的里衬通常用H11、H12或H13；挤压铜和黄铜

表 81

供热挤压用的工具典型材料及硬度

工具应用	供挤压下述材料用的工具				硬度, HRC	工具材料	硬度, HRC	工具材料	硬度, HRC
	铝	镁	铜和青铜	钢					
供挤压各种型 材和管子的凹模	H11, H12	47~51	H11, H12, H13	42~44	H13	44~48			
	H13		H14, H19, H21	34~36	铸造的H21镍块	51~54			
样块、支承块、垫 枕及凹模环	H11, H12,	46~50	H11, H12, H13	40~44	H11, H12, H13	40~44			
	H13		H14, H19	40~42	H19, H21	40~42			
心轴			因康镍合金718	...	因康镍合金718	...			
	H11, H13	46~50	H11, H13	46~50	H11, H13	46~50			
心轴头及镶块	T1, M2	55~60	因康镍合金718	...	H11, H12, H13	40~44			
					H19, H21	45~50			
里衬	H11, H12, H13	42~47	A-286, V-57	...	H11, H12, H13	42~47			
	H11, H12, H13	40~44	H11, H12, H13	40~44	H11, H12, H13	40~44			
压力腔	4140, 4150,	35~40	4140, 4150,	35~40	H13	35~40			
	4340		4340						

表 82

供挤压工具用的超级合金的典型成分

合 金	成 分, %		
	A-286	V-57	因康镍合金718
C	0.05	0.08	0.04
Mn	1.35	0.35	0.20
Si	0.50	0.75	0.30
Cr	15.00	14.80	18.60
Ni	26.00	27.00	53.00
Mo	1.25	1.25	3.10
Nb	...	...	5.0
Ti	2.00	3.00	0.90
Al	0.20	0.25	0.40
Fe	53.6	52.0	18.5
V	0.30	0.30	...
B	0.015	0.010	...

通常用A-286或V-57。

压头常用H11、H12或H13制成。

挤压铝或铜产品的压力腔常用4140、4150或4340合金钢制成；挤压钢的压力腔也可由合金钢制成；但通常选用的是H13。

模具寿命 为了补充表81的基本报道，在1260℃挤压300系列奥氏体不锈钢时，图67示出挤压比（坯料截面除以挤压件截面）对H21凹模和H11及H13心轴寿命的影响。在相当低的挤压比情况下，如10:1时，凹模的寿命相当短，但心轴的寿命相当长。不过即使是很简单的形状（如管子），在高挤压比的情况下，心轴和凹模的寿命，都是短的。

对410型不锈钢的异型钢材的挤压，在18.5:1的中等挤压比时，图68示出模具寿命的类似数据。图67和图68数据的比较表明，对某种模具钢及某种硬度的情况下，异型钢挤压凹模的寿命要短得多。

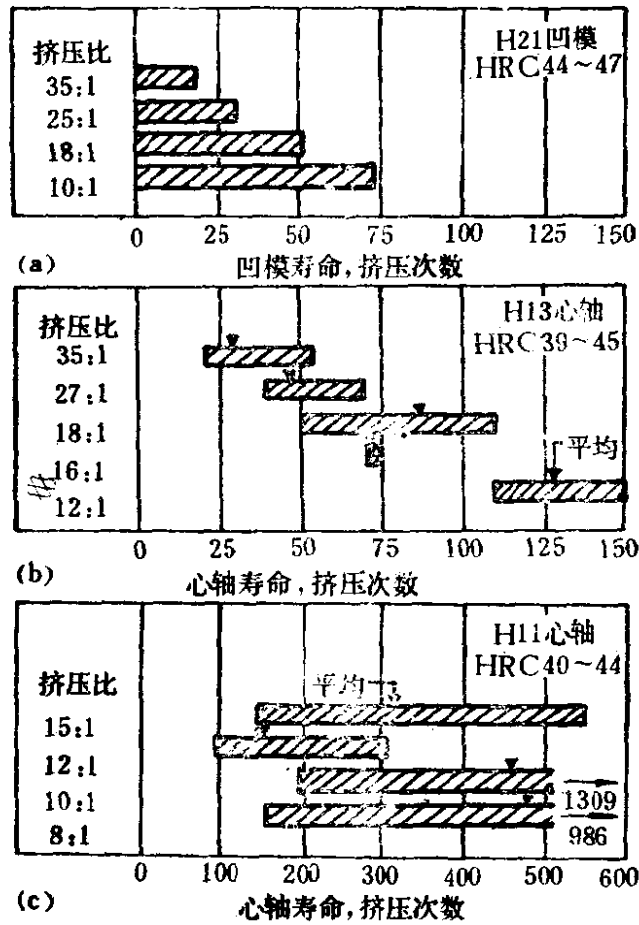


图67 挤压奥氏体不锈钢管的典型模具寿命

在1030~1260℃下，采用玻璃润滑剂以不同挤压比挤压300系列不锈钢管的凹模和心轴寿命。图中数据系取自 (a) 22个凹模；(b) 25个心轴；(c) 53个心轴的记录数据

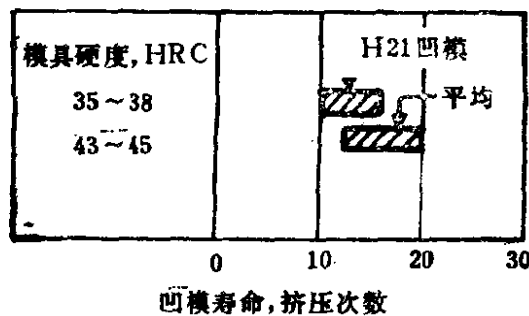


图68 两种硬度的H21挤压模的寿命

挤压比为18.5:1时，挤压410型不锈钢的数据，挤压件长10米，截面面积1075mm²

如果像往常所作的那样，为了减少模具破裂的可能性，必须将模具硬度减少大约HRC5的话，模具的寿命还将缩短。

图69 (a) 说明：在挤压 C22000管子时，将H21模具的硬度从HRC40增加到HRC52，则模具的寿命可能增加 3 倍。图69 (b) 简要说明：对某种材料在某一硬度下，模具寿命大大地受到挤压温度的影响，H21模具（硬度 HRC52）在830℃下挤压硅青铜时，其寿命约为在1090℃温度下用相似模具挤压铜镍合金的 2 倍。

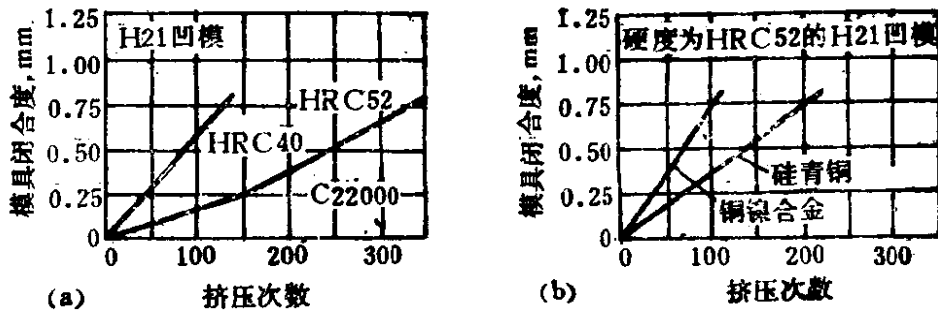


图69 挤压铜合金用的H21凹模的寿命

在不同挤压条件下的凹模寿命，当模具闭合度为0.8mm时测得的。(a) 挤压C22000(90Cu-10Zn)管子，外径92mm，壁厚8mm。数据是从各种硬度的8副模具取得的；(b) 在830℃挤压硅青铜和1090℃温度下挤压铜镍合金。数据是从每种合金用的8副模具取得

特种材料 除了表82所列的典型材料以外，要求在较高温度下，具有较好的耐磨性时曾规定（特别是对挤压形状复杂工件用的工具）特种的镶块材料和表面处理的要求。特种镶块材料包括特种硬质合金、镍结碳化钛及氧化铝陶瓷。特别表面处理包括氮化、氧化铝涂层和应用专利材料。

有关这些特种材料的资料在原著中其它各章都提及。

第十八章 压铸模材料的选择

压铸模的材料必须在高温下具有良好的耐热冲击性与抗软化的特性。抗软化是必要的，因为模具必须承受在高喷射速度下熔化金属的侵蚀作用。影响压铸模材料选择的其它性能有：硬化特性、切削加工性、抗龟裂及可焊性。

压铸模的性能直接和压铸的温度、注射压力、模具内热梯度以及暴露于高温的频率有关。这些变量是本章内的各表中的几个主要项目。和表83所示，凡直接与融化金属相接触的零件，要求有较高合金含量的工具钢。

表 83 压铸模与模具镶块的推荐材料

模具零件	典型材料及硬度
供铝、镁压铸用的模腔镶块	H13淬硬到HRC45~48
供锌合金压铸用的模腔镶块	P20预硬化到HB300
供大批量生产的锌压铸模的模腔镶块	H13淬硬到HRC44~46
供铜压铸用的模腔镶块	H20、H21、H22淬硬到HRC44~48
夹持块	4140预硬化到HB300

热模钢几乎是经常性的用来制作压铸高熔点合金，如铝、镁与铜。用于压铸铝、镁合金时，将H13钢淬硬到HRC44~48；供压铸铜合金时，H20、H21和H22钢常在硬度为HRC38~45之间使用。

注射零件 供锌和铝用的压铸模常受到与融化金属的大量接触并受到严重的侵蚀，推荐供这种模具注射零件材料及其热处理见表84。

滑动件、导向件、型芯及推杆 压铸模的活动部分必须具有

表 84

注射零件的典型材料

零件	被铸金属	材料及其状态
入口分流锥	锌	H13淬硬到HB250~290并氮化
流口套	锌	硝化合金淬硬到HB250~300并氮化
喷嘴与接头	锌	H13淬硬到HRC46~48并氮化
注料套筒	铝	H13淬硬到HRC46~48并氮化
注料垫块	铝	H13淬硬到HRC46~48并氮化
活塞头	铝	镀青铜淬硬到HRC38~42

和静止部分相仿的基本特性，也得具有耐磨性。表85推荐了滑动件、导向件、型芯和推杆所用的材料。这些零件的磨损可以采用下述一种或数种预防措施来减轻：

- 相互接触的模具零件采用不同的硬度；
- 热作应用时采用最佳硬度或两个接触面间均经氮化；
- 采用不同的材料（使注入的融化金属不与动模的零件相接

表 85 滑动件、导向件、型芯及推杆材料

零件	材 料	状 态
滑块托架	4130、4140、6150	淬硬到HRC46~50
滑块锁块	4140、6150	淬硬到HRC46~50
导柱	1117	渗碳并淬硬到HRC58~62
导套	1018	渗碳并淬硬到HRC58~62
导向块	4140	渗碳并淬硬到HRC56~60
导板	4140	渗碳并淬硬到HRC56~60
推杆	H13	淬硬到HRC34~40并氮化
复位杆	H13	淬硬到HRC34~40并氮化
型芯	H13	淬硬到HRC48~55

触)；

- 在相接触的表面间采用润滑剂；
- 用浅槽使连续的接触表面中断或在滑块或夹条上加波纹油槽以保持润滑剂；
- 在易损面之间保持良好的配合；
- 把两个零件的摩擦表面做成非常光滑。

腐蚀的程度（由于熔融金属流的喷射作用而冲刷去模具表面材料）是浇铸技术以及模具材料的函数。通过正确的模具设计，常常能够减轻熔融金属对型芯或浇道入口处的模面的冲击。

为了增进模具材料的耐腐蚀力而采用氮化处理。尽管氮化常常在使用初期的腐蚀能减少到最小，但它减少了最终的使用寿命。氮化表面的剥落产生于剥落面的底部，其结果当铸件从模具中退出时，造成铸件的撕裂，剥落的模具零件是很难修复的，几乎都需要更换。

型腔的结构影响模具使用寿命，如果模具设计得不合理就会产生显著的开裂和过多的龟裂。导致型腔寿命低的设计错误有：

- 型腔对模块来讲太大——即模身不够大；
- 铸型太靠近以致不能水冷模腔；
- 浇道、排气槽 分浇道、凹进处、深窄槽处、型芯和镶块的不合理位置；
- 型腔轮廓线不规则并带尖角和刀边；
- 不正确的剖面平衡——也就是把大面积的熔融金属设置在小面积附近，而没有提供令人满意的圆滑过渡。

当被铸的零件形状对称、截面薄而均匀和浇铸的容积很小时，模具的寿命最长。

模具的润滑剂 大多数商用模具润滑剂或脱模剂能减少铸件与模具的粘连或焊结。采用了有效的润滑剂后，其结果是更容易清洁模具、减少磨损和延长两次修模间的运行时间。

不过，其中有些模具润滑剂会损害模具钢以及使铸造合金的

微粒沾在模具表面上，如果经常用的话，会缩短模具的寿命。

预热及冷却 在遇有严重磨损的场合，必须考虑模具型芯与滑块的水冷。压铸铝或铜的压铸模在使用中需通水冷却，并在开始投入运行之前，预热到175℃。预热的同时还应让冷却水缓慢流经模具，以防冷水通入热的模具时造成严重损坏。

当有可能时，在模具预热时应将滑块拿掉（不过通常是不这样做的，因为装备的设计常使拆除滑块有困难）。通常大多数滑块比模具小，如果将两者同时加热的话，会使滑块比导向块膨胀得快一些，从而缩小了间隙。

推出零件 推出零件不会受到高温，因此，热轧1020钢（按到货时情况）常用作压铸铝和锌零件的模具中的推杆、导轨、推板、支柱和支承块。

修边模 修边模用于辅助工序。它们是用抗磨材料制成的，如表86所示。

表 86 修边模的典型材料

零件	材料	状态
底板、固定板	1020(a)	按到货情况
修边圈、盘	A2	淬硬到HRC56~58
凸模、垫块	1020(a)	按到货情况
导柱、导套	C1117	渗碳并淬硬到HRC58~62
滑块	A2	淬硬到HRC58~58
凸轮	1020(a)	渗碳并淬硬到HRC46~48

注：(a) 热轧。

第十九章 粉末压实模具材料的选择

最广泛地应用于将金属粉末转换成零件的压实工艺是一种闭式模压工艺。这种工艺的基本模具包括一个精密加工的凹模，一个上凸模和一个下凸模，如果零件是空心的话，还包括一个芯棒。这些零件借助于接合器连接到机械或液压压床的工作台上，接合器通常将基本模具包围着并提供挡块支撑。

视工件的形状和大小的不同，每小时生产500~2500件是很普通的。由于供压制的粉末的性质常带有磨蚀性，所以与粉末相接触的模具部分必须具有抗磨性，以便承受可能发生的磨损。

压制粉末的压力一般在70~830MPa之间，所用的模具必须具有一定的抗拉和抗压强度，以承受这些压力（加上一些安全余量，以免有可能过载）而不致永久变形。通常凹模在使用中受到拉应力，而凸模受到压缩应力。往往这种应力是不均匀的，因为被压制的粉末不会均匀地充实在凹模内。

此外，模具还需有足够的机械强度和足够的韧性以承受相当大的冲击负荷。另一方面，因为压制是在热态下进行的，如同在热等压加工一样，模具还必须具有高温下抗软化的能力。

通常希望有高度抛光的模具表面，这样就要求材料具有很低的非金属夹杂物或气孔。这个要求还可获得一项额外的好处：可改善疲劳强度，也有助于减少模具提前损坏。

另有两种令人感兴趣的特性——特别是对模具零件制造厂来讲——即可加工性和在热处理中抗变形性。由于更多地采用非常规金属切削工艺如电火花加工，减少了加工形状复杂工件的困难。当公差要求很严时，则热处理时能抗变形是很重要的。

供这类模具常用的材料有：①硬质合金；②有或没有特殊表面处理的工具钢。

凹模 用得最普遍的凹模结构是将抗磨镶块或里衬用夹住或红套法紧固在适当的位置，供压制硬质合金、陶瓷或铁粉用的凹模镶块常用中等或粗粒的94WC-6Co硬质合金；含有12~16%钴的硬质合金可用于中、大批生产中压制金属粉末的镶块之用。

硬质合金的弹性模数远比钢大——当设计钢和硬质合金组合凹模装配时，这一事实是必须考虑的。因为硬质合金挠曲只有钢的33~40%。一般要把钢零件设计成具有足够的刚度以承受3倍负载来配合硬质合金的挠曲。热套过盈留量为1.0mm/m。热套圈与类似的支承件可用中碳合金钢，淬火并回火到硬度HRC42~46，特别重要的是硬质合金模具的支承件要提供足够的支承，不然的话，硬质合金模具会在使用中断裂。

硬质合金相当贵，其零件的成形不是用电火花加工便是用特殊磨削加工。

有时用抗磨的工具钢镶块来代替硬质合金镶块，工具钢镶块韧性比较好，还比硬质合金镶块容易制造。在中到大批量生产时，坩锅制成的CPM10V常被选用，因为它的抗磨性接近于硬质合金。其它抗磨工具钢，常用D2或高速钢M2或M4供小批量生产用。工具钢镶块常热处理到工作硬度HRC62~64。为增加抗磨性，对用CPM10V或D2制成的模具可用氮化表面处理。对某些零件的设计，整体模比镶块模更为实际一些，如可在空气中硬化的、含铬5%的工具钢A2，常被用来作这种用途。

凸模 使用过程中凸模所受到的应力如此之大，以致对材料韧性要求比抗磨性更为重要，尽管抗磨性还是不容忽视的。对凸模可选用A2钢，有时选S7抗冲击钢（抗磨类如D2和坩锅制CPM10V往往缺乏所需的韧性，特别是用于实心凸模）。空淬深淬透钢A2可以在125mm见方的截面中心淬到硬度HRC60（整

体模很少用到那么大),而S7钢达到同等硬度的最大截面尺寸为65mm。如果需要尺寸大于125mm,则先将A2自奥氏体化温度到约540℃在油内淬火,然后在回火前转入空气中淬硬到65℃。为了增加抗磨性,可把S7渗碳或氮化。

在应用A2或S7制成的凸模表面出现严重擦伤时,应考虑用更抗磨的材料如坩锅制成CPM10V、D2、D3或M2。硬质合金太脆,不适宜于作凸模或凸模表面镶块。

模芯 在选择模芯材料中,韧性和耐磨性都是重要的指标,但通常主要是考虑抗磨性。对特殊的磨耗情况,CPM10V是令人满意的,就像经过氮化的D2、M2和A2工具钢或具有涂层的硬质合金一样。

操作因素 凹模的工作面和模芯应经抛光或研磨像镜面那样光洁,最后的抛光其方向应与轴线平行。凸模的表面或背部也应精加工,高度光滑的表面可以减少磨擦,从而可以减少模具上的一部分负载,还有助于推出压制件,消除微量的擦伤或导致模具提前损坏的其它应力的增高。

有时推荐镀硬铬以改善钢制模芯和凸模的寿命,特别是在用于磨蚀性粉末时更有必要。有些使用者认为经过氮化或镀铬的模具零件的抗磨性可比未经处理的工具钢大10倍,但也有人认为镀铬的用处不大,因经氮化或镀铬的模具零件会剥落,特别是锐边部分。遇到这种问题时,改用渗铬(使表面沉积一层铬)可能是一个有效的取代方案。

第二十章 塑料与橡胶模 材料的选择

在由塑料（包括橡胶）制成零件的成型模中，被塑压的材料种类是选择模具材料的一个决定性的因素。塑料大体有两种类型——热塑性塑料（热塑性）和热固性塑料（热固性）。

热塑性塑料在全部融化和固化后可以重新融化；热固性塑料在被加热固化后则不能再重新融化。热塑性和热固性塑料还可进一步分成7种不同类型，如表87所示。其中有一些塑料模材料要求抗磨损、抗腐蚀、耐热或承受高压负载的性能。

有若干种模压塑料的方法和若干种制作模具的方法，关于这些方法的细节参见文献1。

本章介绍典型的模具材料和制作注射、吹塑、压铸和压制模几类主要塑料模具的方法。下述定义说明各种模制过程的基本步骤以及所用到的主要模具。

注射法是将粒状或粉末状热塑性塑料通过下面基本步骤成型制品的一种方法：①用加热和加压的方法使加料室的塑料塑化；②然后将一部分流体状的塑料压入较冷模腔里并在这里凝固。注射法所需压力为70~140MPa。

吹塑法是作中空塑料制品的方法。采用这种方法时，将在融化状态下的热塑性塑料或已软化的管料（塑料型坯）装入一冷模内，在塑料型坯内通入内压力使它膨胀贴着模具的内壁并在腔内固化。早在六十年代这种吹塑法已经在高密度聚乙烯制造塑料瓶工业中为广大制造厂所采用，而迅速增大，这种吹塑法所需的压力为0.2~0.7MPa。吹塑法的主要优点是有成型凹状空腔曲面的能力。

热塑性塑料及未经聚合的热固性塑料

第一类——一般用途塑料及橡胶

聚甲醛

丙烯腈

丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(ABS)

丙烯-腈及共聚物

醋酸丁酸纤维素

聚碳酸酯

聚酯(PEF)

聚乙烯

聚苯氧

聚丙烯

聚苯乙烯及共聚物

结构型泡沫塑料

热塑性橡胶和合成橡胶

第二类——流体塑料

尼龙

聚氨酯(a)

第三类——抗腐蚀和耐高温热塑性塑料

氯乙烯

氟塑料

聚砒

热固性塑料

第四类——一般用途、耐高压及抗腐蚀性塑料

醇酸树脂

三聚氰胺-甲醛

苯酚-甲醛

脲甲醛

第五类——需在高温下固化的塑料

硅酮树脂

第六类——橡胶

热固性橡胶

续表

第七类——低压塑料(b)

环氧树脂

聚酯

注：(a) 两种成分“RIM”型。

(b) 填充时有腐蚀性。

压铸法^{*1}是一种用颗粒状、粉末状或预成型的热固性塑料，在一热加料腔内将其软化后将全部熔融体压入到另一个热模腔内并在这里固化成塑料制品的制作方法。

压制法^{*2}是一种将热塑性或热固性塑料放入到一个经过加热的、上面开口的模腔内，然后同时加热和加压（用“凸模”将塑料压制成型）的方法。

所谓“模腔”便是指模具的阴模部分，它形成了塑料制品的外形（这种模腔也经常称为凹模）。

柱塞是指将流体的或半流体的塑料挤入或注射到塑料模内的滑块或活塞。（在压制法中，滑块或活塞常被称为“凸模”）。

一、模具材料的选择

表88列出用于机加工制成的模具典型材料。模具材料的选择视所要塑制的塑料种类，零件的形状和数量而定。表88所列材料系以模塑难度不同的几种假想零件为基础，各种假想零件如图70所示。表89为型腔冷挤压或铸造的型腔模用的典型材料。

为了补充表88和表89，表90列出供制作塑料型腔膜的铍青铜的成分与性能，这种型腔模是用压铸或陶瓷模铸造而成，特别在模具形状比较简单时，有时也用机加工制成。

机加工型腔模 大型型腔常用机械加工制成，对这种大型型

• 1、又称挤胶法——校者注。• 2又称压胶法——校者注。

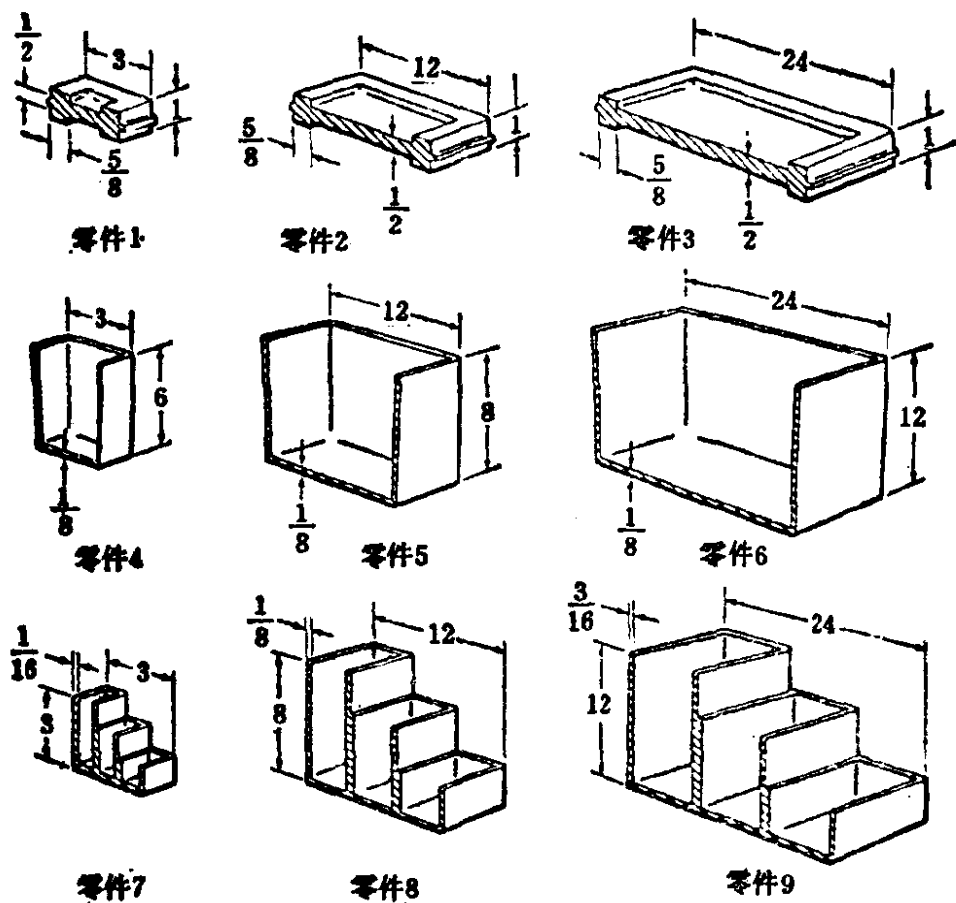


图 70 各种假想的典型模压的塑料制品图示尺寸为英寸，乘25化成mm。

表88表89为用来制造与图示零件形状和难度相似的塑料制品的典型模具材料

腔，需要高温热处理和快速冷却的钢材可能会受到超量的变形；可能有必要用预硬化模具钢或仅需在较低温度下热处理以得到所需要的抗磨性的那种钢材（如氮化钢或马氏体时效钢）。

挤压型腔模 在很多情况下，小、多型腔的模具可用挤压法制造最为便宜。它就是把称之为“挤压头”的阳主模压入金属块内，这种方法称为“挤压制模法”，如果用这种方法是经济的话，那么型腔模钢必须很软并具有低等级的工作硬度。这种钢材必须渗碳并在热处理以得到所需的抗磨性和表面硬度。

欲求挤压型腔取得满意的结果，不但取决于被挤压的钢材，

表88

制作机加工的型腔模的典型材料

被塑制的塑料(a) 塑制如图70所示零件时, 不同生产量(件)的模具材料(b)

零件1.4和7	零件2.5和8		零件3.6和9	
10,000~	1000,000~	10,000~	1,000,000~	10,000
100,000	10,000,000	100,000	10,000,000	及以上

热塑性塑料注射模材料

第1类: 用途塑料及 橡胶	零件1.4和7	零件2.5和8	零件2.5和8	零件3.6和9	零件3.6和9
	P 20或P 21, 预硬化(c); 414 L, 预硬 化	O1, HRC53~ 57; P 6或P 20, 渗碳; S 7, HRC51 ~57; 420 不锈钢, HRC 45 ~ 50	P 20或P 21, 预硬化(c); 414 L, 预硬 化	P 6, 渗碳, HRC54~ 58; P 20或 P 21, 预硬 化(c); 414 L, 预硬化	P 20或P 21, 预硬化(c); 414 L, 预硬 化
第2类: 流体塑料	P 6或P 20, 渗 碳, HRC 54 ~58	O1, HRC 53 ~57; S 7, HRC 51 ~ 57	P 6, 渗碳, HRC 54 ~ 58	P 6, 渗碳, HRC 54 ~ 58; H13(d) HRC 48 ~ 52; S7, HR- C 51~57, 420不锈钢, HRC 45 ~ 50	P 20或P 21, 预硬化(c); 414 L, 预硬 化
第3类: 耐腐蚀耐高 温塑料	P 20或P 21, 预硬化(c) 镀镍(e); 414 L, 预硬 化; 420不锈 钢, HRC 45 ~50	O1, HRC 53 ~57, 镀镍 (e); 420不 锈钢, HRC 45~50; S 7 HRC 51 ~ 57	P 20或P 21预 硬化(c)镀 镍(e); 414 L预硬化; 420不锈钢, HRC 45 ~ 50	P 6, 渗碳, HRC 54 ~ 58, 镀镍(e) 420不锈钢, HRC 45 ~ 50	P 20或P 21, 预硬化(c) 镀镍(e); 414 L, 预硬 化

续表

热固性塑料模材料

第4类: 一般用途塑料	L2, HRC53~57; P20, 渗碳, HRC 54~58; S7, HRC 51~57	L 2, 渗碳, HRC 53~57; A2, HRC53~57; P 20, 渗碳, HRC 54~58; S7, HRC51~57	P 20或P 6, 渗碳, HRC 54~58	P 20或P 6, 渗碳, HRC 54~58	P 20或P 6, 渗碳, HRC 50~55
第5类: 需在高温下固化的塑料	H13, HRC48~52; S7, HRC 51~57	H13, HRC48~52; S7, HRC 51~57	P4, 渗碳, HRC52~56; H13, HRC 48~52	P4, 渗碳, HRC52~56; H13, HRC 48~52; S7, HRC 51~57	P4, 渗碳, HRC52~56
第6类: 橡胶	第30类 灰铸铁(f)	第30类灰铸铁; 1020, 软的, 镀铬(g); A2, HRC 53~57(h)	1020, 软的, 镀铬(g)	1020, 软的, 镀铬(g)	1020, 软的, 镀铬(g)
第7类: 低压与腐蚀性塑料	P 20, 渗碳, HRC 54~58; L2, HRC53~57; S7, HRC51~57	P 20, 渗碳, HRC 54~58; L2, HRC53~57; S7, HRC51~57	P 20, 渗碳, HRC 54~58; L2火焰淬火	P 20, 渗碳, HRC 54~58; L2, 火焰淬火; S7, HRC 51~57	P 20或P 6, 渗碳, HRC 50~55

- 注: (a) 见表87。
 (b) 除另有说明外, 遇到在相同条件下列有多种材料时, 按排列顺序选用。
 (c) 预硬化钢的硬度至少为HB 300。
 (d) 推荐供塑制零件5和8。
 (e) 推荐镀层厚度为0.005~0.025mm。
 (f) 铸356-Tb铝推荐供零件数量在10,000以下。
 (g) 推荐镀层厚度为0.005~0.015mm。
 (h) 对操纵上增加了阻力。

表89

挤压型腔模或铸造型腔模的典型材料

被塑制的 材料(a)	供制造图70所示零件 的模具材料(b)			生产数量在10,000件以上
	零件 1	零件 4	零件 7	
热塑性塑料模具材料				
第一类: 一般用途塑料和橡胶	P 1(c), P 3或 P 5, 均渗碳(d), HR- C 54~58	铍青铜(e), HRC 36~42; P 5 或 P 1(c), 渗碳(d) HRC 54~58	铍青铜(f), HRC 36 ~42; P1 渗碳(d), HRC 54~58	
	第二类: 流体塑料	P3 (g), 渗碳(d), HRC 54~58	P5, 渗碳(d), HRC 54~58	P1, 渗碳(d), HRC 54~58, 铍青铜 (f), HRC 36~42
第三类: 耐腐蚀与高温塑料	铍青铜(e), HRC 36~42, 镀镍 (h); P1(c) 或 P3 (g), 渗碳(d), HR- C 54~58, 镀镍(h)	铍青铜(e), HRC 36~42, 镀镍 (h); P5或P1(c) 渗碳(d), HRC 54~58 镀镍(h)	铍青铜(f), HRC 36~ 42, 镀镍(h); P1, 渗碳(d), HRC 54 ~58, 镀镍(h)	
热固性塑料模具材料				
第四、七类: 一般用途塑料	P3 渗碳(d), HRC 54~58	P3或P5, 渗碳(d), HRC 54~58	P1, 渗碳(d), HRC 54~58	
第五类: 需在高温下固化的 塑料	P4, 渗碳(d), HRC 56~60	P4(j), 渗碳(d), HRC 58~60	P4(j), 渗碳(d) HRC 58~60	
第六类: 橡胶	1020, 镀铬(k); P1 镀铬(k)	1020, 镀铬(k); P1 镀铬(k)	P1, 镀铬(k)	

注: (a) 见表87。

(b) 除另有说明外, 遇有相同条件下有多种材料时, 按排列顺序选用。

(c) 当数量超过1,000,000或以上者, 不推荐用P1。

(d) 当模具在1,000,000件以内能保持精度或在1,000,000件以上要提高抗磨性时, 推荐渗碳。

(e) 在1,000,000件以上时, 不推荐采用铍青铜。

(f) 除非能作周期性的替换, 否则在件数超过100,000以上时, 不推荐采用铍青铜。

(g) 当数量超过1,000,000或以上时, 推荐P5。

(h) 推荐镀层厚度为0.005~0.025mm。

(j) 对这种深度的零件, 用挤压法来制造 P4 模腔可能不是一个令人满意的方法。

(k) 推荐镀层厚度0.005~0.015mm。

表90 用于铸造型腔模的铍青铜的性能和应用

合金	密度 Mg/m ³	导热率(a) w/m·k	硬度		浇注温度, °C	特性与应用
			溶液处理	老化		
C82500(b)	8.26	93~114	HRB63	HRC40	1000~1120	高强度、高硬度；供精密铸造、砂模和陶瓷模；流动性佳
C82600(c)	8.18	86~107	HRB75	HRC42	1000~1090	高强度、高硬度和高抗磨性；供压铸模、砂模与陶瓷铸模；流动性很高
C82800(d)	8.09	86~107	HRB85	HRC43	1000~1080	高硬度、高耐磨比C82500或C82600更脆；供压铸模、砂模和陶瓷铸模；流动性很高

注: (a) 在20°C。
 (b) 97.2Cu—2Be—0.5Co—0.25Si。
 (c) 97Cu—2.4Be—0.5Co。
 (d) 96.6Cu—2.6Be—0.5Co—0.3Si。

而且还取决于阳主模钢材合理的选择。供制作阳主模的钢材应具有良好的切削性能和在退火状态下的可加工性、高抗压强度以及在热处理情况下高的抗磨性。阳主模材料的变形要小，热处理中尺寸变化不大，起皮最少以及能高度抛光。

对较简单的、含有棱角但没有翘边的（易于受到边缘磨损或边缘破裂或零件缺损）阳主模，推荐用S1是合适的，推荐硬度为HRC59~61，如在热处理时表面轻度渗碳是很有益的。大多数用阳主模都是属于这一类，因此S1是最广泛地用于主阳模的

工具钢。

具有高硬度和良好抗磨性的O1、A2和D2钢，常用来制作结构不复杂的高生产率的阳主模。对这种用途主要要求寿命长，抗鼓凸，而对高韧性一般是次要的，对这种挤压头的硬度推荐在HRC60~63范围以内。对复杂的或复杂结构的挤压头（阳主模）常用6F5工具钢制成，并必须开出坚硬的槽口。这类阳主模常经热处理使硬度达到HRC58~59。不过6F6工具钢对结构复杂而又带翘边的阳主模最为合用。它具有优越的抗脆性，防边缘损伤的良好性能。在热处理过程中有意识的渗碳，常对模具有所帮助。

L6工具钢主要用作便宜的阳主模，将它压入所需挤压力较低的型腔模材料内。

铸造型腔模 许多小型腔和多型腔的模具可用挤压头作为模型来压铸型腔的办法制造。

用于压铸铍青铜的挤压头必须具有在高温下抗软化能力，因而能在热态下工作的钢如H13常常被选用于这种用途。

其它型腔模材料 除了表88所列有磨蚀的材料之外，马氏体时效钢常用来制造大型模具，特别用于有磨蚀性塑料的模具。马氏体时效钢仅要求在480℃下简单地时效处理数小时就可得到全硬，视钢种不同，硬度在HRC50~58之间。时效钢的淬硬并不决定于快速冷却，因而在厚实部分也能达到全硬。为了加强抗磨性，马氏体时效钢模腔可以氮化处理。

腐蚀对塑料模是个大问题，腐蚀的原因是由于塑制具有腐蚀性的塑料如聚氯乙烯和因生锈引起冷却水管的堵塞。对聚氯乙烯塑料模常用镀铬的办法来解决，但是这种电镀不能防止水管生锈。近年来已有了不锈型腔模钢，不锈型腔模钢除具有像P20型腔模钢的优点之外，还有很高的抗腐蚀能力。有两种可以用作型腔模用钢即414L和420。414L可以预硬到约HB300，对用于注射模是很理想的；420可以热处理到HRC50，用它制造注射与压

铸模都是合适的。

作为表89所列材料的补充，对有腐蚀性塑料的小制品，在批量生产时，应考虑用粉末冶金制成的小模具或模具镶块。供这种用途的最成功的P/M材料的成分为94.5~98.5 Fe, 0.25~0.75 C, 1.0~3.0Ni, Cu为0, 其余最大为2.0。

有一种用电成型的称之为“镀层模”的模具，特别对某些工件要求有精美型腔的模具很有用，这种加工方法是用电沉积一层很薄的硬镍于模腔上，接着镀上一层软镍或铜。

为了延长易磨损部位的寿命，如进料口镶块，把可切削加工的钢结硬质合金加工成镶块的形状，然后热处理达到硬度 HRC 68。

二、使用对模具材料选择的影响

除了用于非加强的和无填充剂的热塑性塑料以外，一个塑料制品者要对付最困难的问题是模具的磨损。对模具磨损和影响寿命最主要的因素为表面淬硬的深度、表面的硬度、被塑材料的磨蚀性和塑制的工艺方法。吹塑模的磨损最少，因为压力低，塑料仅在膨胀后与模壁相接触，因此吹塑模可以用较软的材料制成，如退火的低碳钢。

另一方面，在挤胶模（压铸模）中，模具的磨损较大，因为塑料被挤入高压的通道内，在很高的速度下从加料腔进入型腔，在它流动的时候，任何具有磨蚀性的塑料会腐蚀模具，这样便会使通道扩大，造成泄漏与压力降低。除了普遍的或局部的磨损之外，型腔模的磨损又是型腔模的硬度和被压塑塑料的磨蚀性的函数，这就是为什么较硬的钢材对延长运转期能获得较满意的寿命的另一个原因。

对已经具备的塑制条件下，塑制者主要的维修费用，就是为了保持分型面的清洁和清除过多的飞边所需的停机时间。飞边或

型腔的溢流主要是由于模具合拢时模口处留有前次压制过程中的飞边颗粒，最后靠近模腔开口处附近的地方就会压有凹痕和变形，这时模具就得重新用补焊或电镀的方法来修整，要不然就得完全更换损坏了的零件。较硬的钢材不会象较软的材料那么快压出凹痕，因此，在重新修整之前，可以工作较长的时间。

抗分型面凹坑的性能大致和模具的材料硬度成正比，但对某种应用情况，给定钢材的硬度不宜超过推荐值。如前所述，大部分模具的损坏是由于开裂，而不是用坏的。

为塑制某种塑料，常常需要特殊的抗腐蚀性能钢材，如果用普通钢材时，由于型腔表面渗出湿气而生锈的话，也需要特别抗腐蚀性能钢材。414 L和420能满足这方面的要求。

三、选择时的其它因素

除与使用要求有关以外，在选用模具材料时还应考虑到其它因素。

型腔必须没有表面缺陷。如果在已制作好的型腔表面有孔隙或非金属夹杂物，会使模具报废，因为由这副模具制造出来的每一件塑料制品的表面都会留下痕迹。因此，虽然用于塑料模的工具钢的成分和较便宜的结构钢十分相似，但是在生产工具钢过程中经过特殊的熔炼或铸造，去除了大量的夹杂物或其它缺陷，从而赋予了这种钢材一种最主要的特性。

尽管在轧制过程中加倍小心。但在型腔模钢内仍会有内在的裂缝，例如大型工具钢钢锭比小钢锭冷得慢和凝固得慢，那么就会夹杂更多的孔隙，这种孔隙在相继的锻造和热轧过程中会部分形成焊结冷疤^⑥，但是大横截面的棒料不可能像较小横截面的棒料收缩得那样多，因此前者有更大的夹杂空穴的可能。当型腔的厚度大于150mm或横截面积大于0.125m²时，建议采用单个锻造块料，而不是从棒料上切割下来用，这样就会增加费用和备料时

间。但在关键应用场合，这是唯一避免有空穴的可行办法。

如在机加工前把每一模块用超声波探伤检查，能使模具型腔精加工表面出现瑕疵的可能性进一步减少。

参考文献

1. *Plastic Mold Engineering Handbook*, 3rd Ed., edited by J. Harry DuBois and Wayne I. Pribble, Van Nostrand-Reinhold, 1977

第二十一章 滚丝模材料的选择

选择滚丝模材料的最重要的特性便是模具钢材的硬度、韧性与抗磨性。必须要有足够的硬度和韧性，致使模具能承受在使用中对它所作用的力；良好的抗磨性也是必要的，因为把滚丝模从使用中撤下来的主要原因是由于模具上螺纹的峰尖磨损，以致滚压出来的螺纹不再符合外形尺寸或机能的要求，而不能继续使用。

模具的性能好坏是由所生产的合格零件数来衡量的，它不仅和模具材料的机械性能有关，而且还和①被滚丝毛坯的硬度、尺寸大小和外形精度；②螺纹的节距；③模具是板式的还是圆形的；④模具装配的精度；⑤滚丝机内在的精度；⑥模具入口段螺纹的设计；⑦滚制速度；⑧每一坯料所需滚压的转数；⑨被加工材料的表面状态（坯料表面应无氧化、起皮或其它不需要的表面层，例如不合适的表面渗碳）有关。

最常用的滚丝模材料为M1和M2高速钢；D2高碳高铬工具钢和A2中合金冷模钢。所选择的钢必须在淬硬前进行适当地退火，并应有足够的均匀的碳粒分布。

在大多数应用场合，D2、M1和M2的性能差不多，而A2的使用寿命稍为低些。一般来讲D2、M1和M2应选用供大量生产之需，并供大件、粗牙和较高硬度合金滚压之用。下述硬度范围对多数应用是合适的：

模具材料	推荐硬度, HRC	
	搓丝板	圆滚模
供滚制铝、铜或软钢坯		
A2	57~60	56~58
D2	60~62	58~60

续表

模具材料	推荐硬度 HRC	
	搓丝板	圆滚模
M2	58~60	58~60
供滚制铁素体钢 (硬度HRB>95) 或奥氏体不锈钢坯		
A2	57~59	56~58
D2	59~61	58~60
M2	59~61	58~60

上述所示的硬度在淬火之后应经两次回火，如果不用两次回火的话，那么模具会提前损坏。

如果被滚压件的直径和丝扣公差许可的话，可在淬硬之前机加工好或磨好。供该种工艺的推荐用钢，按性能优劣先后排列。为取得所需硬度而需要热处理时，其平均变形情况如下：

钢种	平均变形, %
A 2	0.04
D 2	0.05
M1或M2	0.11

如果公差要求较小的平均变形，模具必须在热处理后再磨；如果在模具热处理后再磨，一般不会减少模具的寿命，但要求采取恰当的磨削技术（不要滥磨）。

通常螺纹表面的光洁度比相应模具表面粗糙20~40%，一般不管用什么样材料对所规定的模具表面光洁度是很容易达到的。对滚制要求高精度细牙螺纹时，则用A2最为经济，可用切削或磨削加工模具螺纹。

从近的观点来看，解决有缺陷的模具装置的一个办法，（这是大多数模具早期损坏的原因）是减低模具的硬度以增加韧性。

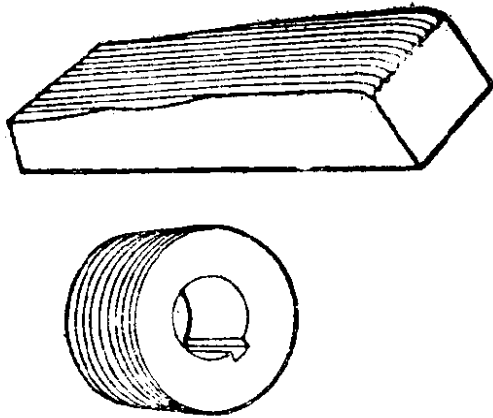


图 71 典型的搓丝板和圆滚模

不过，最好的办法还是要装配得好，因为减低硬度通常会降低模具的寿命。对搓丝板和圆滚模，硬度不够常使螺纹牙顶钝粗、下陷或压平；而太硬的话则会使螺牙从根部崩掉。

在许多应用场合，模具材料的硬度与韧性折衷

处理是十分重要的，当磨损是主要考虑因素时，较高的硬度是可取的，但是又会导致上述的其它类型的故障。

搓丝板用于生产标准螺纹的紧固件及大多数木螺纹。标准搓丝板的静模部分如图71所示，针对特定的螺丝大小，模具要根据滚压最大的螺纹长度来制造，并可用来滚压任意长度的螺纹。同一模具可用来滚压不同长度的紧固件直到模具的磨损失效。除非要求特种螺纹或批量较小，一般模具用的材料应按最大产量来选择。

用 D2 制成的搓丝板一般在淬硬之前先磨好；如果在淬硬后再磨，由于 D2 在磨得不好时会裂开，所以在淬硬前先磨。

圆滚模也如图71所示。圆滚模一般在淬硬后再磨。除了最难滚丝的那种材料以外，小批量生产的大部分圆滚模都采用 A2，因为它的磨削性能和抗磨损性能都不错。比较昂贵的钢如 D2、M1 和 M2 用于大量生产是合适的，还适用于难滚压的工件材料。

举例

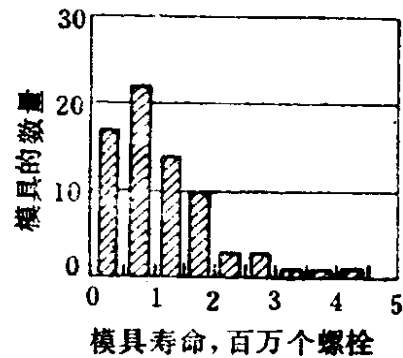


图 72 滚压钢螺栓用的 D2 工具钢模具寿命
在 13mm 螺栓机上滚制
低碳钢螺栓，72 副模具的寿命分布

关于滚丝模的专门评价如下：虽然这里所介绍的圆滚模均用A2制成，搓丝板均用D2制成，并不说明在本例中或在其它应用场合中，A2是制作圆滚模的最好材料，或D2是制作搓丝板的最好材料。

用D2钢在淬硬前由滚切法制成的72副滚丝模，直至最后损坏，按照模具寿命的分布显示在图72中。这些数据是从同种结构、同种工具钢的模具用来滚压同种坯料和同种螺纹所取得的。很明显，在所有这种情况下，许多影响模具寿命的因素都得到了控制，所获得的寿命分布是有大的差距，并且是畸变的。对那些必须在接近疲劳极限情况下工作的工具来说，这种差距和分布方式并不是少见的。它着重说明：当工具钢供应来源或是热处理变动对滚丝模寿命的影响，通常不能单凭通过少数工具在生产中试验来评定的。

图73(a)示出用1022钢坯，滚压1/4-20螺丝，D2工具钢搓丝板的大致平均寿命。部分试验是在经过淬硬的坯料上做的，包括其中所取得的最高硬度二点的数据。在模具高硬度情况下，模具寿命就短而不稳定。两曲线间带阴影的部分，就表示这种模具寿命的分布带和无规律性。当采用常用模具钢和常用滚压方法时，

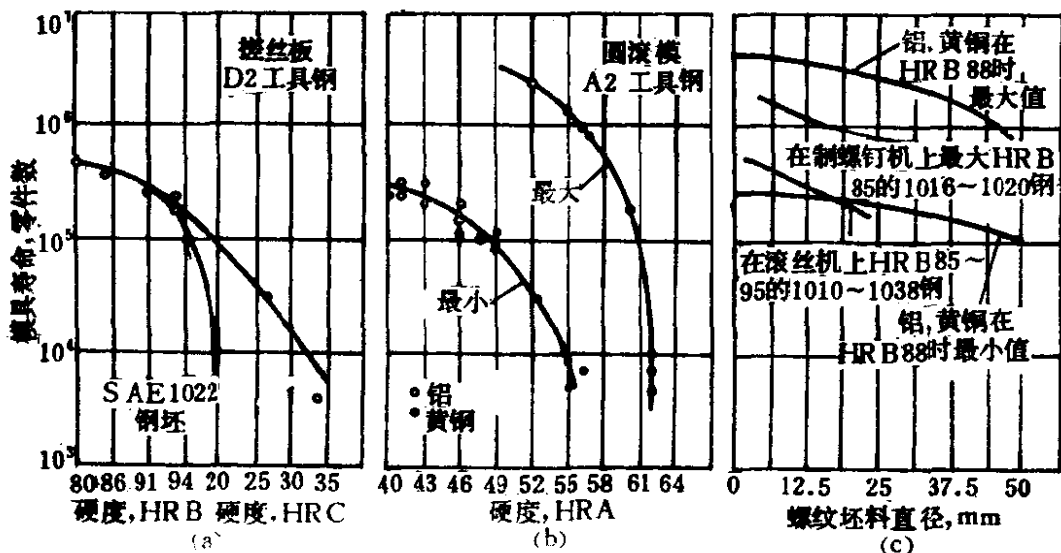


图 73 滚压各种硬度和直径坯料的滚丝模寿命的变化

坯料硬度HRC33对滚丝来讲已到极限。M42高速钢曾用来滚压较高硬度坯料的螺纹之用。

图73(b)示出用A2工具钢制成的圆滚模的最大与最小模具寿命与坯料硬度的关系。这类模具主要用于滚压大多数由易切削的黄铜或铝合金制成的细牙螺纹螺栓，数据中包括某些其装置和坯料接近于理想的高产量情况。此外，用于滚压小件细牙的模具比滚压大件粗牙的模具有较高的平均寿命，从而用A2工具钢制成的各种圆滚模的平均预期寿命比图73(b)两条曲线之间的平均值为低。

图73(c)示出铝和铜坯用圆滚模，钢坯用搓丝板时，模具寿命与工件直径之间的关系。上、下两条曲线为A2圆滚模，其中大多数为淬硬后再磨削，主要用来滚压细牙——绝大部分为特种螺纹，当坯料硬度为HRB88时，不管坯料是铜的或是铝的，对模具的寿命无显著的差别。

对1016~1020钢材滚压的曲线，给出了在一单独装置中的几百副D2模的平均寿命，这些模具有特殊入口段的螺纹外形，模具经机加工及淬硬，并在淬硬状态下使用。

其它曲线指出在往复滚丝机上用搓丝板滚压1010~1038钢件螺纹时，坯料尺寸大小与预期的平均寿命的关系。

异常的情况会大大变更模具的寿命，例如用1040热轧钢滚压16mm的螺纹，当坯料的直径不太均匀、起皮并未经退火处理时，模具寿命仅为45,000件。

第二十二章 量规材料的选择

量规材料的选择在很大程度上决定于被检测件的公差，被检测件的数量，被测量件材料的硬度和成分，被测件的大小和复杂性以及量规材料的成本。在决定生产用量规的寿命时，摩擦损耗是主要考虑因素。因此，与工件相接触的量规表面必须具有足够的硬度，必须具有适当的抗磨性。实际所需的硬度视工件表面的硬度和磨损特性、被测量的件数，被检测的公差而定。必须在恶劣的环境中使用的量规还可能要求抗腐蚀。此外，如果量规必须在超出某一温度范围以上使用的话，在对材料的最后选择时，必须要考虑到热膨胀。

一、量规的材料

供制作常用类型的生产用量规的典型材料和硬度如表 91 所示。在这个表内，必须注意测厚薄的塞规（精确控制厚度的、带有挠性的薄片）必须回火到较低的硬度，使它们不会在使用中断裂。

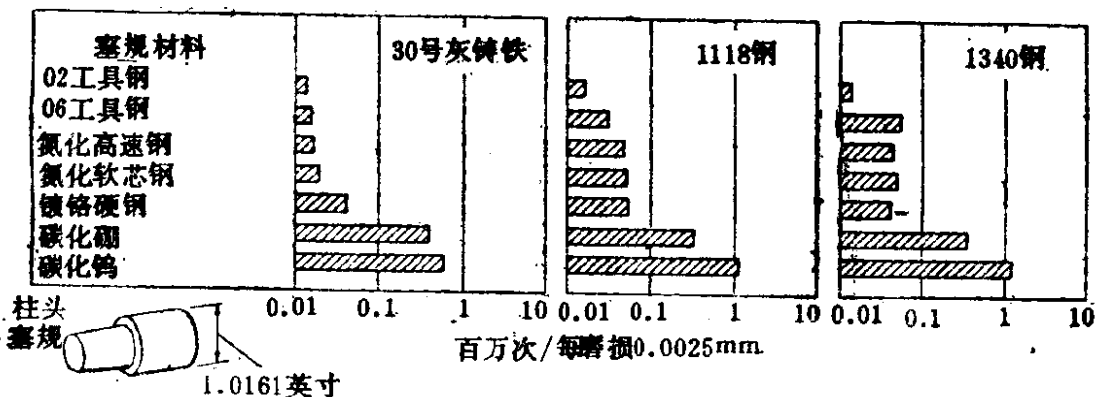


图 7.4 由30号灰铸铁和两种钢材制成的几种柱头塞规材料的抗磨性比较

生产用量规 供作量规用的大多数材料的成分和基本性能，在本书中随处都可找到。为了补充表91内容之不足，供估价灰铸铁、钢和铝零件的各种不同柱头塞规和环形量规材料的实际磨损程度比较见图74~76。关于硬质合金用来提高这类量规使用寿命的能力，详见示例。正常晶粒大小、含钴6~9%（硬度HRC90~92）的碳化钨硬质合金是量规的常用的材料。钢结硬质合金也可制作量规用。

对硬质合金，只有在仔细考虑了它的优缺点之后才用。在材料成本和所要测量件数的基础上，经济性是首先要考虑的。由于硬质合金比钢耐用的程度约为20~100倍，所以这种量规用在利用率高、所控制的公差要求严的场合下，比较高的费用才合算。在连续使用中，钢量规有时在几小时或几天内就磨损。这时用硬质合金制成的量规按每一测量件计算总成本常是最实用和最经济的。如果由于生产尺寸或公差改变而要修改量规，那末要记住金刚石砂轮或金刚石抛光剂对于修正硬质合金量规是必要的。

与钢相比较，硬质合金的膨胀系数较小，当公差很小时（0.0025mm），较小的膨胀系数也必须考虑。室温的变化就会使产品膨胀或收缩，而量规不会以相同的量变化。

硬质合金比钢脆，因此使用中对它的锐角与薄壁部分比对经淬火并回火的工具钢需要特别小心和保护。除了少数例外，用D4钢制成后不会破裂或剥落的任何量规，都可用硬质合金制成。在大量使用小量规的某工厂，由于使硬质合金量规发生碎裂的损失很严重，不得不改用合金工具钢来制作。

精密量规 制作特别精密的量规常要求采用特殊量规材料。在应用中要求量规有绝对精密的公差，精细的表面光洁度，优异的抗磨性和高度的尺寸稳定性，碳化硼及甚至宝石都用来制造高档量规元件。量规元件用的宝石系人造蓝宝石、红宝石和金刚石之类。由于脆性，易于掉碎片，成本高，这种量规材料的应用仅限于高度专业化的场合，例如高精度测量或是具有高度磨损性

表91 常用的生产用量规的典型材料和硬度

量规的种类	测量公差 0.01 mm		测量公差 0.05 mm	
	零件硬度HB350以下 量规材料(a) | 硬度HRC	零件硬度HB350以上 量规材料(a) | 硬度HRC	零件硬度HB350以下 量规材料(a) | 硬度HRC	零件硬度HB350以上 量规材料(a) | 硬度HRC
不经用量规, 尺寸 在100mm以下				
块规, 针式, 砧状, 球 头状的量规	W1, O1, O2 61~64			
圆柱形环规与塞规	1212(b)			
	W1, O1, O2 61~64			
螺纹环规与塞规	W1, O1, O2 61~64			
测高规, 测长规	W1, O1, O2 61~64			
花键量规	W1, O1, O2 61~64			
卡规(c)测螺纹量柱	O1, O2, L7 61~64			
测隙规	W1, O1, O2 45~52			
校准棒	1212(b)			
	...			

续表

量规的种类	测量公差 0.01mm		测量公差 0.05mm	
	零件硬度HB350以下	零件硬度HB350以上	零件硬度HB350以下	零件硬度HB350以上
	量规材料(a) | 硬度HRC	量规材料(a) | 硬度HRC	量规材料(a) | 硬度HRC	量规材料(a) | 硬度HRC
经常性、大量生产用， 尺寸在12mm以下				
块规，针式、砧状、球 头状的量规	L7(d) 61~64	D2(e) 57~64		
	D2(e) 57~64	M2(f) 62~65 硬质合金(g) ...		
圆柱形环规与塞规	M2(f) 62~65	M2(f) 62~65 硬质合金(g) ...		
螺纹环规与塞规	A2(e) 56~64	M2 62~65		
测高规，测长规	M2 62~65	M2 62~65		
花键量规	O6 61~64	A2(e) 56~64		
卡规(c), 测螺纹、量柱	L7(d) 61~64	L7(d) 61~64		
	L7(d) 45~50	D2 45~50		
测隙规				

续表

量规的种类	测量公差 0.01mm		测量公差 0.05mm	
	零件硬度HB350以下	零件硬度HB350以上	零件硬度HB350以下	零件硬度HB350以上
	量规材料(a) | 硬度HRC	量规材料(a) | 硬度HRC	量规材料(a) | 硬度HRC	量规材料(a) | 硬度HRC
块规, 针式、砧状、球头状的量规	A2(e) 56~64	硬质合金(g) ...	A2 62~64	M2(f) 62~65
	D2(e) 57~64		D2 62~64	
	M2 62~65		M2 62~65	
圆柱形环规与塞规	M2(f) 62~65	硬质合金(g) ...	D2 62~64	M2(f) 62~65
			M2 62~65	
螺旋环规与塞规	A2(e) 56~64	M2(f) 62~65	A2 62~64	M2 62~65
	D2(e) 57~64			
测高规, 测长规	A2(e) 56~64	M2 62~65	A2 62~64	M2 62~65
	D2(e) 57~64			
花键量规	O6 61~64	A2(e) 56~64	O6 61~64	A2, D2 62~64
		M2(e) 57~64		

经常性、大量生产用,
尺寸在12~100mm

续表

量规的种类	测量公差 0.01mm		测量公差 0.05mm					
	零件硬度HB350以下		零件硬度HB350以下					
	零件硬度HB350以上	零件硬度HB350以上	零件硬度HB350以下	零件硬度HB350以上				
	量规材料(a)	硬度HRC	量规材料(a)	硬度HRC	量规材料(a)	硬度HRC	量规材料(a)	硬度HRC
卡规(c), 测螺纹量柱	L7(d)	61~64	D2(e)	57~64	L7	61~64	D2	62~64
			M2	62~65			M2	62~65
校准棒	1212(b)	...	8620(b)	...	1212(b)	...	8620(b)	...
	8620(b)	...	4140(h)	...	8620(b)	...	4140(h)	...

注: (a) 遇到有一种以上工具材料时, 通常最后一种是为截面用的。

(b) 渗碳, 渗碳表面小于1/5截面厚度, 最低表面硬度HRC61。

(c) 卡规体通常由经过应力消除的铸铁 [(ASTMA48中的) 20、30或35号] 制成。

(d) 5100钢代L7的效果良好。

(e) 用于公差较严的场合, 这种钢材必须在二次淬硬范围内回火, 以获得最大的稳定性。

(f) (在全硬化后推荐) 液体氮化以达到表面硬度HV 1100。

(g) 常选用烧结碳化钨, 但碳化铬, 碳化硼也都能用。

(h) 热处理到HRC26~30, 然后气体氮化24小时。

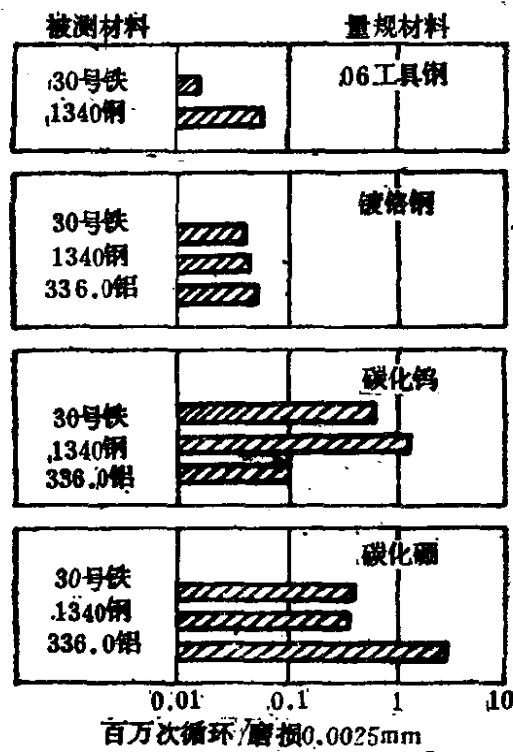


图 75 被测材料对4种不同量规材料制成的塞规磨损的影响

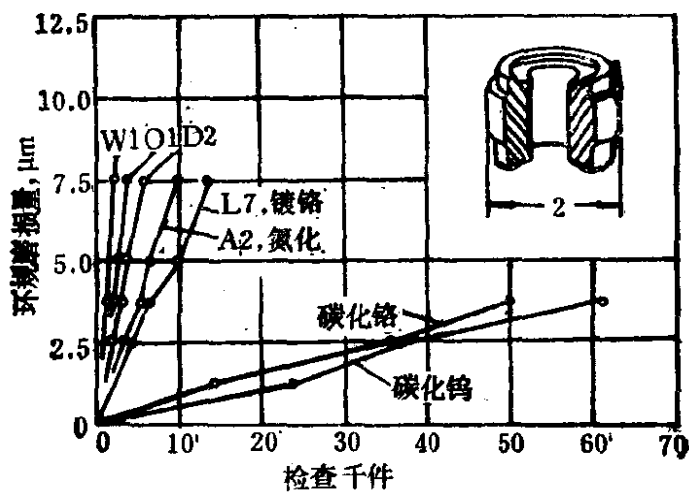


图 76 若干种环规材料磨损比较
可容许的总磨损量为0.0076mm。

的场合。

组合式量规 组合量规的架子、规体和基座通常用铸铁制成。用于量规的铸铁通常为20号、30号或35号灰铸铁，在450~

480℃ 温度下消除应力。

铝在组合量规中也可用来作手柄、规体或底座。铝柄和铝规体可以使软性的如1100或硬性的如2017或2024。铝制组合量规（如塞规、阳螺纹量规及环规）的重量轻可减少检查员的疲劳。由355或356铸铝合金制成的铝基座被用于大型量规，但只用在尺寸没有精密公差要求的场合，如量汽车车身尺寸和窗户尺寸等。

组合量规抗磨损表面用的材料和上述实心量规的要求相同。抗磨损镶块通常是由经过淬硬的工具钢或硬质合金制成。不过，当镶块的形状比较简单，不太容易在热处理中变形或开裂，也可以用一种不太贵的工具钢来代替。

检验卡具 它们属于量规，但属于与迄今为止所讨论过的那些量规的另外一类。它们主要用于检查大型冲压件的外形尺寸，例如汽车车身零件。

用塑料或在铸铁表面上涂复塑料的复合体常用来制作检验用的卡具（检查卡具），因它们成本低，重量比整体用铸铁的轻。单纯用塑料的比较少，因为它不太稳定，抗磨性较差，而且热膨胀比金属要大。由于大多数冲压件的公差约为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，因此塑料在其中多数应用中是合适的。

用来作为检验卡具用的塑料树脂的热膨胀系数约为 $67\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{k}$ ，铸铁约为 $12\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{k}$ ，但如果以4份玻璃丝布作为填充料与一份树脂相配合，则其热膨胀系数与铸铁相比，大大接近。热膨胀系数的变化并非直接与玻璃填料的数量成正比。例如在一种填充塑料中，增加80%的玻璃使玻璃与树脂间的系数差仅减低40%。

用来作为检验卡具的塑料必须彻底固化以提高稳定性，所用的铸铁必须消除应力。

既不是全塑料也不是组合结构都适宜制作各种检验卡具，但由于成本低和重量轻，两种情况都是值得考虑的。虽然由于成本低和轻的原因而选用塑料-灰铸铁的组合物，但对检验卡具中的易损部分还没有合适的材料来取代经过淬硬的钢材。

校正量规 校正用量规要求高精度、优良抗磨性及最大稳定性。它们系用来检验其它量规之用，并要求它们在长期的使用中保持精度。由于校正用量规的最主要特性之一便是尺寸的稳定性，所以在所用的材料中最好没有残留的奥氏体和残余应力。

虽然高碳高铬钢（如D2和D4）具有合乎要求的特性，但没有一种材料对用来制作校正用量规是比较理想的。这些钢材很难加工，但它们在热处理中所呈现的尺寸变形较少。在二次淬硬范围中回火后并作冷处理（对精密生产用量规也作同样处理），由这些钢材制成的校正量规，特别是经过最后消除应力的回火之后，具有很好的尺寸稳定性。

在选择校正用量规的材料时，抗磨损是一个重要的（虽然是属于第二位的）考虑因素。经过适当热处理后具有高抗磨性的D2和D4工具钢，在515℃下经气体氮化处理后还可以进一步增加它们的抗磨性。对现在有恒温的室内使用的校正用量规，整体硬质合金是制造这种量规的一种很好的材料。

二、表面处理

简单的量规经镀铬后可以提高量规的寿命，抗大气腐蚀的性能（无底层镀镍），并用于补救已磨损的量规。如量规的易磨损部分位于边缘或棱角，那末不要镀铬，因在经常使用中铬镀层会剥落，特别是对那种针状量规会有这种情况。凡边缘或棱角会受到碰撞的部分也不要镀铬。如果量规采用镀层，那末电镀应在38~60℃时进行，接着量规应即在150℃烘烤2小时或以上除氢以防脆性。

在湿度高时（60%以上）或有工业气体存在时，量规的腐蚀，就要成为一个问题。一种常用的保护碳素钢和低合金钢量规的办法是把它们涂上一层薄薄的磷酸盐，这样在表面就有一层油膜，这

样做并不影响量规的尺寸,量规用不锈钢例如440C不锈钢(1% C, 17% Cr)制造,也可避免腐蚀,不锈钢可以淬硬、在二次硬化范围内回火、冷处理以及给予最终的消除应力的回火处理。当量规用碳素钢或低合金钢制造时,它们可以先镀镍,然后镀铬。硬质合金量规不需防腐蚀。

第二十三章 工具材料用于 结构件的选择

工具材料有它们独有的特性，它们特别适宜于许多结构方面的应用(非工具的)。许多工具钢在热处理时是不变形的——即它们经受很少的变形或者尺寸和形状不变。它们还具有良好的到极好的抗磨性、热态下的硬度、韧性、耐冲击、可淬透性和尺寸的稳定性。除此以外，工具钢还具有细晶粒度和良好的显微清洁度。

美国生产的硬质合金中约有一半系用来制作岩石钻头，以及矿山、石油、天然气工业中的阀门座。关于这方面的应用，碳化钨的高抗磨性是它最有用的特性，它的高密度 (15Mg/m^3) 适宜于需要高惯量的场合。陀螺转子、飞轮、抗震阻尼器、离心离合器和调速器等零件都是利用碳化钨的高密度优点制成的。它的高弹性模数 (620GPa)，对在负载下要求很小挠度的装置如镗杆是十分合用的。

虽然工具钢的成本必然会高一些，但常比结构合金钢为优，主要是因为它的寿命长，并可增加可靠性。

一、抗磨性

受到严重磨损的机械零件的典型例子有导轨、凸轮、平面滑动轴承、导套及凸轮滚轮。这类零件经常在高接触应力、高表面速度、边缘润滑以及磨擦性环境下使用。为了提高抗磨性，供这种应用场合的合适材料有W1、O1、A2、D2、M2、T15及硬质合金。

液压阀中的阀塞由渗碳8620改成A2工具钢，经运用三年后，用A2制成的阀塞比用8620制成的阀塞反应更为灵敏，显示出液压油的泄漏率低于70%，性能的改进是由于它保留了在阀座台肩口锋利的刃边及在精密配合的直径上磨损量的减少的缘故。

在纺织工业中证明D2工具钢用作导线钩十分适用。

二、热硬度

许多机械零件要求在高温下使用，其结果是使普通的结构钢回火，硬度降低到它的实用范围以下。高速钢在这方面应用很满意。燃气轮机内滚动轴承常在540℃下使用，通常用M42工具钢制作这种轴承。塑料注射成型机中的阀门及阀座必须能承受树脂塑化的温度，对某些聚合物来讲，这个温度可能高达300℃，M2型工具钢常供此种用途。

三、韧性

许多机械零件的设计要承受反复的弯曲。这些具有弹性的应用包括开缝的钻头套筒、叶片与片弹簧、扭力杆和飞机上的关键零件如降落架零件、直升飞机转子。L2和L6工具钢是其中唯一含镍的几种标准型号，它们具有高的韧性，所以在弯曲场合下作为选用的对象。

热模钢H11、H11改性、H12和H13的某些性能在飞机的机架及起落架的应用中都是十分重要的。这类钢在回火曲线中有二次硬化最大值，并且在565℃下回火后可以发挥其最大硬度、最大的抗拉强度、高的断裂韧性及最大的疲劳强度等综合性能。这种材料易于受氢脆化，即使在微量的大气环境中也必须有防腐的涂层保护。同样，如要在400℃下长期使用，还要防止氧化。

四、耐冲击性

S组耐冲击钢虽然具有很好的韧性，其抗剥裂的性能也多半十分突出。S5和S7用于含有冲击负荷的场合，如离合器的牙轮、棘轮、挡块和止块等。

五、热处理的安全性

工具钢的优异淬透性用不着像淬合金结构钢那么激烈，这就增加了在热处理过程中的安全性——即开裂的机会较少——对于用作样板和多种用途的板之类的零件，它们具有复杂的形状，在拐角、棱边、内圆角及孔处包括有应力集中。通常选用空气中淬硬的钢如A2作上述这些应用。若干种工具钢包括O2、O6、A7和L6可以在较低的奥氏体化温度（790℃）淬硬。对那种在淬硬后难以精加工的零件——如齿轮、花键和联轴器——由于减低奥氏体化的温度造成的小变形是十分有利的。

六、尺寸的稳定性

精密测量工具如块规、角尺、直尺、样板和千分尺砧座都要求尺寸特别稳定。尺寸的变化由两种主要原因造成：由于使用中磨损或由于残留奥氏体的转换使尺寸变化。O2工具钢对减少这两种影响，效果显著。在石墨的O6类材料中，游离碳的存在对提高尺寸的稳定性十分有效。O2和O6两种钢经多次冷处理，然后再回火，对转换或稳定残留奥氏体是十分有益的。

第二部分

第二十四章 我国的工模具材料概况

解放前，我国工模具材料的生产几乎是空白。解放初期，即使是合金工具钢也全部依靠进口。因此，根本谈不上自己的工模具材料体系。

1952年，参考苏联的国家标准，开始建立起我国的工具钢钢号标准。此后三十年，特别是近十年来，我国在工模具材料的生产 and 研制方面获得了飞跃的发展。

在1952年标准的基础上，五十年代，为节约镍、铬等稀缺金属，我国曾大量引进过西德钢种，主要是一些含硅、锰、钨、钒等元素的合金工具钢。1959年，经补充修订，制定了碳素工具钢、合金工具钢、高速工具钢的冶金工业部标准YB5-59、YB7-59和YB12-59。到七十年代初期，仅合金工具钢的年产量就达到6万吨以上，我国已经成为世界上工具钢的主要生产国家之一。

七十年代，在新钢种的研制方面，有关科研单位，大专院校和各钢厂结合我国资源和需要进行了大量的工作。根据“先进的推广，落后的淘汰，重复的合并，空白的补充”的原则，在调查研究的基础上对钢号做了较大的调整。1978年我国正式发布了碳素工具钢和合金工具钢的国家标准GB1298-77和GB1299-77。在合金工具钢的国家标准中共纳入了33个钢号，第一次明确了钢组的划分，建立了量具刃具用钢、耐冲击工具用钢，冷作模具钢和热作模具钢等标准钢号系列。此外冶金工业部还提出了YB/Z10-76技术性指导文件，列出1种冷作模具钢和5种热作模具钢作为

推荐钢号供生产中试用和验证。对于高速工具钢，1978年发布了部标准YB12-77代替YB12-59，钢号由原来的4个增补为9个，并区分为钨系高速工具钢和钼系高速工具钢两个钢组系列。我国工具钢种日趋完善。

我国超硬工具材料的发展也大体经历了上述的历程。1977年冶金工业部修订发布了硬质合金牌号标准YB849-75，并于同年元月起正式实施。标准中包括矿山、石油、地质用硬质合金在内共规定了16个牌号，分为钨钴、钨钛钴、钨钛钽（铌）钴合金以及碳化钛镍钼合金等类别，使得硬质合金的生产更能充分满足使用要求。同时其它超硬工具材料的研制，如高纯氧化铝陶瓷、金属复合陶瓷、立方氮化硼、人造金刚石等也都取得了很大进展。上述材料用作切削刀具，在解决高硬度高强度难加工材料的切削加工问题方面收到了明显效果，逐步改变了过去在这些方面过分依靠进口的状况。

虽然1977年以来各项标准的制定和实施较原有标准大大前进了一步，但限于当时的条件仍有很多不足之处。如个别钢号之间性能差异不大，某些钢种仍需补充调整，而且随着科学技术的不断发展和不断进步，近年来，科研、生产、使用单位紧密结合，在工模具材料的研制试验方面继续进行着努力，又取得了很多新的成果。这就给我国工模具材料生产水平和使用水平的进一步提高创造了更为有利的条件。

本章分切削工具用钢、硬质合金及其它超硬材料、冷作模具材料和热作模具材料四个部分，分别叙述已经纳入各项标准的主要钢号和硬质合金牌号的成分，性能及选择原则，同时也对一些使用效果较好的新钢种和超硬工具新材料进行简要介绍。

一、切削工具用钢

1. 切削工具的工作条件和对刀具材料的性能要求

由于切削过程中，大多数刀具都承受着巨大的切削抗力，较高的切削温度和剧烈的摩擦作用，所以刀具的磨损、崩裂、刃口软化将直接影响零件的加工质量、刀具的耐用度、加工效率和生产成本。对高硬度高强度钢等难加工材料，刀具材料的选择有时会成为能否实现切削加工的关键。因此，切削工具材料必须满足以下基本性能要求：

①高的硬度 为实现切削加工，刀具材料的室温硬度应尽可能高于被加工材料的室温硬度，对于工具钢一般要求热处理后达HRC 60以上，只有当切削比较软的材料（如木材）时，才允许低于HRC60。

②高的耐磨性 耐磨性将直接决定刀具耐用度。影响耐磨性的因素除硬度外，还有刀具材料的组织结构和抗粘附性能，即刀具材料组织中硬质点的性质、数量、大小和分布情况，以及刀具材料与被加工材料之间粘附温度的高低。

③高的红硬性* 红硬性指高温下仍能保持高硬度的性能。要求刀具材料在较高的切削温度下，仍能保持优异的切削性能，即不崩刃，也不受热软化。

④足够的强度和韧性 用来承受切削力的作用和切削过程中产生的冲击与振动。刀具材料的强度一般用抗弯强度来表示，韧性用冲击值来表示。要求刀具材料具有强度和韧性的良好组合。

⑤良好的工艺性能 包括切削工具制造过程中的冷热加工性

-
- 红硬性是工具钢的重要性能之一。曾被作为衡量工具钢高温性能的主要指标。其实际表示方法包括选用选定的4次回火（每次1小时）后的室温硬度（例如HRC60）所对应的回火温度，或选择一定的回火温度（例如625℃），经4次回火（每次1小时）后的室温硬度两种。红硬性实质上是反映了工具钢的抗回火软化性，虽然它显示了刀具在使用过程中反复被加热和冷却后的变化，但不能真正代表刀具刃口在切削状态下受热时抗软化的能力。反映这种能力的还有另外一种试验法，即直接测量高温硬度。它是通过对整个试样加热到一定温度时（例如600℃），在高温下测量硬度数值。高温硬度虽然能够比较接近切削状态，但无法显示刀具在反复受热和冷却过程中的变化而且实际切削状态也不同于整体加热，所以也是近似的。红硬性和高温硬度往往不一致，红硬性高不一定高温硬度也高。

能，如工具钢退火状态下的可加工性，刀具精加工时的可磨削性以及压力加工、热处理和焊接性能好坏。这些性能将决定切削工具本身的制造成本。

2. 切削工具用钢的一般选择

虽然工具钢包括有碳素工具钢、合金工具钢和高速工具钢三大类，但作为金属切削工具，目前大量应用的是各种类型的高速工具钢。如精车刀、精刨刀、成形车刀、钻头、扩孔钻、中心钻、铰刀、机用丝锥、铣刀、圆锯片、各种拉刀和齿轮刀具，多数都采用高速工具钢来制造。由于高速工具钢刀具性能稳定、加工成形方便、通用范围广、刃口强度和韧性高，尽管五十年代以来硬质合金等超硬工具材料在车削、刨削、端铣刀等方面获得了推广，但据1968年资料统计，高速工具钢刀具使用量仍占世界各国刀具总量的57.1%，说明高速工具钢仍是当前使用最广泛的刀具材料。

对于切削速度不高的小型刀具和细长刀具，为降低成本或减小变形，一般不用高速工具钢制造。如手用铰刀，手用丝锥、各种板牙等可选用9SiCr、CrWn等合金工具钢，只有当切削速度和精度要求都不高时，如小于M12的手用丝锥，各种锉刀和手用锯条等才采用T10A~T12A碳素工具钢制造。

木工工具（如斧头、凿子、锯条、刨刀片等）通常采用T7~T10碳素工具钢即可满足要求。有些木工用刀具，如切削木材用的铣刀和钻头，为提高使用寿命也选用9SiCr、CrWMn或9Mn2V。

螺纹滚压工具（滚丝轮、搓丝板）也可归于切削工具范围，根据被加工材料不同可选用高速工具钢或9SiCr，但一般多用Cr12MoV冷作模具钢制造。

常用切削工具钢材的选用和热处理要求列于表92。

3. 高速工具钢（简称高速钢）

高速钢属于含有大量钨、钼、铬、钒等合金元素的高合金

表92

常用切削工具钢材的选用和热处理要求

刀具名称	使用条件	选用钢号	工作部分 回火温度, °C	硬度范围, HRC	
				工作部	刀体或尾部
精车刀、精刨刀、钻头、扩孔钻、铰刀、机用丝锥、铣刀、各种拉刀和齿轮刀具	加工一般钢材、铸铁及有色金属	W18Cr4V W6Mo5Cr4V2	550~570	63~66	30~45
	加工高硬度高强度钢和高温合金等难加工材料	W6Mo5Cr4V2Al W12Cr4V4Mo	550~570	66~69	30~45
各种手铰刀		9SiCr Cr W Mn	150~170	61~65	30~45
		T10A~T12A	150~170	59~63	30~45
各种手用丝锥	<M12	9SiCr Cr W Mn	140~180	62~66	30~45
	>M12				
手用及机用板牙		9SiCr Cr W Mn	190~200	60~63	整体

续表

刀具名称	使用条件	选用钢号	工作部分 回火温度, °C	硬度范围, HRC	
				工作部	刀体或尾部
滚丝轮、搓丝板	加工钢材	Cr12 Mo V	520~540	59~62	...
		W18 Cr4 V	580~600		
		W6Mo5Cr4V2	580~600		
各种锉刀	加工软金属 手用和机用	Cr12MoV 9 Si Cr	520~540 200~220	59~62	...
		T10A~T12A	140~150	56~58	≤35

钢,一般含碳量为0.7~1.2%。由于高速钢中碳与不同合金元素化合成各种高熔点、高硬度的复合碳化物,在热处理过程中,即强化了基体,又因大量过剩碳化物的析出并呈均匀弥散的分布,形成硬质点,提高了钢的红硬性和耐磨性。一般高速钢在550~600℃的温度下,仍能保持极高的硬度(不低于HRC 60),这是碳素工具钢和一些合金工具钢所无法达到的。此外,由于大量合金元素的存在,使高速钢具有良好的淬透性,除大尺寸工具外,即使空冷条件下也可以完全淬透。因此高速钢被广泛用来制造各种金属切削工具。YB12-77中规定的高速工具钢钢号和化学成分见表93。

我国最通用的高速钢钢号为W18Cr4V和W6Mo5Cr4V2,约占高速钢总消耗量的98%以上。W18Cr4V是世界上最早研制出的高速钢钢种,也是我国长期普遍采用的一个钢号。其特点是淬火温度范围较宽(通常采用1270~1310℃),脱碳倾向小,磨削性能好,但原材料碳化物偏析严重(一般要经过改锻,以提高碳化物不均匀度级别),热塑性差、韧性低,而且因含有大量合金元素钨,许多国家受资源限制,不得不着手低钨高速钢的研制。W6Mo5Cr4V2是高钨高速钢的代用钢号。由于以钼代钨,并相应提高了钒的含量,碳化物细小,分布均匀,使原材料碳化物不均匀度获得了很大程度的改善,而且在950~1150℃范围内具有良好的热塑性,便于进行压力加工,其韧性和耐磨性也有提高,价格也较为低廉,因此在一些国家已全部取代了W18Cr4V。七十年代以来,W6Mo5C4V2在我国的比重也在逐渐加大。但W6M5Cr4V2淬火温度范围较窄(为1220~1250℃),过热敏感性脱碳敏感性都较为严重,热处理时必须引起足够重视。这两种高速钢淬火后经550~570℃多次回火,硬度均可达到HRC 63~66,可以满足各种类型切削工具对常用材料加工的要求。

在高速钢中加入适量稀土元素可以细化钢锭组织,改变碳化物分布不均匀状态,提高塑性和冲击韧性,改善热加工工艺性

表93 高速工具钢号和化学成分 (YB12-77)

序号	钢号	化 学 成 分, %										
		C	W	Mo	Cr	V	Co	Si	Mn	Nb	Al	Xt 加入量
1—1	W18Cr4V	0.70~ 0.80	17.50~ 19.00	<0.30	3.80~ 4.40	1.00~ 1.40		<0.40	<0.40			
1—2	9W18Cr4V	0.90~ 1.00	17.50~ 19.00	<0.30	3.80~ 4.40	1.00~ 1.40		<0.40	<0.40			
1—3	W12Cr4V4Mo	1.20~ 1.40	11.50~ 13.00	0.90~ 1.20	3.80~ 4.40	3.80~ 4.40		<0.40	<0.40			
1—4	W14Cr4VMnXt	0.80~ 0.90	13.50~ 15.00	<0.30	3.50~ 4.00	1.40~ 1.70		<0.50	0.35~ 0.55			0.07
2—1	W6Mo5Cr4V2	0.80~ 0.90	5.50~ 6.75	4.50~ 5.50	3.80~ 4.40	1.75~ 2.20		<0.40	<0.40			
2—2	W6Mo5Cr4V2Al	1.05~ 1.20	5.50~ 6.75	4.50~ 5.50	3.80~ 4.40	1.75~ 2.20		<0.60	<0.40			0.80~ 1.20
2—3	W6Mo5Cr4V5SiNbAl	1.55~ 1.65	5.50~ 6.50	5.00~ 6.00	3.80~ 4.40	4.20~ 5.20		1.00~ 1.40	<0.40	0.20~ 0.50		0.30~ 0.70
2—4	W10Mo4Cr4V3Al	1.30~ 1.45	9.00~ 10.50	3.50~ 4.50	3.80~ 4.50	2.70~ 3.20		<0.50	<0.50			0.70~ 1.20
2—5	W12Mo3Cr4V3Co5Si	1.20~ 1.30	11.50~ 13.50	2.80~ 3.40	3.30~ 4.40	2.80~ 3.40		4.70~ 5.10	0.80~ 1.20			

注: ① Xt表示稀土元素, 为改善钢的组织性能, 允许在其他钢中也加入适量稀土元素, 但需在证明书中注明。

② 在钨系高速工具钢中, 钼含量允许到1.0%。钨、钼二者的关系, 当钼含量超过0.3%时, 钨含量相应减少, 在钼含量超过0.3%的部分每1%的钼代替2%的钨, 在这种情况下, 在钢号后面加上“Mo”。

③ 硫、磷含量各不大于0.030%。

能。W₁₄Cr₄V_{Mn}Xt为适当减少含钨量，而含有少量锰及稀土元素的钨系高速钢新牌号。其性能相当于W₁₈Cr₄V，但具有较好的热塑性，符合我国资源情况，可以代替W₆Mo₅Cr₄V₂用于制造热轧成形刀具。

为进一步提高耐磨性和红硬性，国内外研制了一些含钒量较高的高性能高速钢，一般含钒量不超过5%。W₁₂Cr₄V₄Mo是我国较早纳入冶金部标准的钢号。由于含钒量增高，钒和碳生成硬度极高的碳化钒（VC）从基体中弥散析出，同时难熔的初生碳化钒存在于晶界，可以阻止晶粒长大，细化了晶粒，因而提高了钢的耐磨性和韧性。此外，随着含碳量和含钒量的增加，还使硬度和红硬性得到提高（上海工具厂试验的几种高速钢的红硬性数据见表94）。因此W₁₂Cr₄V₄Mo可以用于难加工材料的切削。但高钒高速钢的可磨削性差，只能用来制造简单的车、刨和镗刀，应用范围并不广泛。

表94 几种高速钢的红硬性（保持硬度HRC60）

钢号	淬火温度, ℃	红硬性, ℃
W ₁₈ Cr ₄ V	1280	620
W ₆ Mo ₅ Cr ₄ V ₂	1240	625
W ₆ Mo ₅ Cr ₄ V ₃	1220	637
W ₁₂ Cr ₄ V ₄ Mo	1260	642

在高钒高速钢中，为保证更多的VC析出，在增加含钒量的同时必须相应增大含碳量。根据合金碳化物中合金元素与碳的定比关系，我国一些部门试图从改变通用高速钢的化学成分入手，通过适当提高含碳量，来改进高速钢的性能，9W₁₈Cr₄V即属高碳型W₁₈Cr₄V。由于含碳量增加，提高了高速钢的硬度和红硬性，在切削耐热钢等难加工材料过程中，较通用的W₁₈Cr₄V刀具耐用度可提高3~5倍。但强度和韧性有所下降（其性能比较

如表95所示)。试验证明, 如果含碳量过高不仅使碳化物均匀性变坏, 而且使机械性能和刀具耐用度显著下降, 所以高碳型高速钢的应用也有局限性。

表95 高碳和通用型高速钢性能比较

	W ₁₈ Cr ₄ V	9W ₁₈ Cr ₄ V	W ₆ Mo ₅ Cr ₄ V ₂	高碳W ₆ Mo ₅ Cr ₄ V ₂ ^(a)
淬火回火后硬度 HRC	63~66	66~68	64~67	67~69
625℃红硬性 HRC	60~63	64~65	61~64	65~66
600℃下高温硬度 HRC	51~52	52.5	...	...
抗弯强度 $\sigma_{bb}, \text{kg/mm}^2$	320~270	290~295	400~310	≈350
冲击韧性 $\alpha_k, \text{kg}\cdot\text{m/cm}^2$	2.0~1.7	1.5~1.7	4.6~4.7	2.6~1.3

注: (a) 含碳量1.16%。

4. 超硬高速钢

为适应高硬度高强度钢和高温合金等难加工材料切削加工的需要, 除高钒高速钢和高碳高速钢外, 国内外还发展了各种高性能高速钢, 由于这些高速钢热处理后室温硬度可达HRC 66~70, 而且耐磨性和红硬性也优于通用高速钢, 所以被统称为超硬高速钢, 主要用于难加工材料的铣削、钻孔、攻丝和拉削等刀具的制造。各种高性能高速钢所占比重, 在工业较发达国家已超过20%。

在世界范围内, 钴高速钢被公认为性能最为优异的超硬高速

钢种，一般含钴5~12%，其典型牌号为M42(含钴量8%)。虽然钴不是碳化物形成元素，但能有效地提高钢的回火硬度和红硬性，增强高温下刃口的抗软化能力，而且可磨削性比高钒高速钢优异，可以用来制造成形复杂刀具。但钴高速钢脆性较大，随着含钴量的增加韧性显著降低，而且脱碳倾向严重，再加钴属稀缺元素，钴高速钢价格较为昂贵，在我国标准中只纳入了一种低钴高速钢W₁₂Mo₃Cr₄V₃Co₅Si(代号Co5Si)，供切削难加工材料时，在特殊情况下选用。

含铝高速钢W₆Mo₅Cr₄V₂Al(代号M2Al)是我国结合国内资源自行研制具有良好综合性能的无钴超硬高速钢，其室温硬度可达HRC 67~69，具有高的耐磨性和韧性，而且冷热加工性能优于其它高性能高速钢，价格较为低廉，是一种很有推广价值的超硬高速钢钢种，常用于低速情况下加工要求高精度高光洁度的精密零件。缺点是易于氧化脱碳，热处理时需要注意盐浴脱氧和加热保护。

此外，W₆Mo₅Cr₄V₅SiNbAl(代号B201)和W₁₀Mo₄Cr₄V₃Al(代号5F₀)也是我国自己研制的无钴超硬高速钢。高钒含铌高速钢W₆Mo₅Cr₄V₅SiNbAl中，铌和碳强烈形成弥散细小的碳化铌，能有效地阻止晶粒长大，弥散的碳化铌硬质点即提高了耐磨性又提高了钢的韧性，在低速断续切削难加工材料时，能充分发挥其优越性。但这两种钢均因含钒量较高而导致可磨削性变坏。

为改善无钴高钒超硬高速钢的可磨削性和获得良好的综合机械性能，北京钢铁学院和大冶钢厂近年来共同研制了加氮的钨系超硬高速钢W₁₂Mo₃Cr₄V₃N(代号V3N)，其化学成分见表96，已经正式鉴定交有关钢厂生产。由于加入少量的氮(0.04~0.1%)与合金元素形成稳定的氮化物，这些氮化物以高度弥散状态分布于钢中，提高了钢的硬度和耐磨性。而且氮化物的存在还可以细化晶粒，减少碳化物颗粒聚集长大，保证组织均匀，当它硬

表96

V3N钢的化学成分, %

C	W	Mo	Cr	V	N
1.2	12	3	4	3	>0.04

化到 HRC 67~69时, 抗弯强度和韧性下降并不显著, 其可磨削性相当于M2A1, 略低于一般含钒量3%的超硬高速钢, 可以满足各类高性能刀具的工艺和使用要求。V3N钢的试验数据及其与含钴超硬高速钢和普通高速钢之对照如表97所示。其工业应用实例如表98所示。

我国各种超硬高速钢的机械性能比较见表99。

表97

V3N钢切削试验数据

刀具	被加工材料	切削参数			切削时间 分	对比 钢号	破坏情况	
		V, 米/分	S, 毫米/转	t, 毫米			对比钢	V3N
刨	45SiMnMoVCu HRC 51~52	9.6	0.33	1.5	10	M41	Δ后0.5 崩刃0.3	Δ后0.4 无崩刃
车	Ni基合金, GH118 固溶, HRC37	2	0.16	0.5	15	M42	Δ后0.24 Δd0.1	Δ后0.29 Δd0.08
车	Mn13 固溶	5.3	0.11	1.0	50	Co5Si	Δ后0.6	Δ后0.5
端面 车	40Cr, 调质 HRC32	110转/分	0.25	1.0	...	M35 W18	Vp60米/分 Vp54米/分	Vp71米/分

注 ① 一律无冷却。

② 各项试验对比钢和V3N钢角度一致(从略)。

③ 破坏: Δ后—后面磨损宽度, Δd—始末工件直径差, 毫米。Vp—破坏时的切削速度, 米/分。

表98

V3N钢工业应用实例

序号	刀具	被加工材料	加工内容	切削参数	寿命		寿命提高 倍
					对比钢	V3N	
1	车刀	30CrMnSi 调质 HRC30~35	内外锥度梯形螺纹	v0.1, S8, 低速精车	W18Cr4V 3~4件	13~16件	4
2	车刀	20CrNi3A 渗碳, HRC 心40	φ22外圆车R2半圆槽	V11米/分, 手动进刀	W18Cr4V 不能切削	20个槽	...
3	车刀	K6, 固溶 HRC 37	M12× 螺纹	V5米/分, 粗和精车	W18Cr4V 4件	28件	6
4	车刀	GH49, 锻, HRC 35~37	φ165端面	V6.2米/分(最大) t2, S0.22	硬质合金 总屑长32.4米	218米	5
5	钻头	20Ni4Mo HRC 38~42	φ13 标准钻, 盲孔	V10.5米/分, S0.1, 孔深11.5	W18Cr4V 50~100孔	200~250 孔	2
6	钻头	超强韧钢 HRC 51~52	φ12.5标准钻, 通孔	V5.3米/分 S0.1, 孔深10	W18Cr4V <1孔	23孔	...

续表

序号	刀具	加工材料	加工内容	切削参数	寿命		寿命提高 倍
					寿	命	
					对比钢	V ₃ N	
7	指形铣刀	³⁷ SiMnMoV, HB 300~320	M18, Z14 齿宽 550	V 9.3米/分 (平均) 手进刀	W18Cr4V 1 齿	14齿以上	>10
8	立铣刀	Cr-Ni-Mo-V钢 HRC48~52	φ10, r15, α16,	V 7.38米/分, t1.5~2, S37.5毫米/分	M2A1 3.6分	21.6分	5
9	立铣刀	Cr-Ni-Mo-V钢 HRC 52.5~53	φ25, r4, α11	V 7.5米/分 t1.0, S23.5毫米/分	M2A1 不能切削	25.5分	...
10	车刀	Ti合金Tc4	φ90 球体外圆	V 16.6米/分(最大), t1.5, S0.1	W18Cr4V 不能切	60分 ▽6~▽7	...
11	车刀	沉淀硬不锈钢 OCr17Ni14Cu4Nb HRC 37~44	镗φ16×61内孔	V 5米/分 t0.1, S0.1	W18Cr4V 20~30孔	100 孔	3

牌号	成分	硬度 HRC	抗弯强度 σ_{bb} , 公斤/毫米 ²	冲击韧性 a_k , 公斤·米/厘米 ²
M2A1	W ₆ Mo ₅ Cr ₄ V ₂ A1	65.3~67	297~387	1.6~2.1
B201	W ₆ Mo ₅ Cr ₄ V ₅ SiNbA1	64.6~66	375~402	1.6~2.4
Co5Si	W ₁₂ Mo ₃ Cr ₄ V ₃ Co ₅ Si	65~66.8	244~328	0.6~0.9
5F6	W ₁₀ Mo ₄ Cr ₄ V ₃ A1	65.5~67	302~320	0.7~1.9
V3N	W ₁₂ Mo ₃ Cr ₄ V ₃ N	66~69	230~380	1.5~4

5. 粉末冶金高速钢

用粉末冶金技术来生产各种高合金高性能高速钢或由粉末直接成型刀具毛坯, 是国外七十年代发展起来的一种先进工艺。由于改变了传统的熔铸生产方法, 不存在化学成分的偏析现象, 使高速钢晶粒细小, 碳化物分布均匀, 强度、韧性、耐磨性都得到提高, 而且能显著减少热处理时的变形, 此外, 锻造、轧制、可磨削性也都得到改善, 适于用来制造各种复杂精密刀具。采用粉末冶金工艺不仅能生产现有牌号的各种高速钢, 使其性能有所提高, 而且有可能在高速钢粉末中添加耐磨的超硬微粉, 生产出传统熔铸方法所不能生产的介于高速钢和硬质合金之间的高性能特种高速钢, 为研制高速钢新钢种开辟了广阔的途径。

粉末冶金高速钢包括雾化制粉、粉末真空脱氧和致密成材等三个主要环节。制粉方法有气雾化制粉和水雾化制粉之分。其原理是依靠高速惰性气流(氩气)或高压水, 冲击雾化嘴流出的熔融高速钢液流, 熔融的钢液即雾化成细小液滴, 并在几分之一秒内冷却到室温, 成为高速钢粉末, 经脱氧、压型和烧结, 即可得到致密的棒材。水雾化较气雾化制粉, 设备投资小, 雾化介质(可

用一般自来水)费用低,制成粉末粒度小,形状不规则,有利于成型,因而较气雾化优越。但水雾化制粉,粉末含氧量高,将会影响成形后的材料性能。

国内一些单位近年来先后开展了粉末冶金高速钢的研制,并取得了成果。如北京工具研究所的GF3水雾化粉末冶金高速钢已完成中间试验,其化学成分见表100。

表100 GF3化学成分, %

C	W	Mo	Cr	V	Co	O
1.5	10	5	4	3	9	<0.06

GF3属钴高速钢,热处理后室温硬度达HRC68~70,625℃4小时的红硬性为HRC60~61.7,600℃时的高温硬度可达HV677。精加工调质钢材时,刀具耐用度较通用高速钢提高5倍以上,而且适用于难加工材料的切削。特别是可磨削性良好,利用普通刚玉砂轮即可刃磨,大大降低刀具制造成本。

除此之外,国内还研制有多种含钒量较高的粉末冶金高速钢,虽然提高了含钒量,但磨削并不困难,这就给高钒高速钢的应用创造了有利条件。

6. 切削工具用的合金工具钢

这一类工具钢属于含有少量合金元素的高碳低合金钢。由于合金元素含量低,硬度、强度、耐磨性、特别是红硬性远不及高速工具钢,一般切削温度超过300℃时,刀具即失去切削性能,不能适应高速切削的需要。但合金工具钢正由于合金元素含量低,因而具有较好的锻造,热处理和机械加工等工艺性能,价格也较为低廉,同碳素工具钢相比,又具有淬透性好,热处理变形小等特点,所以仍用于一些低速条件下小型和细长刀具的制造。作为金属切削工具常用的合金工具钢有9SiCr、CrWMn、W和CrW5,有时也用Cr2或9Mn2V。此外,GB1299-77量具刀具

用钢组中 CrMn、Cr2 主要作为量具用钢，8MnSi、9Cr2 可用于木工工具，Cr06 专门用来制造剃刀、雕刻刀和外科手术用锋利的手术刀，V 钢可作为刀具材料，但多用于凿子、风钻、风镐等凿岩工具。这些钢号中除 9SiCr、CrWMn、CrMn 钢产量稍大外，其余钢号用量极少。GB1299-77 量具刃具用钢的化学成分见表 101。

9SiCr 是我国应用较为广泛的一种合金工具钢，不但被用来制造切削工具，如板牙、手用丝锥、手用铰刀和硬质合金钻头刀体，而且也用于小型冲模和夹具零件。9SiCr 中由于含有铬和硅，铬提高了钢的淬透性，可以进行分级淬火和等温淬火，减少了热处理变形；硅除增强淬透性外，还提高了工具钢淬火后的抗回火稳定性，并增大碳化物的分散度，在低温回火的情况下，使碳化物弥散析出，均匀分布，改善了淬火钢的机械性能。一般 9SiCr 在 860~870℃ 淬火，180~200℃ 回火，硬度可达 HRC60 以上。但 9SiCr 过热敏感性和脱碳敏感性较为严重，如淬火加热温度超过 880℃ 时，将会引起晶粒显著长大，造成淬火后组织粗大。此外，加热过程中要防止氧化脱碳。

W 和 CrW5 钢中随着钨的加入，并不增强淬透性，主要是生成合金碳化物，提高工具钢的硬度和耐磨性。W 钢加热到 800~830℃ 水淬，硬度不低于 HRC62；CrW5 经 820~840℃ 水淬，硬度可达 HRC65~67。由于 W 钢淬透性较差，只能用来制造截面较小，切削速度较低，工作温度不高的小型切削工具。CrW5 因具有高的室温硬度和耐磨性，多用来制造各种精加工刀具，如中等切削速度下工作的小型车刀、铣刀和雕刻用刀具。这两种钢的可磨削性良好，可以保证光洁表面和精确的尺寸，但碳化物不均匀度增高，所以已逐渐被其他工具材料代替。

CrWMn 属冷作模具钢，但也普遍用来制造细长刀具和夹具零件，在我国也是年产量较大应用较广的一个合金工具钢钢号，其应用范围与 9SiCr 相同。CrWMn 保留了钨钢的特点，具有高

表101 GB1299-77量具刃具用钢钢号和化学成分

序号	钢组	钢号	化学成分, %					
			C	Si	Mn	Cr	W	V
1-1		9SiCr	0.85~0.95	1.20~1.60	0.30~0.60	0.95~1.25		
2		8MnSi	0.75~0.85	0.30~0.60	0.80~1.10			
3		CrMn	1.30~1.50	≤0.40	0.45~0.75	1.30~1.60		
4		CrW5	1.25~1.50	≤0.40	≤0.40	0.40~0.70	4.50~5.50	
5		Cr08	1.30~1.45	≤0.40	≤0.40	0.50~0.70		
6		Cr2	0.95~1.10	≤0.40	≤0.40	1.30~1.65		
7		9Cr2	0.80~0.95	≤0.40	≤0.40	1.30~1.70		
8		V	0.95~1.05	≤0.40	≤0.40			0.20~0.40
9		W	1.05~1.25	≤0.40	≤0.40	0.10~0.30	0.80~1.20	

注: 硫、磷含量各不大于0.030%。

的室温硬度和耐磨性,由于含铬和锰,又具有良好的淬透性,当加热到820~840℃经油淬或经150℃硝盐淬火,硬度可达HRC62以上。因CrWMn在250~350℃之间回火呈现回火脆性,所以为提高韧性,回火温度应不超过260℃。作为切削工具一般在150~170℃回火,硬度为HRC62~65。用来制造板牙时,在190~200℃回火,硬度仍可保持HRC60~63。同9SiCr相比,CrWMn的韧性、耐磨性和加工工艺性能都有改善,特别适于制造低速条件下大直径的尖刃刀具,如丝锥、拉刀和造纸业用的切纸刀以及切削木材用的刨刀等。

制造金属切削工具除高速工具钢和合金工具钢外,有时也采用铬轴承钢GCr6或GCr9。铬轴承钢属高碳低铬合金钢,由于含有少量铬,显著提高钢的淬透性和淬硬性,压力加工和机械加工性能又与碳素工具钢接近,优于含硅和含钨的工具钢,可以用来代替碳素工具钢和合金工具钢制造小直径的钻头、丝锥等工具。

用于工模具的铬轴承钢钢号和化学成分见表102。

表102 铬轴承钢钢号和化学成分

钢号	化 学 成 分, %					
	C	Mn	Si	Cr	S	P
GCr 6	1.05~1.15	0.20~0.40	0.15~0.35	0.40~0.70	≤0.020	≤0.027
GCr 9	1.00~1.10	0.20~0.40	0.15~0.35	0.90~1.20	≤0.020	≤0.027
GCr15	0.95~1.05	0.20~0.40	0.15~0.35	1.30~1.65	≤0.020	≤0.027

二、硬质合金及其它超硬工具材料

1. 硬质合金的性能

硬质合金是以高硬度、难熔的金属碳化物(碳化钨、碳化钛、

碳化钨、碳化铌等)为主要成分,用钴、钼、镍等做粘结剂,经粉末冶金方法烧结而成的一种超硬工具材料。由于其高硬度金属碳化物的含量远远超过高速钢,使得硬质合金比高速钢(包括超硬高速钢在内)具有更高的硬度和良好的耐磨性,一般硬质合金的室温硬度可达HRA89~93(相当于HRC74~81)。同时大量难熔的金属碳化物又使硬质合金的红硬性获得很大的提高,在800~1000℃的高温下,仍能保持优异的切削性能。因而硬质合金作为切削工具材料一经被发现,就把金属切削速度提高到一个崭新的阶段。近年来,不仅在车刀、刨刀、镗刀、端铣刀等方面获得了广泛应用,而且随着工具制造工艺水平的提高,逐渐在向其他领域扩展。同高速钢相比,硬质合金也有其不足之处,主要是抗弯强度和冲击韧性较低、制造复杂刀具成形较为困难。近来虽有整体硬质合金刀具出现,但仍局限于小直径钻头、立铣刀、键槽铣刀和小模数齿轮刀具,而且成本较高,刃磨和重磨都较为困难,未能普遍推广。目前硬质合金在多数情况下仍被制成刀片型式,通过钎焊或机械夹固,做成焊接或装配式结构。在焊接过程中,因为硬质合金的导热系数和线膨胀系数与刀体用钢有较大差异,如结构设计或操作不当,易于产生焊接裂纹,机械夹固又使结构复杂,要求较高的制造工艺水平,因此阻碍了它的进一步推广。此外,硬质合金相对于工具钢,磨削较为困难,刃口也难以保证锋利,对高精度高光洁度复杂精密零件的加工仍依赖于高速钢刀具。基于以上原因,高速钢仍不能完全为硬质合金所代替。

2. 硬质合金的分类

硬质合金可以采取不同的原则进行分类。根据硬质合金的应用范围,通常可以将其分为切削工具用硬质合金、硬质合金模具、硬质合金量具及耐磨材料和矿山石油地质用硬质合金4大类。

(详见株州硬质合金厂编著《硬质合金的使用》一书)。由于应用范围不同,要求硬质合金具有不同的化学成分、组织结构和物理

机械性能。

按照化学成分及使用特性,硬质合金又可以区分为不同牌号。我国目前通用的硬质合金牌号规定于YB849-75(其化学成分和物理机械性能见表103),共包括钨钴、钨钛钴、钨钛钽(铌)钴合金和碳化钨镍钼合金等4个类别16种牌号。

钨钴合金(YG类) 主要成分为碳化钨(WC)和钴(Co),某些牌号中也加入少量碳化钽(TaC)或碳化铌(NbC)以使晶粒细化,提高其硬度和红硬性。这类合金同其他硬质合金相比具有较高的抗弯强度和韧性、较大的导热系数、较好的焊接性能和磨削性能,因此主要用于铸铁、有色金属及其合金等脆性材料的切削加工,还在拉丝模、冷镦模、冲裁模、冷挤模、耐磨零件和量具等方面用以代替工具钢,可大大提高工模具寿命。对于矿山、石油、地质用钻头、凿岩机钎头、截煤机截齿等地质钻探、凿岩工具和采掘工具也普遍采用钨钴类粗颗粒合金来制造。

钨钴合金中, YG6X由于加入少量碳化钽(铌)细化了晶粒,碳化钨晶粒不大于5微米,其硬度和耐磨性较YG6都有提高,但抗弯强度略有降低。YG6X适于冷硬铸铁、耐热合金钢的精加工、半精加工,也可用于普通铸铁的精加工以及钢材、有色金属的细丝拉拔模。

YG6A亦属细颗粒合金,其碳化钽含量达2%。随着碳化钽含量的增加,除进一步提高了硬度和耐磨性外,红硬性和抗粘附性能也有改善,使合金具有一定的通用性,即可用于冷硬铸铁、有色金属及其合金的半精加工,也可用于高锰钢、淬火钢及合金钢的半精加工和精加工。

YG8N是较晚纳入标准的合金牌号,其中含有1%的碳化铌。因为YG8N红硬性较好,即使高温下,也具有一定的硬度和强度,可用来代替YG6和YG8作为粗加工各种铸铁的通用牌号,特别是在不利条件下粗加工普通铸铁,可锻铸铁、球墨铸铁时,刀具

表103 硬质合金牌号、化学成分和物理机械性能 (YB849-75)

类别	牌号	化学成分, % (重量)				物理机械性能			
		碳化钨	碳化钛	碳化钽(钨)	钴	其他	抗弯强度 不低于 公斤/毫米 ²	密度 克/厘米 ³	硬度 洛氏硬度不小于 HRA
钨 钴 合 金	YG3X	96.5		< 0.5	3		110	15 ~ 15.3	91.5
	YG6X	93.5		< 0.5	6		140	14.6 ~ 15	91
	YG6A	92		2	6		140	14.6 ~ 15	91.5
	YG6	94		...	6		145	14.6 ~ 15	89.5
	YG8N	91		1	8		150	14.5 ~ 14.9	89.5
	YG8	92		...	8		150	14.5 ~ 14.9	89
	YG4C	96		...	4		145	14.9 ~ 15.2	89.5
	YG8C	92		...	8		175	14.5 ~ 14.9	88
	YG11C	89		...	11		210	14 ~ 14.4	86.5
	YG15	85		...	15		210	13.0 ~ 14.2	87
钨钽(钨) 钴合金	YW 1	84~85	6	3~4	6		120	12.6~13.5	91.5
	YW 2	82~83	6	3~4	8		1.35	12.4~13.5	90.5
钨 钽 钴 合金	YT 5	85	5	...	10		140	12.5~13.2	89.5
	YT14	78	14	...	8		120	11.2~12.0	90.5
	YT30	66	30	...	4		90	9.3~9.7	92.5
钨钽钨 钼合金	TN10	15	62	1	Ni12	Mo10	110	≥6.3	..?

注: X——表示由细颗粒碳化钨组成的合金; C——表示由粗颗粒碳化钨组成的合金;
A——表示加少量碳化钽的合金; N——表示加少量碳化钨的合金。

耐用度较YG8提高1倍以上。此外也可用于不锈钢，冷硬铸铁、白口铸铁的粗加工和半精加工，另外还可用来加工某些铁基高温合金。

钨钛钴合金 (YT类) 由于加入了碳化钛 (TiC)，使其耐磨性显著提高，尤其是提高了合金与钢之间的热粘附温度，增强了刀具的抗月牙洼磨损能力，因此主要用于一般钢材的高速切削。但随着耐磨性的提高，其抗弯强度、焊接性能和磨削性能与相同含钴量的钨钴类合金相比显著下降，特别是YT30在焊接和磨削时易于产生裂纹，抗弯强度和韧性较差，只能用于切削条件较为平稳，要求较高硬度和耐磨性时精加工各种钢材以至淬火钢。

钨钛钽 (铌) 钴合金 (YW类) 为改善钨钛钴类合金的性能，在合金中添加适量的碳化钽或碳化铌，能在保证较高硬度和耐磨性的基础上，增强其抗弯强度和韧性，提高粘附温度和抗氧化性，使这类合金具有较好的综合切削性能，既可加工铸铁、有色金属，又可加工一般钢材，也适用于切削高温合金、不锈钢等难加工材料，因此被称为“通用合金”。其中YW1硬度和红硬性较高，通用性较好。YW2，耐磨性稍低于YW1，但抗弯强度和韧性较YW1好，能承受较大冲击载荷。

碳化钛镍钼合金 (YN类) 这类合金以碳化钛为主要成分，以镍钼做粘结剂。由于碳化钛较碳化钨具有更高的硬度和熔点 (见本书表20)，而镍钼的粘结强度又优于钴，因此YN10合金的硬度接近YT30，而抗弯强度，焊接性能和磨削性能均有较大提高和改善，特别是YN10具有较高的红硬性，在1000℃高温下还能进行切削，而且不易与一般工件材料亲和，切削时会形成有自润滑作用的三氧化二钼、镍钼盐酸和氧化钛，因此抗粘附能力强，摩擦系数小，抗积屑瘤和抗月牙洼形成能力大，有利于提高刀具耐用度和工件表面质量，适宜于连续切削条件上精加工各种钢材，尤其是大尺寸淬火钢的精加工。

对于切削工具用硬质合金，1982年我国参考国际标准发布了GB2075-80“切削加工用硬质合金分类、分组代号”，并从1983年10月1日开始实施。标准中将切削加工用硬质合金按其适用加工对象的范围分为三个主要类别，分别以字母P、M、K表示，并规定了不同的颜色标志。

- P——适于加工长切屑的黑色金属，以蓝色作标志；
- M——适于加工长切屑或短切屑的黑色金属和有色金属，以黄色作标志；
- K——适于加工短切屑的黑色金属，有色金属及非金属材料，以红色作标志。

具体的用途分组如表104所示。

主要类别代号和用途分组代号的规定，有利于明确表示其应用范围和适宜的加工条件，特别是考虑到硬质合金新牌号不断增加，而各厂编号方法又不一致，有一个统一的分类代号和分组代号，便于对切削加工用硬质合金进行分类管理，但分类、分组代号并不能代替硬质合金牌号，在符合统一分类、分组原则的前提下，应该进一步区分不同牌号，即在同一用途分组中，可以有不同的牌号供使用者具体选用。YB849-75中切削工具用硬质合金牌号与GB2075-80中用途分组代号的对照关系见表105。

3. 新型硬质合金

为进一步改进硬质合金质量，提高其物理机械性能和扩大使用范围，国内外开展了大量试验研究工作，提供了很多新型硬质合金工模具材料。

碳化钛基硬质合金 由于以碳化钛为主要成分，以镍钼做粘结剂的碳化钛基硬质合金，硬度可达HRA91~93，耐磨性接近于陶瓷，具有较高的红硬性，在国外已发展成为完整的加工钢材的硬质合金系列。在国内，除YN10外，株州硬质合金厂还研制了新牌号YN05，其硬度为HRA93.3，抗弯强度达95公斤/毫米²，均优于YT30，它具有较高的耐磨性、红硬性和高温抗氧

表 104 切削加工用硬质合金的应用范围分类和用途分组 (GB2075-80)

应用范围分类		用途			性能提高方向		
代号	被加工材料	颜色	代号	被加工材料	适应的加工条件	切削性能	合金性能
P	长切屑的黑色金属	蓝色	P 01	钢、铸钢	高切削速度、小断面切屑、无振动的条件下的精车和精镗		
			P 10	钢、铸钢	高切削速度、中等或小断面切屑条件下的车削、仿形车削、车螺纹及铣削		
			P 20	钢、铸钢、长切屑可锻铸铁	中等切削速度和中等切屑断面条件下的车削、仿形车削和铣削，小断面切屑的刨削		
			P 30	钢、铸钢、长切屑可锻铸铁	中或低切削速度、中等或大断面切屑以及不利条件下的车削、铣削、刨削		
			P 40	钢、含砂和气孔的铸钢	低切削速度、大切削角、大断面切屑以及不利条件下的车削、铣削、插削和自动机床加工		
			P 50	钢、含砂和气孔的中或低强度钢	需要韧性很好的硬质合金的加工，在低切削速度、大切削角、大断面切屑及不利条件下的车削、刨削、插削和自动机床加工		

续表

应用范围分类		用途		分组		性能提高方向	
代号	被加工材料	代号	被加工材料	适应的加工条件		切削性能	合金性能
M	长切屑或短切屑的黑色金属和有有色金属	M10	钢、铸钢、锰钢、灰口铸铁和合金铸铁	中或高切削速度、小或中等断面切屑条件下的车削			
		M20	钢、铸钢、奥氏体钢或锰钢、灰口铸铁	中等切削速度和切屑断面条件下的车削、铣削			
		M30	钢、铸钢、奥氏体钢、灰口铸铁、耐高温合金	中等切削速度、中等或大断面切屑条件下的车削、铣削、刨削			
		M40	易切削钢、低强度钢、有色金属及轻合金	车削、切断，特别适于自动机床加工			

续表

应用范围分类		用途		分 组		性能提高方向	
代号	被加工材料	颜色	代号	被加工材料	适应的加工条件	切削性能	合金性能
K	短切屑的黑色金属、有色金属及非金属材料	红色	K01	特硬灰口铸铁、肖氏硬度大于85的冷硬铸铁、高硅铝合金、淬火钢、高耐磨塑料、硬纸板、陶瓷	车削、精车、镗削、铣削、刮削	↑ 切削速度 ↓ ↓ 进给量 ↑ ↓ 切削力 ↑	↓ 合金性能 ↑
			K10	布氏硬度高于220的灰口铸铁、短切屑的可锻铸铁、淬火钢、硅铝合金、铜合金、塑料、玻璃、硬橡胶、硬纸板、瓷器、石材	车削、铣削、钻削、镗削、拉削、刮削		
			K20	布氏硬度低于220的灰口铸铁、有色金属：铜、黄铜、铝	车削、铣削、刨削、镗削、拉削，要求韧性很好的硬质合金		
			K30	低硬度灰口铸铁、低强度钢、压铸木	在不利条件下和允许具有大切削角的车削、铣削、刨削、插削加工		
			K40	软木或硬木、有色金属	在不利条件下和允许具有大切削角的车削、铣削、刨削、插削加工		

注：不利条件系指原材料或带黑皮的铸件或锻件，硬度不均匀、切削深度不均匀、间断切削以及在有振动的情况下工作等。

表105

切削刀具用硬质合金

(用途分组代号与硬质合金牌号对照表)

用途分组代号	硬质合金牌号
P 01	YT30、YN10
P 10	YT15
P 20	YT14
P 30	YT 5
P 40	
P 50	
M10	YW ₁
M20	YW ₂
M30	
M40	
K 01	YG3X
K 10	YG6X、YG6A
K 20	YG6、YG8N
K 30	YG8、YG8N
K 40	

化性能，用以精车钢、铸钢和合金铸铁，切削速度可达200米/分以上，对于尺寸较大较长、表面光洁度要求较高的工件进行高速精加工效果尤为显著。当用于耐热钢、不锈钢、高强度钢等难加工材料精车时，其耐磨性较YT30可提高1倍以上。其不足之处是韧性较差，不适于在重切削和有冲击载荷的场合下应用，而且由于碳化钛在镍中的熔解度极大，碳化钛与钛合金具有很大的亲和力，所以碳化钛基硬质合金不能用于切削镍基高温合金和钛合金等材料。

超细颗粒硬质合金 使碳化物晶粒细化，同时增加粘结剂的含量，可在提高硬质合金硬度的同时而不降低其抗弯强度和韧性。所谓超细颗粒，要求大多数碳化物平均粒度小于0.5微米。国外一般超细颗粒硬质合金性能指标为HRA90~92.5，抗弯强度200~350公斤/毫米²，它主要用于高速钢刀具不耐磨或低速下硬质合金易崩刃的场合，适于在V=50~60米/分以下低速切削各种难加工材料。国内近年来研制的钨钛钽钴类超细颗粒硬质合金有YH1、YH2和YH3，其硬度为HRA≥93，抗弯强度达170~210公斤/毫米²以上，是兼有高硬度和高强度特性的、通用性最佳的硬质合金。此外，作为超细颗粒硬质合金还有含少量碳化铬(Cr₃C₂)的钨钴类合金YG10H，因为不含钛，因而特别适于加工铁基、镍基高温合金、钛合金和耐热不锈钢，即适用于粗车，断续车削，也适用于精车和半精车，适用范围较广。各种超细颗粒硬质合金的物理机械性能及用途列于表106。

表面涂层硬质合金 由于通过变更成分和改变组织结构来提高硬质合金的性能，只能在硬度，耐磨性和强度、韧性这对矛盾的特性之间进行较小范围内的调整，要想大幅度地同时提高这两方面的性能是非常困难的。表面涂层工艺的应用，可以在韧性较好的硬质合金基体表面，采用化学气相沉积或物理气相沉积的方法，涂复一层厚度10微米左右的、硬度和耐磨性极高、化学稳定性良好的超硬材料，使得表面涂层硬质合金兼顾耐磨性、韧性和化学稳定性，具有优异的综合性能。与基体合金相比，刀具寿命可提高1~3倍，切削速度可提高30%，而成本只增加20%。所以，涂层硬质合金刀具的出现，被称为七十年代刀具材料发展的重大突破，十多年来发展十分迅速。

我国从1971年开始进行涂层硬质合金刀具的研究，目前全国十几家科研单位、工厂、学校先后研制成功的有TiC、TiN、TiC+Al₂O₃、TiC+Ti(B、N)等涂层硬质合金刀片。几种涂层材料的性能如表107所示。

表106

各种超细颗粒硬质合金的物理机械性能及用途

牌号	物理机械性能			用途
	密度 克/厘米 ³	硬度 HRA	抗弯强度 公斤/毫米 ²	
YH1	14.2~ 14.4	92.5~93.8	160~220	适于铁基、铁镍基和镍基耐热合金粗精加工，亦适于高强度钢粗精加工；淬火钢、特殊耐热不锈钢的精加工和半精加工，以及冷硬铸铁等
YH2	13.9~ 14.1	92.5~94	160~210	适于特种耐热不锈钢的粗、精加工，高强度钢精加工，冷硬铸铁粗精加工，亦适于铁基耐热合金精加工和半精加工
YH3	13.9~ 14.2	92.8~93.8	150~200	适于高镍冷硬铸铁粗、精加工，亦适于一般铸铁粗精加工
YG10H	14.3~ 14.5	91.5	220	适于低速粗车，铣削耐热合金及钛合金。作切断刀及丝锥等

TiC涂层是最早研制成功、并被广泛应用的涂层材料，其显微硬度高、耐磨性好，容易扩散到基体内，有较牢固的粘着性，但涂层与基体之间由于扩散作用会产生脱碳，导致抗弯强度降低、脆性增加，切削时容易崩刃。为减少这一有害反应层的深度，TiC涂层一般较薄，控制在5~7微米，使脱碳层小于1微米。TiC涂层刀片适用于普通钢材和铸铁的切削。

TiN涂层，TiN的显微硬度低于TiC，且与基体粘着性较差。但TiN涂层与铁基材料之间的摩擦系数小于TiC，在切削过程中可有效地减小摩擦力并降低切削温度，具有较好的抗月牙洼磨损能力，因此，TiN涂层刀片最适于加工钢材或切屑易于粘结在刀具前面的其他材料。由于TiN沉积时不产生脱碳层，涂层厚度可加大到8~12微米。

表107

几种涂层材料的性能及与硬质合金性能的比较

性能	材料	硬质合金	TiC	TiN	Al ₂ O ₃	Ti(B,N)
	在高温时与工件材料的反应		反应大	中等	轻微	不反应	轻微
在空气中抗氧化能力		<1000℃	1100~1200℃	1100~1400℃	好	1100~1400℃
维氏硬度, HV		~1500	~3200	~1900	~2350	~2500
导热系数率λ 卡/厘米·秒·度		0.2~0.3	0.076	0.048	0.081	...
线膨胀系数α×10 ⁶ 毫米/毫米·度		5.2	8.3	9.8	8	...

Al₂O₃涂层在高温下具有高的化学稳定性及抗氧化能力,所以在高速切削时, Al₂O₃涂层较TiC涂层或TiN涂层具有更优异的切削性能,适用于在高速下(>250米/分)加工钢和铸铁。其缺点是涂层和基体之间粘着强度不够理想,因此在重切削或间断切削时,涂层有剥落的现象。

为了充分发挥各种涂层材料的优越性,改善涂层刀片的质量,国内外研制了双涂层和多层涂层硬质合金刀片。这类涂层刀片是在硬质合金基体上首先涂复一层1微米厚的TiC涂层,以获得良好的粘着性,在此基础上,再涂复TiN、Al₂O₃或Ti(B、N)等涂层材料,以获得优异的切削性能。TiC+Al₂O₃和TiC+Ti(B、N)即属双涂层刀片。

此外,正在试验研究的新涂层材料中还有金刚石涂层和立方氮化硼涂层。作为基体硬质合金也在不断研究改进。相信这些新的涂层硬质合金刀具试制成功,将会使硬质合金工具的切削性能

有更大的提高。

钢结硬质合金 钢结硬质合金是以一般硬质合金中的碳化物 (TiC或WC) 做硬质相, 以铬钼钢、高速钢等做粘结剂, 采用粉末冶金液相烧结方法制得的一种新型工模具材料。由于钢结硬质合金中, 作为粘结剂的铬钼钢或高速钢, 其所占比例远高于一般硬质合金中钴的含量, 而形成钢的基体, 因此钢结硬质合金兼有硬质合金和工具钢的不同特性, 即有高硬度、高耐磨性, 又有较高的强度和韧性, 并可进行锻造、焊接、机械加工和热处理, 能够通过加工手段来制造较为复杂的模具、刀具和耐磨零件。因为钢结硬质合金性能优越、使用范围广泛, 寿命较工具钢十倍、几十倍甚至上百倍地提高, 经济效果极为显著, 因而十多年来在我国无论是研制生产, 还是使用方面都有很大的发展。

根据硬质相碳化物的种类钢结硬质合金可分为TiC和WC两个系列。TiC系列钢结硬质合金要求在真空中烧结, 同WC系列相比其锻造性能较差, 退火后硬度偏高, 淬火后磨削非常困难。WC系列是我国自行研制并发展起来的钢结硬质合金品种, 由于对烧结条件的要求不象TiC系列那样严格, 即可在氢气中烧结, 也可在真空下烧结, 因而不受设备条件限制, 此外有的单位还试验采用热挤压法和热压法来制取钢结硬质合金毛坯, 给WC系列钢结硬质合金的研制和生产开辟了广阔的途径。WC系列钢结硬质合金较TiC系列退火后硬度要低, 强度和韧性也有改善, 更加适于冷镦、冷挤等模具使用。

就基体钢材的种类和用途来说, 钢结硬质合金包括刀具用途的高速钢结合金D-1、T-1, 冷作模具用途的铬钼钢结合金GT35、TLMW50、GW50, 以及高铬奥氏体不锈钢结合金ST35、R5和镍铬奥氏体不锈钢结合金ST60等。我国钢结硬质合金的成分、物理机械性能与用途如表108所示。

虽然钢结硬质合金可以进行锻造、机械加工和热处理, 但由于其中含有大量碳化物, 而且烧结过程中基体钢材的成分、组织

表108 我国钢结硬质合金的成分、物理机械性能与用途

牌 号	化 学 成 分, %										密 度 克/厘米 ³
	TiC	WC	C	Cr	Mo	W	V	Ni	Fe		
D-1	30	...	0.56	2.8	...	12.6	0.70	..	余量		6.9 ~ 7.02
T-1	30	...	0.8	3.5	2.8	4.2	1.4	...	余量		6.65 ~ 6.80
GT35	35	...	0.5	2.0	2.0	...	...	...	余量		6.4 ~ 6.6
TLMWSO	...	50	0.5	1.25	1.25	...	...	...	余量		10.3
GW50	...	50	<0.6	1.0	1.0	...	...	...	余量		...
ST35	35	...	0.65	9.75	0.65	...	...	...	余量		6.4 ~ 6.6
R5	35	...	0.7	8.55	2.0	...	0.2	...	余量		6.35 ~ 6.45
ST60	60	...	<0.7	7.2	...	...	...	4.8	余量		5.80 ~ 5.84

续表

牌 号	硬 度 HRC		抗弯强度 公斤/毫米 ²	冲击韧性 公斤·米/厘米 ²	用 途
	退 火	淬 火			
D-1	40~48	69~73	153	...	用于加工有色金属及其合金的多刃刀具如 麻花钻、铣刀等
T-1	48	72	140	0.35~0.5	
GT35	38~46	69~73	180	0.6	用于冷墩、冷冲；冷挤、拉拔等模具，量具，耐磨零件
TLMW	35~40	69~72	120~166.5	0.54~0.72	引伸模及轧辊、耐磨零件等
GW50	37~38	68~69	170~200	>1.0(锻)	冷墩、冷冲、冷挤模具
ST35	37~47	68~70	227	0.32	耐磨零件
R 5	46~50	70~73	130	0.3	用于中温挤压密封环、转子发动机、叶片等
ST60	(不可热处理)	70	154	0.3~0.4	热挤压、抗锈蚀机器零件，耐磨零件

也有所变化，因此其工艺性能也不同于相似成分的钢种，特别是淬火状态下的可磨削性较差，通常利用其热处理变形极小（约0.1~0.15%）的特点，在退火状态下就将钢结硬质合金工具磨削到最终尺寸或者尽量少留余量（0.007~0.01毫米），待淬火后稍加精磨抛光，即可达到成品要求。

4. 陶瓷刀具材料

在国外，氧化铝陶瓷刀片正式作为商品出售始于五十年代中期。由于其硬度、耐磨性和红硬性均优于硬质合金，而且有较高的化学稳定性和抗高温粘附性能，在1200℃或更高的切削温度下加工有色金属、铸铁和各种钢材，能保证高的表面光洁度和尺寸稳定性。另外， Al_2O_3 资源丰富、价格低廉，被认为是一种很有前途的刀具材料。其最大缺点是抗弯强度低（只有35~45公斤/毫米²）、性脆、容易崩刃，不适于冲击大的断续切削加工，因而在使用上受到限制，发展十分缓慢。近年来陶瓷刀具材料在研制方面取得较大进展，随着工艺水平的提高，高纯氧化物陶瓷的晶粒尺寸由5微米减小到2微米甚至更小，抗弯强度大大提高，目前一般已达50~70公斤/毫米²，个别能到80公斤/毫米²。此外，还发展了含有其他碳化物和金属的复合陶瓷，抗弯强度已提高到100公斤/毫米²以上，现在陶瓷刀具材料在车削方面已经占有稳定地位，并逐渐扩展到铣削领域，陶瓷刀具在整个刀具材料中所占比例也逐年加大。

我国的陶瓷刀具材料包括高纯氧化铝陶瓷、热压氧化铝-碳化钛复合陶瓷和热压氮化硅陶瓷三大类别。

成都工具研究所是我国最早研制并成批生产陶瓷刀具的唯一单位，年产陶瓷刀片1.2~1.5万片。该所陶瓷刀具的主要产品为代号AM的高纯氧化铝陶瓷刀片。AM刀片系由晶粒1~3微米的微晶 Al_2O_3 及微量MgO经冷压烧结制成（加入MgO的目的是为了细化晶粒）。其硬度HRA92，抗弯强度45公斤/毫米²左右，外观颜色根据烧结气氛可以呈白色或黑色，目前生产的全部为机夹可转位刀片，已形成系列。AM刀片用于粗车高速钢钻头和丝

锥的毛坯外径，切削速度为80~200米/分，用于粗加工耐磨合金铸铁的泥浆泵，同硬质合金比较生产率可提高7倍，切削速度可提高5倍。高纯氧化铝陶瓷刀片也可采用热压成形，北京钢铁学院曾进行试验研究，其硬度HRA92.5，抗弯强度可达60公斤/毫米²。

对于热压氧化铝-碳化钛复合陶瓷，成都工具研究所和济南冶金科学研究所先后开始研制并已小批投入生产，其主要成分除Al₂O₃和TiC外，还添加有MgO和金属Ni、Mo。不同代号复合陶瓷刀片的主要成分和性能见表109。

表 109 热压氧化铝-碳化钛复合陶瓷的主要成分和性能

代 号	成 分, %	Al ₂ O ₃	TiC	Ni	Mo	MgO	
T1		50~60	40~30	5	5	0.5 (外加)	
T8		60~70	40~30	...	...	0.5 (外加)	
AT6		52	37.7	4.5	5.5	0.3	
代 号	性 能	密度/克/厘米 ³	抗弯强度 公斤/毫米 ²	室温硬度 HRA	高温硬度 HV	热导率 卡/厘米·度秒	冲击韧性 公斤·米/厘米 ²
T1		4.65	73~86	92.5~93.5	...	...	...
T8		4.5	57~65	93.5~94.5	...	...	...
AT6		4.75~4.78	90	93.5~94.5	750℃ 1050	0.045	0.085

热压复合陶瓷由于高温高压作用，制品晶粒较细（≤1微米）硬度和抗弯强度较高纯氧化铝陶瓷均有很大提高，除可用于精加工、半精加工各种钢材和铸铁外，特别适于加工高强度钢、高淬硬钢、冷硬铸铁轧辊等难加工材料，其性能已接近日本和西德同类产品水平，开始进入国际先进行列。

热压氮化硅陶瓷系由上海硅酸盐研究所和清华大学分别研制成功的一种新型陶瓷刀具材料，晶态 Si_3N_4 显微硬度可达HV 5000，仅次于立方氮化硼和金刚石，远高于碳化钨、碳化钛和氧化铝。热压氮化硅陶瓷刀具的抗弯强度已稳定在60~80公斤/毫米²，其抗冲击能力也优于高纯氧化铝陶瓷和聚晶立方氮化硼刀具，通过对助烧结剂和热压烧结工艺的进一步改进研究，抗弯强度还可进一步提高。此外，其耐热性可达1300℃，能承受较高的切削温度和热冲击，由于化学稳定性良好，所以能完成硬质合金、氧化铝基陶瓷和金刚石所难以胜任的切削工作。应用热压氮化硅陶瓷刀片精加工和半精加工淬硬钢，冷硬铸铁、纯钼、热解石墨、玻璃丝层压件等难切削材料，刀具耐用度较硬质合金一般提高1~3倍，有的甚至高于10倍以上，而且可以用于间断切削、端面铣削和车制螺纹，是一种很有发展前途的新型超硬刀具材料。

5、金刚石和立方氮化硼刀具材料

这类材料包括大颗粒单晶天然金刚石，聚晶金刚石和聚晶立方氮化硼，后二者在国外也称高压烧结体。

天然金刚石是自然界中最硬的材料，其显微硬度为HV10000~11000。采用0.5克拉以上天然金刚石精密车削表面光洁度和尺寸精度要求极高的有色金属及其合金已有多年历史，也可用于加工塑料和其他非金属材料。它是在切削速度很高（加工铜和铝合金时，可达3000米/分），走刀量和切削深度很小（ $t=0.01\sim0.3$ 毫米， $s=0.01\sim0.1$ 毫米/转）的条件下来进行连续切削的，可获得一级精度的尺寸精度，3~5微米的几何形状精度，在纵切削时表面光洁度可达 $\nabla 9\sim\nabla 11$ ，在切入式加工时表面光洁度可达 $\nabla 12\sim\nabla 13$ ，而且刀具具有较高的寿命，一次刃磨可用几百小时。但天然金刚石存在着各向异性，性质较脆，在受一定冲击力时，容易发生崩缺，而且热稳定性和对铁的化学稳定性较差，不能用来加工黑色金属。

聚晶金刚石系采用人造金刚石微粉，在高温、高压、触媒和

粘结剂的作用下烧结成尺寸较大的聚晶块。并把聚晶金刚石与硬质合金二者烧结为一体，成为聚晶人造金刚石复合刀片。同天然金刚石相比，聚晶金刚石刀片形状不受限制，可以得到锋利的刃口，韧性也高，即使断续切削时也不崩刃，能保持很高的刀具寿命。可广泛用于有色金属和非金属材料的精密切削。

聚晶立方氮化硼的生产工艺和聚晶人造金刚石类似，它是由立方氮化硼微粉经高温高压条件下烧结成聚晶块，并做成复合刀片型式。立方氮化硼硬度仅次于金刚石，显微硬度达 HV8000~9000。由于其热稳定性和对铁的化学稳定性较金刚石好，可以在高温下切削黑色金属，不会因产生化学反应而加剧磨损，特别适于加工一些难加工材料。如淬硬钢、耐磨铸铁、冷硬铸铁、钛合金等。立方氮化硼与人造金刚石性能比较如表 110 所示。

表 110 立方氮化硼与人造金刚石的性能比较

结 构 与 性 能	人 造 金 刚 石	立 方 氮 化 硼
晶 格 结 构	立 方	立 方
原子间最小距离, Å	1.54	1.56
密度, 克/厘米 ³	3.49~3.54	3.44~3.49
显微硬度 HV	10000~11000	8000~9000
热稳定性, °C	低于 850	不低于1200
对铁的化学稳定性	易 反 应	惰 性

我国成都工具研究所小批量生产复合聚晶金刚石和复合聚晶立方氮化硼刀片,基体为硬质合金YG8,上层为0.8毫米的金刚石或立方氮化硼,此种刀片焊接方便,刃磨容易,曾对多种材料的加工进行对比试验,取得较好的技术经济效果。目前复合聚晶金

刚石刀片在成都某厂加工夹云母紫铜电机整流子(或称换向器),与YG6相比,刀具耐用度提高40倍,工件光洁度由V5提高到V7,加工每件的刀具费用成本仅为0.1元。

三、冷作模具材料

1、冷作模具的工作条件和对模具材料的性能要求

冷作加工是金属在冷态下进行冲、剪或形变加工,包括冷冲压、冷锻、冷挤压和冷轧加工等。由于各种冷作加工的工作条件不完全相同,因此对冷作模具材料的要求也不尽一致。

在冷冲压过程中,被冲压的材料变形抗力很大,模具的工作部分,特别是刃口,承受着强烈的摩擦和挤压,所以对冲裁、剪切、拉深、压印等模具材料的要求主要是高的硬度和耐磨性。同时模具在工作过程中还将受到冲击力的作用,要求模具材料也应具有足够的强度和适当的韧性。此外为便于模具制造,模具材料还要有良好的冷热加工性能,包括退火状态下的可加工性,精加工时的可磨削性,以及锻造、热处理性能等。

冷锻与冷冲压不同,模具主要承受的是巨大的冲击和变形抗力,所以要求冷锻模具材料应具有足够的强度和韧性,才能保证模具在工作过程中不被锻粗或断裂,其次也应具有一定的硬度和耐磨性,以减少工作过程中局部凹陷和过早磨损。

冷挤压时,模具整个工作表面除承受巨大的变形抗力和摩擦,要求具有足够的强度和耐磨性外,还因连续挤压过程中被挤压材料的变形将产生很大的热量而使模具温度升高,经常可达300℃左右,所以要求模具材料还应具有一定的红硬性和耐热疲劳性能。

上述性能要求往往是互相矛盾的,很难用一种或简单的几种材料同时满足各类模具的不同使用条件,因此,各种合金成分和性能的冷作模具钢大量涌现,并且试图使用超硬高速钢、钢结硬质合金和硬质合金以提高模具寿命,从而推动了模具材料的研制生

表 111

冷作模具钢号和化学成分 (GB1299-77、YB/Z10-76)

库号	钢组	钢号	化 学 成 分, %						
			C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V
GB1299-77			N						
1	冷 作 模 具 钢	Cr12	2.00~2.30	≤0.40	≤0.40	11.50~13.00			
2		Cr12MoV	1.45~1.70	≤0.40	≤0.40	11.00~12.50		0.40~0.60	0.15~0.30
3		Cr6WV	1.00~1.15	≤0.40	≤0.40	5.50~7.00	1.10~1.50		0.50~0.70
4		9Mn2	0.85~0.95	≤0.40	1.70~2.00				
5		9Mn2V	0.85~0.95	≤0.40	1.70~2.00				0.10~0.25
6		MnCrWV	0.95~1.05	≤0.40	1.00~1.30	0.40~0.70	0.40~0.70		0.15~0.30
7		CrWMn	0.90~1.05	≤0.40	0.80~1.10	0.90~1.20	1.20~1.60		
8		9CrWMn	0.85~0.95	≤0.40	0.90~1.20	0.50~0.80	0.50~0.80		
9		MnSi	0.95~1.05	0.65~0.95	0.60~0.90				
10		Cr4W2MoV	1.12~1.25	0.40~0.70	≤0.40	3.50~4.00	1.90~2.60	0.80~1.20	0.80~1.10
11		6W6Mo5Cr4V	0.55~0.65	≤0.40	≤0.60	3.70~4.30	6.00~7.00	4.50~5.50	0.70~1.10
12		Cr2Mn2SiWMoV	0.95~1.05	0.60~0.90	1.80~2.30	2.30~2.60	0.70~1.10	0.50~0.80	0.10~0.25
YB/Z10-76									
1	冷作模具钢	SiMnMo	1.40~1.50	0.90~1.20	1.00~1.30	≤0.10			0.30~0.50

注: 硫、磷含量各不大于0.030%。

产和模具制造工艺水平的进一步提高。

已经列入 GB1299—77 和 YB/Z10—76 的冷作模具钢见表 111。常用冷作模具钢的热处理列于表 112。各种冷作模具材料的选用将分别介绍如下。

2、冷冲模

过去冷冲模沿用的材料只有碳素工具钢 T8A、T10A、合金工具钢 CrWMn、Cr12、Cr12MoV 以及低铬轴承钢 GCr15 等少数几种钢材。六十年代初期推广了 9Mn2、9Mn2V 等引进钢种，取得了不少成绩，但仍不能满足对冷冲模材料日益增长的要求，以

表 112 常用冷作模具钢的热处理

钢 号	退火硬度 HB	淬 火			回火温度 ℃	回火脆性 温度区 ℃
		加 热 温 度 ℃	冷 却 剂	硬 度 HRC		
T8A	≤187	770~790	水—油	≥62	160~180	…
T10A	≤197	770~790	水—油	≥62	160~180	200~250
9Mn2V	≤229	780~810	油	≥62	160~180	190~230
CrWMn	255~207	800~830	油	≥62	160~200	250~300
9SiCr	241~197	820~860	油	≥62	180~200	210~275
GCr15	179~229	820~860	油	≥60	160~170	200~250
5GrW2Si	285~229	860~900	油	≥55	160~180	…
Cr6WV	≤235	960~1020	油	≥60	180~200	250~350
Cr12	269~217	950~10000	油	≥60	160~180	300~375
Cr12MoV	255~207	10000~1020	油	≥60	160~180	325~375
Cr4W2MoV	241~253	960~980 1020~1040	油	≥60	280~300 500~540	…
Cr2Mn2	≤269	840~860	油 空	≥60	180~200	…
W18Cr4V	285~207	1200~1240	油	≥60	560~580	…
W6Mo5Cr4V2	285~207	1150~1180	油	≥60	560~580	…
6W6Mo5Cr4V	197~229	1180~1200	油	≥60	560~580	…

后很多单位纷纷研制新的冷冲模具用钢。十多年来我国自行研制并取得较好效果的有Cr₄W₂MoV和Cr₂Mn₂SiW-MoV,已经纳入了国标,用来代替传统的Cr₁₂和Cr₁₂MoV。此外作为推荐钢号的还有一种石墨化冷模钢SiMnMo。除合金工具钢外,硬质合金和钢结硬质合金也在扩大使用。冷冲模传统的材料状况正在逐渐被改变。

冷冲模包括冲裁模、弯曲模和拉延模等,其工作部分凸模和凹模所用材料的一般选择见表113。

表 113 冷冲模凸、凹模材料的选择

模具类型	零件名称		牌 号	淬火硬度(HRC)	
	冲 件 情 况			凸 模	凹 模
冲 裁 模	I	冲裁材料厚度<3毫米的凸模、凹模和镶块	T8A、T10A、 9Mn ₂ V、Cr6WV	58~62	60~64
	II	冲裁材料厚度>3毫米的形状复杂的凸模、凹模和镶块	9CrSi、Cr ₁₂ MoV、 CrWMn、9Mn ₂ V、 Cr ₁₂ 、Cr ₄ W ₂ MoV	58~62	60~64
	III	要求高耐磨的凸模和凹模	GCr ₁₅ 、Cr ₁₂ MoV、 Cr ₄ W ₂ MoV、 YG ₁₅	60~62	62~64
弯 曲 模	I	一般弯曲的凸模、凹模和镶块	T8A、T10A	56~60	
	II	要求高度耐磨的、形状复杂的凸模、凹模和镶块	CrWMn、Cr ₁₂ Cr ₁₂ MoV、Cr ₄ W ₂ MoV	60~64	
拉 延 模	I	一般拉延的凸模和凹模	T8A、T10A、 T10A CrWMn	58~62	60~64
	II	要求耐磨的凹模	Cr ₁₂ 、Cr ₁₂ MoV、 Cr ₄ W ₂ MoV		62~64
			YG ₁₅ 、YG ₈		
	III	冲压不锈钢材料用的拉延凸模	W ₁₈ Cr ₄ V	62~64	
IV	冲压不锈钢材料用的拉延凹模	YG ₁₅ 、YG ₈			

碳素工具钢T8A、T10A在退火状态下硬度较低，有较好的切削加工性能；由于含碳量较高，通过热处理可以得到高的硬度，具有一定的耐磨性，因为不含合金元素，成本较为低廉，所以在尺寸较小、形状简单、负荷较轻、产品批量不大的冷冲模中仍被广泛采用，其中T10A应用最为普遍。碳素工具钢最大的缺点是淬透性差、热处理时变形大、耐磨性差、模具寿命低，不适于制造大中型形状复杂模具。

对于尺寸较大、形状复杂、负荷较重和产品批量大的冷冲模过去传统使用的是Cr12型高铬合金工具钢，包括Cr12和Cr12MoV。Cr12钢有很高的含碳量(2~2.3%)和含铬量(达12%)，保证生成足够的合金碳化物Cr₇C₃，其显微硬度为HV2300，使钢具有极高的耐磨性，而且由于含有大量的铬，钢的淬透性大大增加，即使大尺寸的模具，油冷也可以完全淬透，再加上大量高硬度的碳化物存在于基体之中，减少了淬火时的变形，使Cr12钢具有较好的热处理工艺性能和使用性能。Cr12钢虽有上述优点，但也存在严重缺陷，主要是碳化物分布很不均匀，使得强度、韧性大为降低，模具使用过程中，边缘容易开裂崩落，造成早期损坏。Cr12MoV是在Cr12钢的基础上，加入了钼和钒，以细化晶粒、提高韧性、并相应减少含碳量(至1.45~1.7%)，使钢的碳化物分布不均匀状况有所改善，强度、韧性都得到提高。尽管如此，Cr12MoV钢的碳化物偏析仍然较为严重，而且这两种钢都存在着含铬量较高，不符合我国资源情况，需要有新型模具钢种进行取代。

在传统的冷冲模钢号中应用较广的还有CrWMn和GCr15，有时也采用9SiCr，他们都属于低合金钢。这些钢中由于不含大量合金元素和较高的碳量，通过适宜的热处理，可获得均匀分布的细小碳化物颗粒的组织，保证较高的硬度和耐磨性，而且因为都含有铬，使得淬透性增加，可以采用油或硝盐冷却，减少了热处理变形，价格也较为低廉，其性能介于碳素工具钢和Cr12型高铬合金钢之间，可用于中等负荷，产品批量不很大的小型复杂模具。

9Mn2V系我国六十年代初期引进的世界各国通用钢号,其所含合金元素符合我国资源情况。锰提高了钢的淬透性,使中小型模具在油中即可淬硬。钒能显著细化晶粒,减小钢的过热敏感性。试验证明,9Mn2V的耐磨性优于T10A,而与CrWMn接近,用来广泛代替T10A,可显著提高模具寿命。

Cr6WV也属世界各国通用钢号,可以用来代替Cr12型高铬合金钢,其碳化物仍主要是Cr₇C₃,由于含碳、含铬较Cr12型钢大大减少,因而碳化物分布不均匀状况得到很大改善,但随着淬火状态下未溶过剩碳化物的减少,其耐磨性有所降低。Cr6WV除具有较好的淬透性和小的热处理变形外,还有较好的综合机械性能,同Cr12型钢相比在保证较高强度的基础上,具有极高的冲击韧性,故适于用来制造承受较大冲击力的复杂冲模,并可用于冷镦模和滚丝模。

Cr4W2MoV(代号120)是我国自行研制的新型中铬冷作模具钢,自1966年全国模具钢会议上决定推广应用以来,经过十多年的继续研究和试验验证,证明该钢种通过合理调整合金元素的含量使得共晶碳化物颗粒细小,分布均匀,具有较高的淬透性和淬硬性,并有较好的机械性能、耐磨性和尺寸稳定性,用来代替Cr12型高铬合金钢制造电机、电器硅钢片冲裁模,可提高寿命1~3倍,而且可以用于冲裁1.5~6.0毫米弹簧钢板以及冷镦模和冷挤模。其淬火、回火温度范围较宽,热处理工艺性能良好。只是锻造温度范围较窄,需要严格掌握锻造工艺,以免出现锻裂现象。

Cr2Mn2SiWMoV(代号Cr2Mn2)是我国基于多元少量复合合金化原理而自行设计的空冷微变形冷作模具钢。由于Cr2Mn2钢具有碳化物均匀性好、淬透性高,淬火温度低、热处理变形小等特点,同时还有较高的机械性能和耐磨性,用来制造高精度形状复杂的冷冲模具、精密量具以及高精度细长杆状零件,使用寿命均达到或超过Cr12型高铬合金钢,值得进一步推广。但Cr2Mn2钢因钒、硅含量较高,以致有时退火后硬度偏高,造成加工困难。

此外硅使得脱碳敏感性增大, 热处理时应给予充分重视。

在YB/Z10—76中推荐的冷作模具钢SiMnMo是我国自行研制的介于钢和铸铁之间的一种边缘性材料。由于钢中一部分碳呈石墨状态存在, 具有自润滑作用, 故被称为“石墨钢”。SiMnMo的可切削性、耐磨性都较好, 热处理变形也较小, 而且合金含量低, 资源立足于国内, 是个很值得推广使用的新钢号。SiMnMo可用于制造精密冲模, 以及用做润滑条件差的拉丝模、拉伸模等。

硬质合金用于小型冷冲模多采用韧性较好的钨钴类合金YG15。硬质合金模具同Cr12型钢模具相比, 其寿命可提高20~40倍。但要求冲床有较高的导向精度和刚性。此外对模具也要求有较好的刚性和制造精度, 避免产生变形和崩刃, 影响使用效果。虽然一般硬质合金模具的制造成本为钢模的3倍左右, 但由于工件尺寸稳定、有较高的精度和光洁度, 而且可以大大减少拆卸修磨时间, 减轻模具制造工作量, 节约制造模具所用合金钢材, 所以仍然具有较好的技术经济效益。

钢结硬质合金, 因为具有可锻、可焊、可切削以及可热处理等性能, 已被用来代替硬质合金制造冲裁模。用作冷冲模材料的牌号均为镍钨钢结硬质合金, 其中GT35的可磨削性优于GW50, 较复杂模具多采用GT35。钢结硬质合金作为单槽冲, 当冲裁硅钢片时, 较Cr12钢模使用寿命提高10倍以上, 也有单位已用来制造复式冲模。存在问题是粉末冶金制品性能不够稳定, 此外磨削仍较为困难, 未能普遍推广。

除上述冷冲模材料外, 对于冲裁厚板和剪切冲击性大的模具, 也可采用耐冲击工具钢如5CrW₂Si等来制造凸、凹模。在品种多、批量小和新产品试制过程中, 为缩短模具制造周期, 降低模具费用, 也采用锌合金或低熔点合金制造冲裁和成形模具。对于厚度较薄的小型冲压件, 还可用聚氨酯橡胶作模具材料。这些简易模具推广应用, 给冷冲压开辟了更广阔的前景。

3. 冷锻模

冷镦模已往使用的钢材有T10A、GCr15、Cr12MoV等钢种。有时也采用CrWMn和9SiCr。随着Cr6WV和Cr4W2MoV的推广应用,由于它们具有较好的强度和韧性可用来代替Cr12MoV。

用作冷镦模具的钢材均为常用冷作模具钢。为使模具具有足够的强度和韧性,一般采取较低的硬度HRC58~60左右,而且不要求整个截面淬硬。

冷镦模由于工件批量较大,已较广泛使用硬质合金,其牌号除YB849—75中的YG15外,还有老标准中的YG20和YG25,现仍有部分硬质合金厂生产。YG20和YG25的化学成分和物理机械性能如表114所示。由于含钴量增高,YG20、YG25较YG15具有更高的韧性,但硬度和耐磨性相应降低,含钴量达到25%时,硬度已降到淬火钢的水平,超过25%Co的硬质合金已不再使用。根据国外资料统计硬质合金冷镦模同钢模相比,模具寿命可提高20~60倍。

表 114 YG20和YG25的化学成分和物理机械性能

牌 号	组 成 %		机 械 性 能				
	WC	Co	HRA	抗弯强度 公斤/毫米 ²	抗压强度 公斤/毫米 ²	弹性系数 公斤/毫米 ²	比 重 克/厘米 ³
YG20	80	20	83~86	200~260	340	50000	13.1~13.3
YG25	75	25	82~84	180~270	320	47000	12.8~13.0

钢结硬质合金TLMW50、GW50的研制成功,同硬质合金相比既保留了其高硬度、高耐磨性等特点,又提高了强度和韧性,而且能够加工成形较复杂的型腔,在冷镦模材料中已逐渐取代了硬质合金。同T10A、Cr12等冷镦钢模比较,钢结硬质合金模使用寿命可提高10倍以上。除上述牌号外,北京市粉末冶金研究所

还研制有DT钢结硬质合金冷镦模具新材料,同时具有较高的强度和韧性。能承受较大的冲击载荷,据介绍其韧性较GT35、TL M W50、CW50有较大改善,不会出现早期掉渣和碎裂现象,而且有良好的可锻性,经退火可获得良好切削加工性;淬火回火后,具有最佳机械性能。据试验数据统计,用它作冷镦模时,其寿命较9SiCr、Cr12MoV等提高20~30倍。其性能见表115。并可结合使用条件予以调整。

表 115 DT钢结硬质合金材料性能

硬 度 洛氏C	硬 度, HRC		抗弯强度, 公斤/毫米 ² 使用状态	冲击韧性, 公斤·米/厘米 ² 使用状态
	加工状态	使用状态		
9.75~9.9	32~38	60~63	250~350	1.8~2.5

4. 冷挤模

随着被挤压材料不同,冷挤模可以选用各种合金钢CrWMn、GCr15、Cr12MoV、Cr4W2MoV和高速钢W18Cr4V等。由于作为凹模主要要求其耐磨性,除合金钢外还可选用硬质合金YG15、YG20或YG25作凹模,其寿命显著提高。当用高速钢做凸模挤压钢件时,除要求耐磨性和一定的红硬性,还要有足够的韧性和抗弯强度,W18Cr4V的韧性明显不足,应该采用韧性较好的W6Mo5Cr4V2。此外,我国还自行研制了含碳量较低并适当减少含钨量的6W6Mo5Cr4V,专门用于冷挤压钢件,收到了较好的效果,已经作为“黑色金属冷挤压模具专用钢”纳入了国标。挤压不同材料时凸凹模常用材料的一般选择列于表116。

6W6Mo5Cr4V是在高速钢W6Mo5Cr4V2的基础上,减少了含碳量和含钨量,虽然在与高速钢相类似的热处理条件下其硬度略有下降,一般仅减少2~3个HRC硬度值,但冲击韧性和抗弯强度有较大提高,碳化物不均匀性也有所改善。6W6Mo5Cr4V

表 116

冷挤压凸、凹模常用材料的选择

模具类型	零件名称		牌 号	淬火硬度, HRC	
	冲 件 情 况			凸模	凹模
冷 挤 模	I	铝件冷挤凸模	Cr12MoV、Cr12、CrWMn、Cr6WV、9SiCr、W18Cr4V	60~62	
		铝件冷挤凹模	Cr12MoV、Cr4W2MoV、CrWMn、T10A、W18Cr4V		62~64
			YG15、YG20		
	II	铜件冷挤凸模	Cr12MoV、W18Cr4V	62~64	
		铜件冷挤凹模	Cr12MoV、CrWMn、Cr4W2MoV、GCr15	62~64	
	III	钢件冷挤凸模	Cr12MoV、GCr15、W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2、6W6Mo5Cr4V、65Cr4W3Mo2VNb	62~64	
钢件冷挤凹模		CrWMn、Cr12MoV、Cr4W2MoV		62~64	
		YG15、YG20			
温 热 挤 压 模	I	挤压温度高于400℃的凸、凹模	W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2、6W6Mo5Cr4V	60~62	62~64
	II	挤压温度低于400℃的凸、凹模	与冷挤凸、凹模材料相同		

与通用高速钢的硬度和无缺口冲击韧性的比较见表117,其模具寿命较W18Cr4V和Cr12MoV可提高2~10倍。缺点主要是因为含碳量较低,其耐磨性稍差。为充分发挥此钢的优点,可对凸模进行软氮化处理。

钢结硬质合金GT35和TLMW50也被用来制造冷挤模,以提高耐磨性和使用寿命,如重庆地区采用GT35作为反挤压钢件的凸模(与Cr12Mo对焊),凸模寿命可达到24万件。

5、新型冷作模具钢

表 117 6W6Mo5Cr4V与通用高速钢在不同回火温度下的硬度和无缺口冲击韧性比较

钢号	性能 回火温度, °C 淬火温度, °C	硬 度, HRC				无缺口冲击韧性 公斤·米/厘米 ²			
		500	530	550	580	500	530	550	580
6W6Mo5Cr4V	1200	60.9	62.3	62.3	60.6	5.7	5.3	5.3	5.7
W18Cr4V	1260	64.4	64.4	63.8	63.0	...	...	3.4	3.6
W6Mo5Cr4V2	1220	63.5	64.8	65.3	62.8	2.6	2.7	3.2	3.6

近年来新研制出并经正式鉴定的新型冷作模具钢有华中工学院等单位研制的65Cr4W3Mo2VNb(代号65Nb)、贵阳钢厂等单位研制的5Cr4Mo3SiMnVA1(代号012A1)、上海钢铁研究所等单位研制的6Cr4Mo3Ni2WV(代号CG-2)、上海材料研究所等单位研制的7Cr7Mo3V2Si(代号LD1)等,它们都具有性能优异、使用寿命高、技术经济效果好、适用面广等优点,受到了试用单位的好评。此外,北京钢厂等单位还研制有火焰淬火冷作模具钢7CrSiMnMoV(代号CH-1)。各种新型冷作模具钢的化学成分列于表118。除上述新钢种外,超硬高速钢W12Mo3Cr4V3N和W6Mo5Cr4V2Al也被用来制造冷作模具,并收到较好使用效果。

65Cr4W3Mo2VNb(65Nb)相当于高速钢W6Mo5Cr4V2淬火态的基体成分,因而被称为“基体钢”,只是为了更加符合我国资源情况和减少脱碳倾向而适当提高了含钨量、减低了含钼量。由于65Nb较原高速钢减去了过量的碳化物,使其既具有高速钢的强度和硬度,又具有较高的韧性和抗疲劳性能。因加入了少量的铌,与碳生成稳定的碳化物(NbC),可有效地阻止晶粒长大,从而进一步提高了韧性,并极大地改善了钢的工艺性,使球化退

表 118

新型冷作模具钢钢号及化学成分

钢 号	代 号	化 学 成 分									
		C	Cr	Mo	W	V	Ni	Si	Mn	Nb	Al
65Cr4W3Mo2VNb	65Nb	0.6~0.7	3.8~4.4	2.0~ 2.5	2.5~3.0	0.8~1.1	...	≤0.35	≤0.4	0.2~0.3	...
5Cr4Mo3SiMnVA1	012A1	0.47~0.57	3.8~4.3	2.8~ 3.8	...	0.9~1.2	...	0.8~1.1	0.8~1.1	...	0.3~0.7
6Cr4Mo3Ni2WV	CG-2	0.55~0.64	3.8~4.3	2.8~ 3.3	0.9~1.3	0.9~1.3	1.8~2.2	≤0.4	≤0.4	...	...
7Cr7Mo3V2Si	LD1	0.7~0.8	6.5~7.5	2.0~ 3.0	...	1.7~2.2	...	0.7~1.2	≤0.5	...	...
7CrSiMnMoV	CH-1	0.65~0.75	0.90~1.20	0.20~ 0.50	...	0.15~0.30	...	0.85~ 1.15	0.65~ 1.05	...	...

火容易，热处理工艺性能变宽。65Nb特别适于制造要求较高强韧性的冷挤模具，也可用于冷镦、冷冲模具，此外，因其退火硬度较低（HB180~200）还可用于冷挤压成形的模具。经汽车、轴承、标准件、电子、手表等行业近百种冷挤、冷镦模具试用，使用寿命较W₁₈Cr₄V、WbMo₅Cr₄V₂、Cr₁₂MoV等模具钢可成倍的提高，具有明显的经济效益。

5Cr₄Mo₃SiMnVAl(O₁₂Al)和6Cr₄Mo₃Ni₂WV(CG-2)均为在“基体钢”基础上经调整化学成分而研制成的冷热兼用模具钢。考虑到冷热兼用，适当降低了含碳量，增加了含钼量，以提高抗热疲劳性能。O₁₂Al为弥补因含碳量较低而带来的强度不足，依靠加入硅和锰来强化基体，同时加入铝来细化晶粒、提高冲击韧性，工艺性能也比较优异。CG-2与O₁₂Al不同，它是通过加入2%的镍来提高韧性和改善钢的高温性能，但退火后硬度偏高（HB₂₄₀~270），在锻后退火时，需考虑最佳工艺并严格控制。O₁₂Al和CG-2均可用于冷镦、冷冲模具，能有效地防止脆性崩裂、碎裂和掉块等现象，但反映在耐磨性上略有不足，对于要求心部有高强韧性而表层又有高耐磨性的模具，应通过表面强化来提高耐磨性和使用寿命。

7Cr₇Mo₃V₂Si(LD1)其含碳量和合金元素含量都高于基体钢，具有较高的强度和一定的韧性，加入2%的钒是为了细化晶粒，并因大量高硬度VC的存在，使钢具有较高的耐磨性。LD1因含铬量高，淬透性好，但退火后硬度亦较高（HB₂₁₀~240），给机械加工带来困难。LD1的综合机械性能较好，适于制造有较高强韧性的冷镦、冷冲模具。

火焰淬火钢是国际上近年来发展起来的一种低合金空淬微变形模具新钢种。采用火焰淬火方法简便、费用低廉、变形小、模具整体韧性高，便于堆焊修补，因而可以降低模具制造费用，缩短模具制造周期，节省大量热处理能源，具有明显的经济效益。为适应火焰淬火、空冷硬化的需要，7CrSiMnMoV具有较宽的

淬火温度范围 (820~1000℃)、良好的淬透性和淬硬性 (HRC 60以上)、较小的热变形抗力 (变形量相当于 Cr₁₂MoV 和 Cr₂Mn₂), 以及较好的强度和韧性的配合, 适于用来制造各种冷冲模, 特别是大、中型模具。第二汽车制造厂经生产中试用, 一般可使加工工序减少三分之一, 整套模具效果提高 5~10%, 成本降低 10~20%, 模具寿命相当于高速钢, 较 Cr₁₂MoV 提高 1 倍以上。该钢种目前正在较大范围内扩大试用。

无钴超硬高速钢 W₁₂Mo₃Cr₄V₃N (V₃N) 和 W₆Mo₅Cr₄V₂Al (M₂Al) 在淬硬到较高硬度时仍能保持较好的强韧性, 适当降低淬火温度或回火温度, 虽然硬度略有降低, 而强韧性可得到进一步提高, 并在相同强韧性下的其他模具材料具有更好的耐磨性, 因而超硬高速钢不仅用在切削刀具方面具有显著的优

表 119 V₃V、M₂A1 与各种冷作模具材料的性能对比

材料类别	热处理	使用硬度 HRC	抗弯强度 公斤/毫米 ²	冲击韧性 公斤·米/厘米 ²
碳素及低合金钢	...	58~62	200~250	4~8
高铬钢 (Cr ₁₂ MoV)	...	58~62	200~220	4~4.5
高速钢 (W ₁₈ Cr ₄ V)	1240℃淬, 560℃回	63~64	280~300	6~6.5
	1280℃淬, 560℃回	~65	200~250	3.5~4
V ₃ N	...	66~69	230~380	1.5~4
M ₂ A1	...	65.3~67	297~387	1.6~2.1
WC-CrMo 钢结合金	...	66~68	150~200	0.5~1.0
WC-Co 硬质合金	...	74~80	<150	<0.5

越性，而且可以作为冷作模具材料，用以代替钢结硬质合金或普通高速钢。V₃N和M₂Al与国内现用各种冷作模具材料的性能对比列于表119。

V₃N用于冷冲模一般可取较高硬度值HRC66~69，其硬度已达到钢结硬质合金水平，而抗弯强度和冲击韧性远远超过钢结硬质合金，同时还具有较好的可磨削性能，经试用，用于冲裁硅钢片、H62黄铜、65Mn和高强度淬火钢带等，较冷作模具钢Cr-

表 120 V₃N钢工业应用实例

序号	模具	加工内容		原用模具		V ₃ N 模具	寿命提高倍
		被加工材料	加工件	钢号	寿命		
1	冲裁模	冷轧硅钢片 0.35毫米	"7"形片, 约50×30毫米	CrWMn	一次<0.3万 总2~3万	HRC 67~69 一 次4~6万 总>120万	~20
2	冲裁模	冷轧硅钢片 0.35毫米	"山"形片 约50×50毫米	Cr12MoV	一次2.5万	HRC 65~67 一次25万	~10
3	冲裁模	H62黄铜 1.2毫米	"山"形片 约20×20毫米	CrWMn	一次0.5万	HRC67 一次>15万	>20
4	冲裁模	65Mn, HRC50 0.5毫米	约60×8毫米	无	...	HRC68.5 一1.5万	...
5	冷墩模	GCr15, 退火	Φ7~Φ25毫米 钢球坯	GCr15	~1万	HRC68 平均11万	7- 10
6	冲裁模	OCr18Ni9 HB170~210 6.3毫米	手表壳(落料)	Cr12MoV	一次<0.2万 总4万	HRC58 一次2万 总>20万	~5
7	冲裁模	OCr18Ni9 HB170~210 0.8毫米	手表后盖	Cr12MoV CrWMn	一次<0.1万 总~1万	HRC60 一次1.5万 总15万	~15

WMn、Cr₁₂MoV等模具寿命可提高10~20倍，收到较好使用效果。V₃N还被用于冷镦模，冷镦滚珠毛坯、M8~M10六方螺母和制造冷镦机切断刀片。它们原来分别采用GCr15、Cr₁₂MoV和T10钢，平均寿命较低分别为1万件、2万件和7万件，经改用V₃N，其平均寿命分别提高到11万件，40万件和30万件，达到原寿命的5~20倍，完全可以代替钢结硬质合金。V₃N钢用来制造冷作模具，其工业应用实例见表120。

我国机械工业部机械院机电研究所和天津第六内燃机配件厂曾用M2Al制造冷挤压凸模，在下限淬火温度热处理到HRC63~64时，用以冷挤压20Cr活塞销，其使用寿命达到2万件左右，较W₁₈Cr₄V凸模寿命高出一倍，为超硬高速钢在冷挤模具上的应用，提供了实例。

以上试验毕竟有限，需要继续扩大试用范围，总结试验，使超硬高速钢真正成为介于普通高速钢和钢结硬质合金之间的新型冷作模具材料。

四、热作模具材料

1、热作模具的工作条件和对模具材料的性能要求

热作模具主要用于热压力加工（包括锤模锻、热挤压、热镦锻、精密锻造、高速锻造等）和压力铸造，也包括塑料成型。随着被成型材料的种类和工作状态不同，对模具材料的性能要求也有较大差异。

热锻模，特别是锤锻模，承受着较大的冲击载荷和工作压力，模具的型腔除产生剧烈的摩擦外还经常与被加热到1050~1200℃高温的毛坯接触，型腔表面温度一般在400℃以上，有时能达到600~700℃，随后又经水、油或压缩空气对锻模进行冷却，这样冷热反复交替使模具极易产生热疲劳裂纹。因此要求热锻模材料要具有比较高的高温强度和热稳定性（即红硬性），适当的冲击

韧性和尽可能高的导热性、良好的耐磨性和耐热疲劳性，在工艺性能方面要有高的淬透性和较好的切削加工性能。

近年来被推广的热挤压、热锻、精密锻造、高速锻等先进工艺，由于其模具的工作条件比一般热锻模更为恶劣，因此对模具材料提出了更高的要求。这些模具在工作时需长时间与被变形加工的金属相接触，或承受较大的打击能量，模具型腔的受热温度往往比锤锻模高，承受的负荷也比锤锻模大，尤其是黑色金属挤压和高速锻，模具型腔表面温度通常在 700°C 以上，高速锻时，型腔表面的加热速度为 $20000\sim 40000^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ ，温度可达 950°C 左右，造成模具寿命显著下降。所以特别要求模具材料要有高的热稳定性和高温强度、良好的耐热疲劳性能以及高的耐磨性。

压力铸造是把熔融金属在高的压力下高速铸入模具型腔以获得精密铸件。压铸模除承受一定的压力外，型腔表面频繁的与 $600\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 的炽热金属接触，并受到液态金属的冲刷和挤压，产生强烈的摩擦磨损，此外还将受到液态金属的化学腐蚀。对压铸模材料，特别是黑色金属压铸，要求具有高的的高温硬度和导热性，优良的耐热疲劳性能，较好的耐腐蚀性和微小的热处理变形。

塑料模包括热固性塑料和热塑性塑料模具，同上述模具相比，其受热、受力、受腐蚀和受磨损程度较轻，对模具材料除要求一定的强度、韧性和表面耐磨、耐蚀性外，特别要求具有良好的工艺性能，以获得较好的尺寸精确性和表面光洁度。

GB1299-77和YB/Z10-76中列入的热作模具钢见表121。常用热作模具钢的热处理如表122所示。

2、锤锻模

因为对锤锻模既要求有一定的硬度，又要求有高的冲击韧性，因此锤锻模钢的含碳量，一般在 $0.45\sim 0.6\%$ 之间。过去常用的锤锻模钢号为5CrNiMo和5CrMnMo。5CrNiMo用于大型、特大型锻模，5CrMnMo用于中小型锻模。由于镍属稀缺元素，考虑到国内资源情况，近年来我国研制了5CrSiMnMoV，作为5Cr-

表 121 热作模具钢号和化学成分 (GB1299-77、YB/Z10-76)

序号	钢组	钢号	化 学 成 分, %							
			C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	
GB1299-77										
1-1	热作模具钢	5CrMnMo	0.50~0.60	0.25~0.60	1.20~1.60	0.60~0.90	...	0.15~0.30	...	...
2		5CrNiMo	0.50~0.60	≤0.40	0.50~0.80	0.50~0.80	...	0.15~0.30	...	(Ni1.40~1.80)
3		3Cr2W8V	0.30~0.40	≤0.40	≤0.40	2.20~2.70	7.50~9.00	...	...	0.20~0.50
4		4SiCrV	0.40~0.50	1.20~1.60	≤0.40	1.30~1.60	...	...	...	0.10~0.25
5		8Cr3	0.75~0.85	≤0.40	≤0.40	3.20~3.80	...	...	...	...
6		5SiMnMoV	0.45~0.55	1.50~1.80	0.50~0.70	0.20~0.40	...	0.30~0.50	0.20~0.35	...
7		4Cr5MoVSi	0.32~0.42	0.80~1.20	≤0.40	4.50~5.50	...	1.00~1.50	0.30~0.50	...
8		4Cr5W2VSi	0.32~0.42	0.80~1.20	≤0.40	4.50~5.50	1.60~2.40	...	...	0.60~1.00
YB/Z10-76										
		堆焊模块用钢	0.45~0.55	≤0.40	≤0.40	3.40~4.00	...	1.40~1.70	...	...
YB/Z10-76										
2-1	热作模具钢	5Cr4W5Mo2V	0.40~0.50	≤0.40	0.20~0.60	3.80~4.50	4.50~5.30	1.70~2.30	0.80~1.20	...
2		5CrSiMnMoV	0.45~0.55	0.80~1.10	0.80~1.10	1.30~1.50	...	0.40~0.60	0.20~0.40	...
3		4Cr4Mo2WVSi	0.35~0.45	0.80~1.20	≤0.40	3.70~4.30	0.90~1.10	1.80~2.20	...	...
4		4Cr5MoV1Si	0.32~0.42	0.80~1.20	≤0.40	4.50~5.50	...	1.00~1.50	0.80~1.10	...

注: 硫、磷含量各不大于0.030%。

表 122

常用热作模具钢的热处理

钢 号	退火硬度 HB	淬 火			回 火	
		加热温度 ℃	冷却剂	硬度 HRC	加热温度 ℃	硬 度 HRC
5CrNiMo	197~241	830~860	油	...	490~540	HB 444~315
5CrMnMo	197~241	820~850	油	...	490~540	HB 444~351
5CrSiMnMoV	≤241	870~890	油	...	520~580	HB 444~387
5SiMnMoV	197~241	840~870	油	...	490~510	HB 375~444
3Cr2W8V	≤241	1140~1150	油	55	660~680	45~40
		1050~1100	油	49~52	600~620	44~40
4Cr5W2VSi	≤229	1060~1080	空	56~58	600	~50
4Cr5MoVSi	≤223	1000~1050	空	56~58	500~650	54~44
4Cr5MoV1Si	≤229	1000~2050	空	53~57	500~650	53~35
4Cr4Mo2WVSi	187~217	1050~1070	空—油	56~61	580~620	47~53
5Cr4W5Mo2V	200~230	1130~1140	油	~60	630~640	~50
4SiCrV	≤229	870~890	油	52~54	600~660	34~29
8Cr3	207~255	820~850	油	60~62	480~520	45~41
4Cr3Mo2W4VTiNb	170~200	1160~1200	油	56~57	600~630	55~50
35Cr3Mo3W2V	178~222	1030~1090	油	52~55	600	53
25Cr3Mo3VNb	164~168	1000~1050	油	46~48	600	48~49
4SiMnW3Mo2VN	≤269	1120~1140	油	≥52	600~620	>50
5Cr4W2Mo2SiV	≤269	1080~1120	油	≥50	620~640	46~54

NiMo的代用材料,收到了较好的使用效果,解决了大型模块供应不足的困难,尽量减少模块进口,节约外汇。我国一些工厂还对铸钢电渣堆焊模块进行了试验,研制出5Cr4Mo堆焊用材料,

已经纳入了标准。此外，还推广了5SiMnMoV，用来代替5Cr-MnMo制做中小型锻模，以进一步节省稀缺金属铬。

5CrNiMo是世界通用的大型热锻模用钢。由于其中含铬和镍，使钢具有很高的淬透性，截面300×300×700毫米的锻模，经油淬回火后，可使截面各处硬度相当均匀，心部硬度比表面仅低10~20个HB硬度值。除淬透性外，镍还能显著提高钢的韧性和耐热疲劳性能，铬能提高钢的强度、耐磨性和热稳定性，钼能细化晶粒，减少钢的过热倾向和回火脆性，因而使5CrNiMo具有良好的综合机械性能，其常温下的机械性能如表123所示。试验证明，当加热到500℃时，5CrNiMo仍能保持较高的强度和硬度，超过500~550℃以后，塑性急剧上升，变形抗力急剧下降，其较高温度下的机械性能见表124。5CrNiMo适于制造最小边长≥400毫米、形状复杂、冲击负荷重的大型及特大型锻模。

5CrMnMo钢中不含镍，比较符合我国资源，以锰代镍并不

表 123 几种锤锻模钢室温下的机械性能

钢 号	热 处 理			机 械 性 能			
	淬火温度 ℃	冷却 介质	回火温度 ℃	抗拉强度 σ_b 公斤/毫米 ²	伸长率 δ , %	断面收缩率 ψ , %	冲击韧性 α_K 公斤·米/厘米 ²
5CrNiMo	850	油	500	140	9.5	42	3.8
			550	137	11.0	44	5.1
			600	120	12.0	49	7.3
5CrMnMo	850	油	450	164	5.1	14	1.9
			500	160	...	...	2.0
			550	144	10.0	10.5	2.7
			600	126	10.0	30	4.3
5CrSiMnMoV	870	油	550	157	13	38.5	3.25

表 124 在较高温度下5CrNiMo钢的机械性能

(预先经过820℃油淬, 500℃回火)

加热温度 ℃	抗拉强度 σ_b 公斤/毫米 ²	屈服强度 σ_s 公斤/毫米 ²	伸长率 δ , %	断面收缩率 ψ , %	冲击韧性 α_k 公斤·米/厘米 ²	布氏硬度 HB
300	137	106	17.1	60	4.2	363
400	111	90	15.2	65	4.8	351
500	86	78	18.8	68	3.7	265
600	47	41	30.0	74	12.5	109

影响钢的强度, 但塑性和韧性较低(见表123), 淬透性和耐热疲劳性也较差, 一般仅用来制造最小边长 $\leq 300\sim 400$ 毫米的中小型锻模。

5CrSiMnMoV的研制主要用来代替5CrNiMo制做大型锻模。其中适当提高了含铬量以增强淬透性, 加入硅以提高耐热疲劳性和热稳定性, 但含硅量过高会增加钢的回火脆性、降低冲击韧性, 脱碳敏感性也增大, 所以不宜超过1%。钒与钼的作用相同, 能够细化晶粒, 加入少量的钒, 可以改善钢的塑性和韧性。同5CrNiMo相比, 5CrSiMnMoV强度较高, 塑性相当, 而冲击韧性略低(见表123), 但根据一些资料介绍, 在实际条件下冲击韧性达3公斤·米/厘米², 已能基本满足使用要求。另外, 其耐热疲劳性和较高温度下的强度和韧性均接近于5CrNiMo。实际应用5CrSiMnMoV钢做汽车连杆锻模(450×475×290毫米)寿命较5CrNiMo提高65.8%; 做汽车前梁锻模(950×700×440毫米)寿命较5CrNiMo提高25.2%, 证明完全可以用来制造大型锤锻模和水压机锻造用模具。

5SiMnMoV属于硅锰钢。与5CrSiMnMoV钢比较极大地减少了含铬量, 而且通过适当提高含硅量, 以弥补由于减铬对钢的强度和热稳定性的影响; 但由于淬透性较差, 只能用来代替5Cr-

MnMo制造中小型模具。

铸钢电渣堆焊模块是我国自己闯出的一条大型锤锻模模块生产的新路。其原理是，以45Mn2铸钢作为模体，在型腔部分的凹型槽内以5Cr4Mo做为板极材料，通过电渣堆焊方法，使板极和模体溶焊成为一体，从而完成模块的制备。

由于板极与模体互相溶合的结果，铸钢电渣堆焊模块的化学成分相当于5Cr2MnMo，其具体数值见表125。5Cr2MnMo与5CrNiMo在相同硬度(HRC42)条件下的性能对比如表126所示。从对比中看出，虽然5CrNiMo的室温强度高于5Cr2MnMo，但较高温度下的性能(550℃)，则5Cr2MnMo钢优于5CrNiMo，而且5Cr2MnMo的冲击韧性不论高温或室温都较5CrNiMo优异。经过十几年一些工厂的试验研究和生产实践表明，采用铸钢电渣堆焊模块代替整体合金钢锻模，不仅可以为国家节约贵重金属镍，节省大量外汇，而且模块制备方便，不需要大型水压机锻造。目前，长春第一汽车制造厂除个别锻模由于型腔较深不能采用堆焊模块外，约有95%左右的锻模都采用铸钢电渣堆焊模块，其成本较进口模块低，使用寿命和5CrNiMo相等或略高，收到较好的经济效果。

表 125 5Cr2MnMo钢的化学成分

化学元素	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo
要求成分, %	0.43~0.53	0.40	0.60~0.90	0.035	0.035	1.80~2.20	0.80~1.20
实际成分, %	0.5	0.24	0.90	0.008	0.020	2.16	1.00

为进一步降低锻模成本，除采用上述合金钢外，近年来我国一些单位还试用了球墨铸铁锻模，也收到了一定成效。例如某客车装配厂采用稀土球墨铸铁 QT40-10 制造锻模，经 900~920℃ 保温4小时进行高温石墨化退火，消除磷共晶、碳化铁的不利影响，

表 126 5Cr2MnMo与5CrNiMo钢的性能比较 (硬度HRC42)

钢材 热处理工艺 试验条件 机械性能	5Cr2MnMo				5CrNiMo			
	880~920℃淬火 610~630℃回火				840~860℃淬火 480~520℃回火			
	室 温		高 温 (550℃)		室 温		高 温 (550℃)	
	纵 向	横 向	纵 向	横 向	纵 向	横 向	纵 向	横 向
抗拉强度 σ_b , 公斤/毫米 ²	138	139	80	...	148	145	40	41
屈服强度 σ_s , 公斤/毫米 ²	125	125	...	...	133	137	...	...
伸 长 率 δ , %	10	9.9	21	...	6.5	6	44	40
冲击韧性 α_k , 公斤·米/厘米 ²	3.5~4.0	2.9~3.3	4~5	...	2.5~3	2~2.5	4.4	3.9
断面收缩率 ψ , %	29	26	47	...	26	22.5	91	90

机加工后用氧-乙炔火焰表面淬火，使硬度在HRC45以上，其使用寿命为合金钢锻模的50~60%，总寿命达1800件左右，一副模具成本只有400元，而合金钢模具为1300元。

3、热挤压、热镦锻及精锻模

热挤压等模具过去常用热模钢3Cr2W8V来制造。为适应热挤压、热镦锻、精密锻造以及锻压机，高速锤上模具的需要，除3Cr2W8V外，我国在标准中引进和推荐了4Cr5W2VSi、4Cr5MoVSi、4Cr5MoV1Si、4Cr4Mo2WVSi等国外通用或综合性能较好的热模钢号，并自行研制了5Cr4W5Mo2V基体型热模钢。此外在标准中还保留了低合金钢4SiCrV和8Cr₃，主要用于轻负荷的热镦模和热挤模。

3Cr2W8V过去常用来做热挤压模和热剪切刀，其化学成分

与高速钢近似，只是含碳量较低。由于 $3\text{Cr}_2\text{W}_8\text{V}$ 含钨量高，使钢具有高的热稳定性和耐磨性，但继续提高含钨量将会降低钢的韧性和耐热疲劳性能。减少 $3\text{Cr}_2\text{W}_8\text{V}$ 中的含碳量也是为增加钢的韧性和塑性。钢中加入铬能获得足够的淬透性，并使模具有较好的抗氧化和抗蚀性能。加入少量的钒还可进一步改善钢的耐磨性。虽然 $3\text{Cr}_2\text{W}_8\text{V}$ 具有一定的综合机械性能，过去应用较广，但其耐热疲劳性和导热性较差，在使用中，模具易于变形，产生磨损以至因热疲劳而失效。

新标准中引进的 $4\text{Cr}_5\text{W}_2\text{VSi}$ (仿苏 $\Theta\text{И}958$)、 $4\text{Cr}_5\text{MoVSi}$ (仿美H11)、 $4\text{Cr}_5\text{MoV}_1\text{Si}$ (仿美H13)，含铬量均为5%，并加入了其他元素(钨、钼、钒、硅)。由于含铬量高，因而有较高的淬透性，尺寸较大的模具淬火时也可以空冷，均属空冷硬化热作模具钢。这类钢经淬火和高温回火后，部分铬存在于析出的碳化物中，部分铬存在于基体中，再加其他元素作用的结果，使钢既具有很高的强度，又具有高的韧性。其室温机械性能列于表127。此外铬和硅还可以提高钢的抗氧化性和耐热疲劳性，钨和钒

表 127 5%Cr型热作模具钢的室温机械性能

钢 号	热 处 理	硬 度 HRC	抗拉强度 σ_b 公斤/毫米 ²	屈服强度 σ_s 公斤/毫米 ²	伸长率 δ , %	断 面 收 缩 率 ψ , %	冲 击 韧 性 α_k 公斤·米/厘米 ²
$4\text{Cr}_5\text{MoVSi}$	1000℃ 淬火 580℃ 二次回火	51	1745	...	135	45	5.5
$4\text{Cr}_5\text{MoV}_1\text{Si}$	1010℃ 淬火 566℃ 二次回火	51	183	167	9	28	1.9(1)
$4\text{Cr}_5\text{W}_2\text{VSi}$	1050℃ 淬火 580℃ 二次回火	49	187	166	9.5	42.5	3.4

注 (1) $4\text{Cr}_5\text{MoV}_1\text{Si}$ 的 α_k 值为夏氏V形冲击试样，其余为梅氏冲击试样。

可以提高钢的耐磨性和热稳定性,以钼代钨不但可以增加淬透性,而且也可以增加韧性,提高耐热疲劳强度。 $4\text{Cr}5\text{MoVSi}$ 和 $4\text{Cr}5\text{MoV}_1\text{Si}$ 的室温和高温疲劳强度见表128。这类钢性能良好,在国外已广泛用于制造铜及钢的热挤压模、高速锤锻模及冲头,也用于热锻模。国内试用来制造高速锻造齿轮、叶片的模具和用做中小型热锻模,都收到较好效果。除5%Cr型钢外,在引进钢号中还有 $4\text{Cr}4\text{Mo}_2\text{WVSi}$ (仿苏ДИ22)已被列入YB/Z10-76推荐试用,它是苏联在ДИ958基础上通过适当减铬加钼而发展起来的热模钢新品种,由于添加了2%的钼,在韧性与ДИ958大致相同的情况下,具有较高的高温强度和较好的耐热疲劳性,其综合机械性能(见表129)优于 $4\text{Cr}5\text{W}_2\text{VSi}$,可用于代替含5%Cr型热模钢制

表 128 $4\text{Cr}5\text{MoVSi}$ 和 $4\text{Cr}5\text{MoV}_1\text{Si}$ 的室温和高温疲劳强度

(单位: 公斤/毫米²)

钢 号	室 温	300℃	400℃	500℃	540℃	600℃
$4\text{Cr}5\text{MoVSi}$	88	68	64	63	...	61
$4\text{Cr}5\text{MoV}_1\text{Si}$	73	...	...	...	51	...

注: 循环次数大于 10^7 次。

表 129 $4\text{Cr}4\text{Mo}_2\text{WVSi}$ 钢的高温机械性能

(1070℃淬火, 620℃回火1小时, 680℃回火1小时)

试验温度, °C	屈服强度 $\sigma_{0.2}$, 公斤/毫米 ²	抗拉强度 σ_b , 公斤/毫米 ²	伸长率 δ_{10} , %	断面收缩率 ψ , %	冲击韧性 α_k , 公斤·米/厘米 ²
550	117	143	9.0	51	...
600	112	130	6.5	52	5.1
650	98	111	8.5	36	4.3
700	61	65	9.0	69	7.0
750	26	29	19	87	11.

做精锻模和热挤模。

YB/Z10-76中的 $5\text{Cr}_4\text{W}_5\text{Mo}_2\text{V}$ (代号RM2) 是我国自己研制的基体型热模钢, 与 $3\text{Cr}_2\text{W}_8\text{V}$ 相比具有较高的高温硬度和热稳定性, 经试验用来热挤压轴承套圈制造凸模, 使用寿命较 $3\text{Cr}_2\text{W}_8\text{V}$ 可提高2~3倍。由于 $5\text{Cr}_4\text{W}_5\text{Mo}_2\text{V}$ 含钨量较高, 为保证碳化物分布均匀, 需对模具毛坯认真进行改锻。如通过电渣重熔, 使钢料晶粒细化, 减小偏析, 提高纯净度和减少各向异性, 其凸模使用寿命又可提高将近一倍, 具有明显经济效果。因此, $5\text{Cr}_4\text{W}_5\text{Mo}_2\text{V}$ 可在工作条件较为恶劣的热挤压和压力机精锻齿轮模具等方面推广使用。

对于轻负荷下的热挤压和热锻模可以选用标准中的低合金钢 4SiCrV 或 8Cr_3 。硅铬钢 4SiCrV 虽然热稳定性低于以上钢种, 但仍有较高的强度和一定的耐热疲劳性能, 在受热不大时, 可用于挤压碳素钢及低合金钢。 8Cr_3 钢含铬量较多, 具有较好的淬透性。其热稳定性不高, 但在 $400\sim 500^\circ\text{C}$ 范围内有较高的耐磨性, 因此多用于制造受冲击负荷不大, 受热温度不高, 但要求耐磨的较大型的模具 (如压弯模、切边模等) 及热锻模。

4. 新型热作模具钢

我国近年来研制成功的新型热作模具钢, 除前面已经提及、可同时用于冷作模具的冷热兼用钢CG-2和O12Al外, 还有上海材料研究所等单位研制的 $4\text{Cr}_3\text{Mo}_2\text{W}_4\text{VTiNb}$ (代号GR)、机械工业部机电研究所等单位研制的 $35\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{W}_2\text{V}$ (代号HM₁)、 $25\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{VNb}$ (代号HM₂) 和无铬模具钢 $4\text{SiMnW}_3\text{Mo}_2\text{VN}$ 、钢铁研究院等单位研制的 $5\text{Cr}_4\text{W}_2\text{Mo}_2\text{SiV}$ (代号4*钢)、上海第五钢铁厂研究所等单位研制的 $7\text{W}_4\text{Cr}_2\text{MoNiV}$ (代号7W₄) 等, 它们分别被用于高速精密锻造和热挤压模, 使用寿命都较 $3\text{Cr}_2\text{W}_8\text{V}$ 有成倍的提高。为了满足工作温度达 750°C 的高温热作模具的要求, 北京钢厂等单位还研制了MnNiCr系奥氏体型热作模具钢 $9\text{Mn}_9\text{Ni}_4\text{Cr}_8\text{V}_2\text{WMo}$ 和 $5\text{Mn}_{15}\text{Ni}_5\text{Cr}_8\text{V}_2\text{Mo}_2$, 用做有

表 130

新型热作模具钢

钢 号	代 号	化 学			
		C	Si	Mn	Cr
4Cr3Mo2W4VTiNb	GR	0.37~0.47	≤0.5	≤0.5	2.5~3.5
35Cr3Mo3W2V	HM1	0.32~0.42	0.6~0.9	≤0.65	2.8~3.3
25Cr3Mo3VNb	HM3	0.20~0.28	≤0.6	≤0.35	2.6~3.2
4SiMnW3Mo2VN	...	0.38~0.48	0.90~1.20	1.20~1.70	
5Cr4W2Mo2SiV	4*	0.48~0.58	0.80~1.10	≤0.50	3.70~4.40
7W4Cr2MoNiV	7W4	0.60~0.70	≤0.50	≤0.50	2.20~2.70
9Mn9Ni4Cr8V2WMo	...	0.80~1.00	≤1.00	8.00~10.00	7.00~9.00
5Mn15Ni5Cr8V2Mo2	...	0.45~0.57	0.80~1.25	14.00~16.00	7.00~9.00

钢号及化学成分

成 分, %					
W	Mo	V	Ti	Nb	Ni
3.5~4.5	2.0~3.0	1.0~1.4	0.1~0.2	0.1~0.2	...
1.4~2.0	2.5~3.0	0.8~1.2	...	...	...
...	2.7~3.2	0.6~0.8	...	0.08~0.15	...
3.00~4.00	1.70~2.30	0.80~1.20	...	...	N 0.02~0.06
1.70~2.30	1.70~2.20	1.00~1.30	...	...	...
3.70~4.30	0.80~1.10	0.70~1.00	...	...	1.00~1.40
0.80~1.50	0.80~1.50	1.80~2.50	...	...	3.50~4.80
...	2.30~3.00	1.80~2.50	...	...	4.00~5.50

4

色金属 (Ni-Cu合金) 及黑色金属的热挤压模,也取得了较好效果。各种新型热作模具钢的化学成分列于表130。

$4\text{Cr}_3\text{Mo}_2\text{W}_4\text{VTiNb}$ (GR) 钢同基体型热模钢 $5\text{Cr}_4\text{W}_5\text{Mo}_2\text{V}$ (RM2) 相比,适当减少了铬和钨的含量,同时加入了少量的钛和铌,以细化晶粒,从而在保持高的热稳定性和高温硬度的基础上,使碳化物分布均匀,高温强度,耐磨性和耐热疲劳性能都得到改善。GR钢和国内外常用的热模具钢 $\text{ЭИ}958$ 、H13、 $\text{ДИ}22$ 的高温机械性能对比见表131。由于GR钢在高温下具有极高的屈服强度,并有适当的塑性和韧性,而且耐热疲劳性能和抗磨损性能也非常良好,是一种高温性能优良,又符合我国资源的新型热模具钢。GR钢适于制造热镦锻、精密锻造、高速锻造以及其他热锻模具。上海某厂用GR钢做高速锻造起动电机驱动齿轮的凹模,毛坯材料为 18CrMnTi ,模具寿命可达800件以上,是其他常用热模具钢 ($\text{ЭИ}958$ 、 $\text{ДИ}22$ 等) 的2~3倍。上海某标准件厂使用GR钢制造螺帽热镦锻模,头道模的使用寿命是 $3\text{Cr}_2\text{W}_8\text{V}$ 的4~8倍,二道模为2~2.5倍,具有明显的经济效果。

$35\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{W}_2\text{V}$ (HM₁) 和 $25\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{VNb}$ (HM₃) 是在国外广泛采用的3%Cr-3%Mo型热模具钢 (如 $35\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{V}$ 和 $35\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{Co}_3\text{V}$) 的基础上,结合我国资源和生产使用条件,经调整成分研制出的不含钴的新型模具钢。含钴的热模具钢,因为钴能明显地提高钢的热稳定性和高温硬度,用于高速锻造和其他热锻模具,具有良好的使用效果。HM₁和HM₃则结合我国富有的元素钨、铌等,在 $35\text{Cr}_3\text{Mo}_3\text{V}$ 的基础上改型,提高其高温强度和热稳定性。由于这两种钢合金成分含量不高、冷热加工性能良好,淬火回火温度范围较宽,在保持较高强度和热稳定性的同时,还具有高的韧性和耐热疲劳性能,特别适于制造高速、高负荷、水冷、连续大批量条件下工作的模具,属于综合性能良好、具有高强韧性的热作模具钢。HM₁用于轴承环毛坯热镦挤模和连焊热辊锻模等,使用寿命较 $3\text{Cr}_2\text{W}_8\text{V}$ 、 5CrMnMo 等一般可提高2~3

表 131

几种热作模具钢的高温机械性能

钢号	硬 度 (HRC)	试 验 温 度, °C									
		600					650				
		屈服 强度 $\sigma_{0.2}$ 公斤/ 毫米 ²	抗拉 强度 σ_b 公斤/ 毫米 ²	伸 长 率 δ_{10} %	断 面 收 缩 率 ψ %	冲 击 韧 性 α_k 公斤·米 /厘米 ²	屈服 强度 $\sigma_{0.2}$ 公斤/ 毫米 ²	抗拉 强度 σ_b 公斤/ 毫米 ²	伸 长 率 δ_{10} %	断 面 收 缩 率 ψ %	冲 击 韧 性 α_k 公斤·米 /厘米 ²
GR	53	142	154	0.5		3.0					2.0
Эи958	52.5	90	100	9.0	59	5.1	87.5	98.5	9.2	59	4.5
H13	53	98	117	6.5	51.5	5.1	100	110	7.2	52	5.6
ДИ22	55	112	130	6.5	52	5.1	98	111	8.5	36	4.3

钢号	硬 度 (HRC)	试 验 温 度, °C									
		700					750				
		屈服 强度 $\sigma_{0.2}$ 公斤/ 毫米 ²	抗拉 强度 σ_b 公斤/ 毫米 ²	伸 长 率 δ_{10} %	断 面 收 缩 率 ψ %	冲 击 韧 性 α_k 公斤·米 /厘米 ²	屈服 强度 $\sigma_{0.2}$ 公斤/ 毫米 ²	抗拉 强度 σ_b 公斤/ 毫米 ²	伸 长 率 δ_{10} %	断 面 收 缩 率 ψ %	冲 击 韧 性 α_k 公斤·米 /厘米 ²
GR	53					2.1	38	49	6.5	32.5	6.8
Эи958	52.5	40	43	12.5	81	11.3	24	26.5	21	91	12.3
H13	53	46	51	11	80	9.4	18.5	22	22	93.5	16
ДИ22	55	61	65	9.0	69	7.0	26	29	19	87	11

倍, 最高可至15倍左右。HM3用做轴承环成型凸凹模, 寿命可提高5~6倍。但这类钢含钨量高, 要注意脱碳倾向。

冷热兼用模具钢6Cr4Mo3Ni2WV(CG-2)用于热作模具时取较高的回火温度,通常经1100~1140℃油淬,在600~650℃回火2~3次,在硬度为HRC50~54的状态下使用。CG-2钢的高温性能和韧性介于GR和HM1钢之间,而且具有较好的导热性、热稳定性和耐冷热疲劳性能,用于热挤、热冲、高速锻造等模具,都获得较为良好的使用效果。如CG-2钢用做热挤压轴承圈模具,其使用寿命较3Cr2W8V可提高数倍至20倍,用于手表壳热冲模具,与3Cr2W8V比较,其一次使用寿命可由400次提高到5000次以上;用做精锻模,在摩擦压力机上精锻齿轮毛坯,其使用寿命也比3Cr2W8V高出1~2倍。

为了对比65Nb、012Al、CG-2、LD、HM1和GR等几种新模具钢的各项性能、使用特点以及综合的技术经济效果,1980年原一机部组织有关单位把上述新模具钢,并加上Cr12MoV和3Cr2W8V两种常用老钢种,分为热作模具和冷作模具两大类型进行了全面的综合测试,其性能试验(包括工艺性能)的综合测试结果和性能对比汇总于表132。对比表明,各种新型模具钢均较老模具钢优越,但又各有特点,应根据不同要求和具体条件,合理选用。

以上高性能热作模具钢都含有较高的铬或镍等稀缺元素,为寻求无铬镍新型模具材料,及满足高速锤和机械压床精密锻造对模具钢材的需要,4SiMnW3Mo2VN的研制成功,取得了明显的成效。该钢种不含铬,而加以氮、硅和锰来提高钢的红硬性、耐磨性和淬透性,在适宜的热加工工艺条件下,与含铬的同类型钢相比,有更高的强度和热稳定性,用于高速锤精锻“130汽车”行星齿轮,其模具使用寿命可由一般的500件左右提高到2500件左右,而且冶炼、锻造及热处理等工艺性能良好,生产工艺简单,并具有较好的切削加工性能,是一种有前途的新型模具用钢。

此外,对于锤锻模,沈阳重型机器厂也试制了无铬镍锤锻模具钢4SiMnMoV用来代替常用的5CrMnMo、5CrNiMo和进口

表 132

几种新型热作模具钢的性能对比

对比性能项目		钢 种							
		65Nb	012A1	CG-2	LD1	HM1	GR	Cr12MoV	3Cr2W8V
热作 模 性 能	高温强度	...	B	B	...	B	A	...	B
	热稳定性	...	B	B ⁺	...	B	A	...	B ⁻
	高温冲击韧性	...	B	B	...	A ⁻	B ⁻	...	A
	高温硬度	...	A	A	...	A	A	...	A
	抗冷热疲劳性	...	B ⁻	B	...	A ⁻	A	...	C
	断裂韧性	...	B	A	...	B	B	...	B
冷作 模 性 能	抗压强度	B	B	B	B	...	...	...	...
	抗弯强度	B	D	C	A	...	...	...	...
	抗多次冲击断裂	A ⁺	B	A ⁻	A	...	...	...	...
	耐磨性	A	B	C	A	...	...	...	...
	冲击韧性	B	A	A	B	...	...	...	...
	断裂韧性	B	B ⁻	A	B	...	...	...	...
工 艺 性 能	锻造塑性	A ⁻	B	C	B	A	A ⁻	C	A
	切削性	A	B	B ⁻	B	B	A	B	...
	淬透性	A	C	A ⁻	A	C	C	C	B
	热处理变形	B	B	B ⁻	A	C ⁻	C	...	...
	脱碳敏感性	A	A	A	A ⁺	B	B	A ⁻	B ⁻
	过热敏感性	A	A	B	A	A ⁻	A	...	...

注：表中性能优劣以 A、B、C、D 顺序排列，+、- 表示同一级之间仅有较小差别；表中老钢号可作为比较时的参考基准，凡老钢种未做的项目，符号仅表示新钢种之间的相对比较。

钢材。经许多单位试用，4SiMnMoV 具有良好的淬透性、热稳定性和耐磨性以及短时的高温强度等性能，其寿命和经济指标已赶上或超过进口模具钢。以某厂 1~3 吨锤用锻模为例，76% 的模具寿命均比进口钢材高 20~30%，型腔复杂和工作温度高的锻模则更能充分发挥其耐热和耐磨性能，在 5 吨以上的大型锻锤上使用，也取得了较好效果。现已列入重型机械行业模具钢标准投入生产。4SiMnMoV 的化学成分见表 133。

5、压铸模

表 133

4SiMnMoV的化学成分, %

C	Si	Mn	Mo	V	P, S
0.42~0.50	0.80~1.10	1.50~1.80	0.40~0.60	0.20~0.35	<0.03

金属的压力铸造包括锌合金、铝合金、镁合金、铜合金和近年来发展的黑色金属等类别。由于这些压铸金属的熔点和压铸温度不同又可区分为低熔点金属压铸和高熔点金属压铸两大类。作为压铸模用钢除已往经常采用的3Cr2W8V外, 根据工作条件不同还使用各种热锻模钢以及其他新模具材料。

压铸低熔点金属(锌合金、铝合金、镁合金), 其熔点低压铸温度为400~700℃, 因为压铸温度低, 压铸的单位压力小, 采用3Cr2W8V, 甚至低合金模具钢即可满足工作要求。在压铸铝合金时, 为提高模具寿命和压铸件的表面质量, 减少铝合金对模腔的融蚀和沾模现象, 往往在精加工后对模具工作表面进行氮化处理。由于3Cr2W8V的抗热龟裂性能差, 随着我国热作模具钢品种的增加, 已逐渐采用5%Cr型热锻模钢, 如4Cr5MoVSi、4Cr5MoV1Si和4Cr5W2VSi等来代替。

压铸高熔点金属(铜合金和黑色金属), 其压铸温度可达1000℃以上, 工作条件极为恶劣, 采用3Cr2W8V已不能满足使用要求, 我国除在3Cr2W8V的表面处理工艺上进行改进(如渗硼、渗铝等)外, 还对35Cr3Mo3W2V(HM1)在压铸模的应用进行着试验。此外对于黄铜和黑色金属压铸模应用钨、钼合金模具材料进行了研究, 并取得了较好效果。

钨基或钼基合金具有高的熔点和高温强度、良好的导热性、较小的线膨胀系数以及几乎不产生热裂纹, 是最适宜的压铸高熔点金属模具材料。但钨基合金在室温下硬且脆, 机械加工困难, 机械性能各向异性十分明显, 因而限制了应用, 我国主要研制的是钼基合金。

钼钛锆合金MTZ系在钼中加入少量钛，锆以及钨，铌，碳等元素进行强化（其成分含0.38~0.41% Ti、0.08% Zr和微量其他元素，其余为Mo）。四平市东风农业机械厂用其制造伞齿轮样轮（直径100毫米，重1.6公斤），压铸3W23Cr4MoV钢母模（重2.2公斤）寿命达1000~1500次，一个母模可压铸45钢伞齿轮100个。从而一个钼钛锆样轮可生产伞齿轮10万个以上。与3Cr2W8V钢样轮相比，其压铸寿命可提高3倍，平均母模成本仅为3Cr2W8V的1/3。

8. 塑料模

随着塑料工业的发展，大量塑料零件，制品需要通过模具注塑或压制成型，对精密塑料模具用钢，我国过去基本上处于空白状态，最近研制了一些新型钢种，取得一定成效。

精密塑料模具用钢包括易切削模具钢（即预硬化钢）和时效硬化钢两类。为避免热处理变形，影响模具型腔精度和表面光洁度，我国研制了8Cr2MnWMoVS、5Cr5MoSiVS等加硫的易切削型钢，这些模具钢可预淬硬至HRC43~46，然后直接进行成形加工。此外研制的25CrNi3MoA钢，经调质处理到HRC30左右进行加工，然后再经520℃时效处理10小时，硬度即可上升到HRC40以上。上述三种钢共同特点是，加工性能和镜面研磨性能好。加硫易切削钢，在HRC36时，可用 $\phi 6.6\sim 26$ 高速钢钻头钻孔，在HRC43时，可用高速钢铣刀进行铣削，其加工状态类似于40Cr钢HRC25的状况；当已被热处理到HRC48~50情况下，仍可用硬质合金YT15车刀顺利进行切削加工。另外，为提高表面硬度，延长模具使用寿命，还可对型腔表面进行氮化处理。它们适于制造塑料模、橡胶模和无间隙精密冲模，其化学成分和淬火回火后硬度分别见表134和135。

表 134

精密塑料模具钢的化学成分, %

钢 种	8Cr2MnWMoVS	4Cr5MoSiVS	25CrNi3MoAl
C	0.75~0.85	0.32~0.42	0.20~0.30
Si	<0.40	0.8~1.2	0.2~0.5
Mn	1.3~1.7	<0.40	0.5~0.8
Cr	2.3~2.6	4.5~5.5	1.2~1.8
Ni	...	...	3.0~4.0
Mo	0.5~0.8	1.0~1.5	0.2~0.4
W	0.7~1.1	...	...
V	0.1~0.25	0.3~0.5	...
Al	...	...	1.0~1.6
P	<0.03	<0.03	<0.03
S	0.08~0.15	0.08~0.15	<0.10

表 135

精密塑料模具钢的热处理硬度

钢 号	热 处 理 工 艺	硬 度
8Cr2MnWMoVS	850~900℃空冷, 450~500℃回火	HRC 38~45
4Cr5MoSiVS	1000~1040℃油或空冷 580~620℃回火二次, 每次2小时	HRC 43~46
25CrNi3MoAl	850~900℃油冷或650~700℃空冷 520℃时效8~10小时, 空冷	HRC 30~36 HRC ~42

附录1

本书出现的标准代号

标 准 代 号	标 准 名 称
AISI	美国钢铁学会标准
SAE	美国汽车工程学会标准
UNS	联合国协进会
ASM	美国金属学会标准
ASTM	美国材料试验学会标准
ISO	国际统一标准
BHMA	建筑小五金制造商协会 (美)
CCPA	硬质合金制造业协会
ANSI	美国国家标准学会
GB	中国国家标准
YB	中国冶金部标准
DIN	德国工业标准 (西德)
W-Nr	西德材料号
JIS	日本工业标准

附录2

中国、美国、西德、日本工具钢钢号对照表

美 国		西 德		日 本		中 国	
AISI	SAE	UNS	DIN	W-Nr	JIS		GB, YB
M1	M1	T11301	S2-9-1 BMo9	3343	MoH1		W2Cr4Mo8V
M2	M2	T11302	S6-5-2 BMo5	3343	SKH9		W6Cr4Mo5V2
M3 Class1	M3	T11313	S6-5-3 EMo5V3	3344	V11		W6Cr4Mo5V3
M4	M4	T11304	...	...	SKH54	...	...
M36	...	T11336	...	...	SKH56	...	...
T1	T1	T12001	S18-0-1 B18	3355	SKH2		W18G4V
T2	T2	T12002	C18	3357	BBB2		W18G4Mo5V2
T4	T4	T12004	S18-1-2-5 E18Co5	3255	SKH3	...	...
T5	T5	T12005	S18-1-2-10 E18Co10	3265	SKH4A	...	...
T6	...	T12006	E18Co15	...	SKH4B	...	...

续表

美 国		西 德		日 本		中 国	
AISI	SAE	UNS	DIN	W-Nr	JIS	GB, YB	
T8	T8	T12003	EC05	3251	X00	...	
T15	...	T12015	S12-1-4-5 EV4Co	3202	KHV3	...	
H11	H11	T20811	X38CrMoV51	1.2343	SKD6	4Cr5MoVSi	
H12	H12	T20812	X37CrMoV51	1.2606	SKD62	37CrMoWV ^{20,15}	
W1 (ASM) H13	H13	T20813	X40CrMoV51	1.2344	SKD61	...	
H21	H21	T20821	X30WCrV9-3	1.2567	SKD5	3Cr2W8V	
A2	A2	T30102	...	...	SKD12	Cr6WV	
D2	D2	T30402	X165CrMoV12	1.2601	SKD11	Cr12MoV	
D3	D3	T30403	X210Cr12	1.2080	SKD1	Cr12	
D7	D7	T30407	X210CrW12	1.2436	SKD2	...	
O1	O1	T31501	...	...	SKS3	MnCrWV 9CrWMn	
O2	O2	T31502	... 90MnV8	...	...	9Mn2 9Mn2V	
O7	...	T31507	110WCrV5~	1.2842	SKS2	CrW	
S1	S1	T41901	35WCrV7 45WCrV7	1.2541 1.2542	SKS41	4CrW2Si 5CrW2Si	
S5	S5	T41905	...	...	...	5SiMnMoV	

续表

美 国		西 德		日 本		中 国	
AISI	SAE	UNS	DIN	W-Nr	JIS	GB, YB	
L2	...	T61202	80CrV3	1.2235	...	8C	
L6~	L6~	T61206~	55NiCrMoV6	1.2713	SKT4	5CrNiMo	
W1	W1-0.8C	T72301	C85W2	1.1630	SK6	T8	
W1	W1-0.9C	T72301	C85W1	1.1630	SK5	T8A	
W1	W1-1.0C	T72301	C90W3	1.1760	SK4	T9, T9A	
W1	W1-1.2C	T72301	C100W2	1.1640	SK2	T10	
W5	...	T72305	C100W1	1.1540	SKS8	T10A	
W7	W7	T72307	C115W2	1.1650	SKK	T12	
M35	M35	T11335	C115W1	1.1550	MZ35	T12A	
T7	T7	T12007	110Cr12	1.2025~1.2004	SKH8	Cr06	
D6~	D6~	T30406	85Cr1	...	SKD2~	8Cr	
S4~	S4~	T41904	115CrV3	1.2210	SKH0	CrV	
L1	L1	T61201	S6-5-2-5 EM05Co5	3243	SKD2~	W9Cr4V2	
L4~	L4~	T61204	ABC I	3316	SKD2~	Cr12W	
			X210CrW12	1.2436	SKD2~	Cr12W	
			70Si7	1.2823	SKD2~	7MnSi2	
			105Cr5	1.2060	SKD2~	Cr2	
			105Cr4.90Cr3	1.2057, 1.2056	SKD2~	Cr	
			145Cr6	2063	SKD2~	CrMn	

续表

美 国		西 德		日 本		中 国	
AISI	SAE	UNS	DIN	W-Nr	JIS	GB, YB	
L7	L7	T61207	85Cr7	2064	...	9Cr2	
F1	...	...	120W4	1.2414	SKU8	W	
F3~	F3~	...	142WV13	1.2562	SKS11	W3CrV	
6G (ASM)	...	...	40CrMnMo7~	1.2311~	SKT5	5CrMnMo	
6F2 (ASM)	...	...	55NiCrMoV6	1.2713	SKT4	5CrNiMo	
1A (ASM)	...	...	C130W2	1.1660	SK1	T11, T13	
1A (ASM)	...	...	80CrV3	1.2235	...	8CrV	
1B (ASM)	...	...	85Cr1	1.2004	...	8Cr	
W5	W5	...	110Cr2	...	SKS8	Cr05	
O1	O1	T31501	105WCr6	2419	SKS31	CrWMn	
W2 IC(ASM)	W2-1.0C-V	T72303	100V1	2833	SKS43	V	
W2 IC(AMS)	W2-0.8C-V	T72302	...	...	SKS44	8V	
F3	F3	...	X130W5	2453	SKS1	CrW5	

附录3

本书出现的其它钢材与我国钢号对照表

美 国	中 国	美 国	中 国
1008	08	302	1Cr18Ni9
1010	10F	304	0Cr18Ni9
1012	10	305	1Cr18Ni11
1015	15	309	Cr23Ni13
1017	~15	310	Cr25Ni20Si2
1021	~20Mn	316	0Cr17Ni11Mo2
1022	20Mn	317	Cr19Ni13Mo4
1023	~20	321	1Cr18Ni-Ti
1025	25F	410	0Cr13, 2Cr13
1026	25Mn	4130	30CrMo
1029	~30	420	3Cr13, 2Cr13
1030	30	440C	9Cr18, 11Cr17
1035	35	410	0Cr13
1040	40	430	4Cr13, Cr17
1045	45	440A	7Cr17Mo
1060	60,60Mn	440B	9Cr18MoV 9Cr17MoVCo
1065	65,65Mn	431	Cr17Ni2
4140	40CrMnMo 42CrMo	403	1Cr13
4340	40CrNiMoA	B1112	Y12
5120	20Cr	1074	75
5130	30Cr	17-4PH	0Cr17Ni4Cu4Nb
5132	30Cr	17-7PH	0Cr17Ni7Al
6150	50CrVA	PH15-7Mo	0Cr15Ni7Mo2Al
52100	GCr15		
301	Cr17Ni7		

