

黑色金属材料及其热处理

(下 册)

北京航空学院一〇二教研室

一九七二年十一月

目 錄

第 四 章 工具鋼及其熱處理

引 言

第一節 刃具鋼的特點及分類	(1)
第二節 碳素工具鋼的熱處理	(4)
2—1 碳素工具鋼熱處理的特點	(4)
2—2 T12A 制小型板牙 ($m < 1$) 的熱處理工藝	(4)
2—3 碳素工具鋼的熱處理質量分析	(6)
第三節 合金工具鋼的熱處理	(6)
3—1 合金工具鋼及其熱處理的特點	(6)
3—2 9SiCr 圓板牙的熱處理	(6)
3—3 合金工具鋼熱處理質量分析	(10)
第四節 高速鋼的熱處理	
4—1 高速鋼的特點與分類	(12)
4—2 W18Cr4V 的熱處理	(13)
一、高速鋼的退火工藝	(14)
1. W18Cr4V 的局部相圖及鑄態組織	(14)
2. 碳化物不均勻性及高速鋼的鍛造	(15)
3. 高速鋼的退火工藝	(18)
4. 高速鋼退火生產經驗	(19)
二、高速鋼的淬火工藝	(20)
1. 合金元素的作用	(20)
2. 高速鋼的淬火加熱	(23)
3. 高速鋼的淬火冷卻	(29)
三、高速鋼的回火工藝	(32)
四、高速鋼的表面處理	(35)
1. 高速鋼的軟氮化處理	(36)
2. 高速鋼的氰化處理	(37)
3. 高速鋼的硫氮共滲	(37)
4. 高速鋼的蒸汽處理	(38)
五、高速鋼熱處理的設備與技術安全	(39)
4—3 高速鋼熱處理缺陷分析與防止方法	(43)
一、硬度不足	(43)
二、脆性	(45)

三、腐蚀麻点	(45)
四、变形与开裂	(45)
第五节 高速钢刀具热处理规范的制定	(47)
第六节 铸造高速钢的介绍	(50)
第七节 高速钢新材料、新工艺简介	(51)
第八节 模具的特点及对材料、热处理的要求	(54)
第九节 冷作模具钢的热处理	(56)
9—1 Cr12 型钢材料介绍	(56)
9—2 Cr12 型冷作模的热处理工艺	(56)
一、Cr12 型钢的退火工艺	(57)
二、Cr12 型钢的淬火回火工艺	(57)
9—3 其他冷作模具钢的热处理	(61)
第十节 热作模具钢的热处理	(62)
10—1 5CrNiMo 钢材料介绍	(62)
10—2 5CrNiMo 钢的预备热处理	(63)
10—3 5CrNiMo 钢的最后热处理	(63)
10—4 热锻模的燕尾处理	(65)
10—5 其他热作模具钢的热处理	(66)
第十一节 模具钢的表面处理介绍	(67)
第十二节 模具热处理的质量分析	(71)
12—1 模具的脱碳	(71)
12—2 模具的表面腐蚀	(72)
12—3 模具的过热与过烧	(72)
12—4 模具的变形与开裂	(73)
一、模具钢材对变形的影响	(73)
二、模具形状对变形的影响	(74)
三、原始组织对变形的影响	(76)
四、机械加工对变形的影响	(77)
五、热处理工艺对变形的影响	(77)
第十三节 量具的特点及对材料、热处理的要求	(78)
第十四节 量具钢的热处理	(79)
第十五节 工夹具的热处理	(81)
第五章 不锈钢及其热处理	(83)
第一节 概论	(83)
1—1 不锈钢在航空上的应用	(83)
1—2 金属腐蚀的基本概念和提高金属耐蚀性的途径	(84)
1—3 不锈钢成分和组织的基本特征	(86)
1—4 不锈钢的分类和它们的基本特点	(87)
1—5 我国不锈钢的发展和符合我国资源的不锈钢系统	(88)

第二节 马氏体不锈钢及其热处理	(89)
2—1 马氏体不锈钢的基本成分和组织	(89)
2—2 碳对 Cr13 型马氏体不锈钢机械性能、耐腐蚀性能和工艺性能的影响	(91)
2—3 Cr13 型不锈钢的热处理	(93)
一、某发动机后轴承座和封严圈的工作条件和工艺流程	(93)
二、Cr13 型不锈钢的热处理	(94)
1. 锻造后的退火	(94)
2. 冲压或深拉过程中的中间退火	(95)
3. 焊接后退火	(96)
4. 淬火	(96)
5. 回火	(98)
2—4 镍对马氏体不锈钢组织和性能的影响及 Cr17Ni2 马氏体不锈钢	(100)
一、镍在马氏体不锈钢中的作用	(100)
二、Cr17Ni2 不锈钢的热处理	(101)
三、Cr17Ni2 不锈钢的缺点	(102)
2—5 钨、钼、钒对 Cr13 型不锈钢性能的影响及 1Cr11Ni2W2MoV (3H961, F61) 马氏体不锈钢	(102)
一、1Cr11Ni2W2MoV 钢的成分	(102)
二、1Cr11Ni2W2MoV 钢的工艺性	(105)
三、1Cr11Ni2W2MoV 钢的热处理工艺对性能的影响	(105)
1. 1Cr11Ni2W2MoV 钢制零件的工艺流程	(105)
2. 1Cr11Ni2W2MoV 钢的退火	(106)
3. 1Cr11Ni2W2MoV 钢的淬火	(107)
4. 1Cr11Ni2W2MoV 钢的回火	(107)
四、1Cr11Ni2W2MoV 钢的形变热处理—锻造淬火法	(113)
1. 形变热处理的基本概念	(113)
2. 变形温度、保温时间和变形量对 1Cr11Ni2W2MoV 钢 机械性能的影响	(114)
3. 对形变热处理本质的粗浅解释	(115)
4. 形变热处理强化效果的遗传性和它在生产中的应用	(116)
2—6 钛、铝、铜、铌对马氏体不锈钢的工艺、组织、性能的影响和马氏体 析出硬化型不锈钢	(117)
一、马氏体析出硬化型不锈钢的合金化原则	(119)
二、 的热处理和机械性能	(119)
三、马氏体析出硬化型不锈钢的优缺点	(123)
第三节 奥氏体型不锈钢及其热处理	(123)
3—1 奥氏体基体的获得——碳、铬、镍对基体组织的影响	(124)
3—2 奥氏体不锈钢的冶炼、加工和焊接特点	(125)
3—3 奥氏体不锈钢晶间腐蚀现象、原因、预防措施和检验方法	(128)
一、奥氏体不锈钢晶间腐蚀的现象和原因	(128)

二、预防晶间腐蚀的方法和措施	(130)
1. 降低含碳量	(130)
2. 加入能形成稳定碳化物的合金元素	(130)
3. 用奥氏体+铁素体复相不锈钢代替奥氏体单相不锈钢	(131)
4. 热处理工艺与晶间腐蚀	(132)
三、晶间腐蚀倾向的检验方法	(133)
3—4 18—8 钢的耐蚀性和含铜、钼的奥氏体不锈钢	(135)
3—5 奥氏体不锈钢的热处理 (以 18—8 为典型)	(137)
一、固溶处理	(137)
二、消除应力退火	(139)
3—6 奥氏体不锈钢中镍的代用问题和铬—锰—氮奥氏体不锈钢	(139)
一、问题的提出	(139)
二、锰、氮对奥氏体形成的影响	(140)
3—7 奥氏体不锈钢的优缺点和正确选用	(143)
一、从机械性能的观点来选用	(143)
二、从工艺性能的观点来选用	(143)
三、从耐腐蚀性能的观点来选用	(143)
第四节 过渡型不锈钢 (半奥氏体析出硬化型不锈钢) 及其热处理	(144)
4—1 过渡型不锈钢的提出和基本特点	(144)
4—2 化学成分对 PH15—7Mo 钢组织和性能的影响	(145)
一、合金元素对 PH15—7Mo 钢固溶状态马氏体开始转变点 M_s 的影响	(146)
二、合金元素对 PH15—7Mo 钢调整热处理后马氏体 开始转变点 M'_s 的影响	(148)
三、合金元素对 PH15—7Mo 钢 δ —铁素体含量的影响	(148)
四、钼、铝含量对 PH15—7Mo 钢性能的影响	(150)
4—3 热处理对 PH15—7Mo 钢组织和性能的影响	(150)
一、不同固溶温度和时间对 PH15—7Mo 钢组织和性能的影响	(151)
二、不同调整温度和冷却速度对 PH15—7Mo 钢马氏体相变的影响	(152)
三、PH15—7Mo 钢奥氏体的稳定化及其对性能的影响	(153)
四、时效温度、时间和时效次数对 PH15—7Mo 钢组织和性能的影响	(154)
五、PH15—7Mo 钢的热处理流程	(155)
4—4 过渡型不锈钢的冶炼、加工和焊接特点	(156)
4—5 过渡型不锈钢的优缺点和它的用途	(157)

第六章 耐热钢、耐热合金及其热处理

第一节 概论	(158)
1—1 涡轮喷气发动机主要零部件的工作条件	(158)
一、喷气发动机主要零部件的工作温度	(158)
二、喷气发动机主要零部件的机械载荷	(159)
三、高温气流作用下发动机主要零部件的氧化和腐蚀	(159)

1—2	涡轮喷气发动机对材料的要求	(159)
1—3	高温合金方面的两条路线斗争	(160)
1—4	耐热合金的高温性能	(162)
一、	热稳定性(或热安定性)	(162)
二、	热强性(或耐热性)	(166)
1—5	耐热钢、耐热合金的分类和用途	(172)
第二节	以 α -Fe为基的耐热钢及其热处理	(173)
2—1	珠光体耐热钢在长期工作过程中的组织转变、性能变化以及对钢化学成分的要求	(174)
一、	珠光体的球化和碳化物的聚集	(174)
二、	钢的石墨化	(177)
三、	合金元素在各相间的再分配	(177)
四、	热脆性	(180)
2—2	热处理对珠光体耐热钢组织和性能的影响	(181)
2—3	珠光体耐热钢的热稳定性	(183)
第三节	奥氏体耐热钢及其热处理	(184)
3—1	GH36的合金化特点	(186)
3—2	GH36的热处理特点	(191)
3—3	GH135(808)的合金化特点	(195)
一、	以金属间化合物为强化相的奥氏体耐热钢的固溶强化	(195)
二、	析出硬化元素铝、钛对合金性能的影响	(198)
三、	晶界的强化和微量硼、铈对合金性能的影响	(200)
3—4	GH135的热处理和性能	(202)
3—5	提高涡轮盘材料疲劳强度的方法和途径	(209)
一、	金属和合金的组织结构对疲劳强度的影响	(209)
二、	表面状态对疲劳强度的影响和GH135的喷丸处理	(212)
3—6	铁基高温合金的冶炼和加工性能	(214)
第四节	固溶强化的镍基耐热合金及其热处理	(217)
4—1	纯镍的基本性质	(217)
4—2	燃烧室的工作条件和对材料的要求	(218)
4—3	固溶强化镍基合金的合金化特点	(219)
4—4	固溶强化镍基合金的热处理特点	(223)
4—5	固溶强化镍基合金板材的表面处理	(228)
第五节	时效硬化的变形镍基耐热合金及其热处理	(229)
5—1	涡轮叶片的工作条件和对材料的要求	(230)
5—2	时效硬化变形镍基合金的合金化特点	(230)
一、	铝、钛在时效硬化镍基合金中的作用	(232)
二、	硼、铈等微量元素在镍基合金中的作用	(236)
5—3	时效硬化变形镍基合金的热处理特点	(238)
一、	一次淬火温度和时间对GH49合金组织和性能的影响	(239)

二、时效规范对GH49合金组织和性能的影响	(241)
5—4 时效硬化变形镍基合金的冶炼特点和冶金质量问题	(247)
第六节 铸造镍基耐热合金及其热处理	(251)
6—1 铸造镍基合金合金化的特点和它的组织稳定性	(251)
6—2 铸造镍基合金的成分偏析和它的显微组织特点	(259)
6—3 铸造镍基合金的热处理特点	(261)

第七章 合金元素在钢中的作用

第一节 合金元素对铁碳状态图的影响	(263)
第二节 合金元素对钢在加热时的影响	(266)
2—1 合金元素对奥氏体形成的影响	(267)
2—2 合金元素对残余碳化物溶解的影响	(267)
2—3 合金元素对奥氏体均匀化的影响	(267)
2—4 合金元素对奥氏体晶粒长大的影响	(267)
第三节 合金元素对钢在冷却时的影响	(269)
3—1 合金元素对珠光体转变的影响	(269)
3—2 合金元素对贝氏体转变的影响	(271)
3—3 合金元素对马氏体转变的影响	(271)
第四节 合金元素对钢淬透性的影响	(275)
第五节 合金元素对回火过程的影响	(279)
5—1 合金元素对马氏体分解的影响	(280)
5—2 合金元素对碳化物的形成、转变和长大的影响	(281)
5—3 合金元素对残余奥氏体分解的影响	(283)
5—4 合金元素对基体 α -Fe再结晶的影响	(284)
第六节 合金元素对钢的机械性能的影响	(285)
6—1 合金元素对结构钢在退火状态下机械性能的影响	(287)
6—2 合金元素对结构钢在常化状态下机械性能的影响	(288)
6—3 合金元素对钢在淬火回火后机械性能的影响	(290)
一、合金元素对低温回火钢机械性能的影响	(291)
二、合金元素对高温回火钢机械性能的影响	(292)
第七节 合金元素对钢回火脆性的影响	(294)
附表一 公制和英美制常用单位换算因子	
附表二 钢铁牌号国内外对照表	
附表三 国内外高温合金牌号对照、化学成分、规格品种和热处理工艺	
附表四 国产部分不锈钢的化学成分、热处理、室温机械性能和技术条件	
附表五 英美高温合金牌号、成分、性能和用途	

第四章 工具鋼及其熱處理

引 言

随着航空工业的发展,对产品质量要求越来越高,新材料不断投入航空工业,对工具(包括各种刃具、模具、量具及工卡具)也不断提出更高的要求。例如铁基耐热合金使用后,利用原来水平的刃具,切削加工感到很困难;毛坯精化,对锻模、铸模提出了许多新课题;为了提高工效需要各种大量的量具、工夹具。总之工具生产在整个生产过程中起着后勤保证作用,它在航空工业中尤为突出。

我国的工具钢的生产,在毛主席无产阶级革命路线指引下有了很大进展。根据“独立自主、自力更生”的方针,立足于国内资源,正在建立自己的工具钢系统,例如在刃具钢方面,除W18Cr4V外,已创制出一些钨钼系、钨系、节钴无钴、加铝、高碳等新型高速钢;在模具钢方面也创制出节镍无镍、节钨代钨等新型模具钢。这些新钢中有的已经列入冶标正式生产。有的正在试用与进一步研究中。

区别于结构钢,对工具钢的要求是硬度高、耐磨性高以及大负荷高速切削时的红硬性,这要求材料有较高的含碳量及适当的强烈形成碳化物的合金元素如钨、钼、钒等;为了保证工具性能均匀性和尽可能地减少热处理变形,要求材料有较高的淬透性,因此工具钢常含有钨、钼、硅等。由于上述原因,使工具钢的淬火温度大大提高,在热处理工艺上要防止过热、过烧、氧化、脱碳;此外为了提高工具的寿命,还采用了各种化学热处理工艺。

由于工具包括较广,供制作工具的材料也是比较多的。如果按照化学成分来分类,可分为碳素工具钢与合金工具钢两大类。实际生产中对工具钢一般均按用途分类,这时可分作:刃具钢、模具钢、量具钢三类。下面将分别予以讨论。

第一節 刃具鋼的特点及分类

1—1 从刃具的切削过程看对刃具材料的要求

刀具在切削过程中,使被切削部分产生弹性变形、塑性变形,造成切屑而脱离工件。在切削过程中对工件所作的功一部分储存于切屑和工件表面(界面能),一部分则以弹性畸变形式储存于被加工部分的金属内部。还有一部分由于在切削时刀具与工件的强力摩擦和金属在弹性变形过程中在金属内部产生“摩擦”,而产生大量的热。这部分热有的被切屑和冷却液带走,还有一部分传给刀具和工件,由于传给刀具的热量是集中在一个小面积上(刀具刃部),所以这里往往产生很高的温度。在无冷却的切削条件下,刀具上的温度分布见图4—1—1。

切削过程中,在新形成表面一定深度内产生塑性变形,相应伴随有加工硬化发生,因而

提高了随后切削过程中的变形抗力。也就是增加被切削部分和刀具之间的摩擦力。增加了切削过程中所产生的热量。有时被切削金属粘附在刀具刃部，这些被粘附金属的出现进一步增加了刀具与切屑的摩擦力，遂使刃部温度进一步增高，被切削金属进一步粘附。加工硬化及刀瘤（被粘附在刀具上的金属称之为刀瘤）使刀具很快“累坏”“不顶刃”，而不能继续工作。

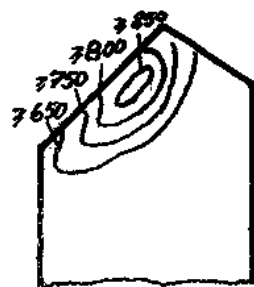


图4—1—1

车刀刃部温度分布图

由以上可以看出，高速大负荷切屑时要刀具在很高的温度（ 600°C ）下有足够的硬度（红硬性）和耐磨性。而且需要有良好的表面质量使之被切削材料不易和刀具粘附，这种良好的表面质量除了刀具在机械加工时要求有高的表面光洁度之外，用化学热处理改变刀具表面状态也是有效的措施。

1—2 刀具钢的分类与常见牌号介绍

对于不同刀具它们的工作条件是不同的。例如高速连续切削用的车刀就要求有足够高的红硬性与耐磨性。对于手用丝锥，它主要要求有足够高的硬度和一定的韧性，它对红硬性没有要求。

根据具体情况具体分析的原则，对于不同刀具按工作条件不同来选用合适的材料。一般根据刀具工作受力大小，发热大小，使用条件等因素来慎重选用刀具材料。毛主席教导我们“节省每一个铜板为着战争和革命事业”，我们要本着这种精神合理地选择刀具用钢。

对于工作温度不超过 250°C ，不要求红硬性，同时对沾透性要求亦不高，而只要求有高的硬度与耐磨性的刀具应选用碳素工具钢，例如 T7, T8, T10, T12 等。用碳素工具钢可制作手用丝锥、手板牙、手铰刀，甚至可以做在加工过程中发热不大的车刀和铣刀等。

对于截面较大，形状较复杂的刀具，对沾透性及变形要求较严，对红硬性要求不太高，但要求高硬度、高耐磨性和较好的韧性配合，这时对于碳素工具钢已不能满足要求，需要选用合金工具钢来制作，例如 9SiCr, CrWMn, Cr12MoV, GCr15 等，用这样的材料可制作机用丝锥、板牙、钻头铰刀、滚丝轮等。

对于那些高速切削，要求在 600°C 左右保持其切削性能，即要求刀具具有高的红硬性，高硬度与高的耐磨性，又要有一定的其他机械性能来配合的刀具，就必须由具有高碳高合金量的高速钢来制作，例如 W18Cr4V, W6Mo5Cr4V2 (M2), W9Cr4V2 等。高速钢可制作各种高速切削用的车刀、铣刀、钻头、铰刀等刀具，因此，高速钢在航空生产用的刀具中占有最大的比重。

下面对航空生产上常用的刀具钢的化学成分、热处理有关数据列表介绍。见表4—1—1。

表4-1-1 航空生产常用刀具钢牌号, 主要成分, 临界点, 热处理规范和硬度

钢 号	化 学 成 分						临 界 点 (°C)		热 处 理 及 性 能		
	C%	Cr%	Si%	Mn%	Ni%	Mo%	W%	V%		Ac ₁	Ac ₃ 或Ac _m
T7A	0.65 0.74		0.15 0.30	0.15 0.30					730	770	800—830°C 沾水 HRC61—63
T10A	0.95 1.04		0.15 0.30	0.15 0.30					730	800	770—790°C 沾水 HRC62—64
T12A	1.15 1.24		0.15 0.30	0.15 0.30					730	820	770—790°C 沾水 HRC62—64
GCr15	0.95 1.05	1.3 1.65	0.15 0.35	0.2 0.4	≤0.3				745	900	850—860°C 油沾 HRC63—66
9SiCr	0.85 0.95	0.95 1.25	1.2 1.6	0.3 0.6					770	870	860—880°C 油沾 HRC62—65
CrWMn	0.90 1.05	0.9 1.20	0.15 0.30	0.8 1.10			1.20 1.60		750	940	820—840°C 油沾 HRC63—65
CrMn	1.30 1.50	1.30 1.60	≤0.35 ≤0.35	0.45 0.75					740	980	840—860°C 油沾 HRC63—66
Cr12MoV	1.45 1.70	11.0 12.50	≤0.4 ≤0.4	≤0.35 ≤0.35		0.4 0.6		0.15 0.30	810	1200	1020—1040°C 油沾 HRC62—63
W	1.05 1.25	0.1 0.30	≤0.35 ≤0.35	0.2 0.4			0.8 1.2		740	820	800—820°C 沾火 HRC62—64
W18Cr4V	0.7 0.80	3.8 4.4	≤0.4 ≤0.4	≤0.4 ≤0.4			17.5 19.0	1.0 1.4	820	1330	1280°C 沾水 HRC62—64
W9Cr4V2	0.85 0.95	3.8 4.4					8.5 10.0	2 2.6			1240°C 沾火
W6Mo5Cr4V2(M2)	0.85	4.0				5.0	6.0	2.0			1190—1230°C 沾火

第二節 碳素工具鋼的热处理

2—1 碳素工具鋼热处理的特点

碳素工具鋼的含碳量在0.65~1.35%，处于共析与过共析鋼范围。它在热处理后可获得高的硬度与耐磨性，由于它的价格低廉，加工性良好，所以还是常被采用的。

亚共析鋼沾火温度为 $A_{c3} + 30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，而对于过共析鋼沾火温度不能太高，一般为 $A_{c1} + 30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 为宜，这主要是为了防止残余奥氏体过多而降低硬度，同时也是为了保留一部分渗碳体，从而提高其耐磨性。

碳素工具鋼沾火后的硬度完全靠含碳量来保证，因此对碳素工具鋼的热处理要严防脱碳。由于碳素工具鋼过冷奥氏体很不稳定，所以只有快冷才能获得马氏体，这是碳素工具鋼的第二个特点。因此在淬火时一般采用水冷、水油冷或碱液冷却。

由于上述这样的特点，我们也可以知道为什么碳素工具鋼不宜制作形状较复杂，截面较大的刀具了。

下面就 T12A 制作的特小型板牙讨论其热处理工艺。

2—2 T12A 制小型板牙 ($m < 1$) 的热处理工艺

对于 $m < 1$ 的圆板牙均供套制仪器仪表上的螺纹用，鉴于它受力不大，不受冲击载荷，尺寸较小，选用 T12A 是合适的。

由于 T12A 是过共析鋼，为了得到高的硬度、高的耐磨性，需在沾火后保留一部分渗碳体。T12A 的 $A_{c1} = 730^{\circ}\text{C}$ ， $A_{cm} = 820^{\circ}\text{C}$ ，考虑到工件很小，尤其是防止板牙工作刃部（螺纹）脱碳和变形，在实际生产上采用两个措施来保证。首先为防止脱碳，对于加热介质一般均不采用盐浴炉加热，避免盐浴脱氧不够而造成氧化脱碳，因此对这样的小件尽可能采用保护气氛炉加热。为了防止变形，在加热温度上对特小型工件均宜适当降低沾火温度来保证。在现场对于 T12A 制的小板牙沾火温度选用 $770 \sim 780^{\circ}\text{C}$ 。

如果 T12A 沾火温度如过低，将使奥氏体中含碳太少，沾火后得不到足够高的硬度。如果沾火温度过高，加大了渗碳体的溶解，增加了奥氏体的含碳量，降低了 M_s 、 M_f 点（见图 4—2—1），而在沾火后得到较多的残余奥氏体，降低刀具的硬度与耐磨性。

关于碳素工具鋼在沾火加热时加热时间计算可参见表 4—2—1，具体加热时间还要根据装炉量大小、炉子功率大小等因素综合考虑。

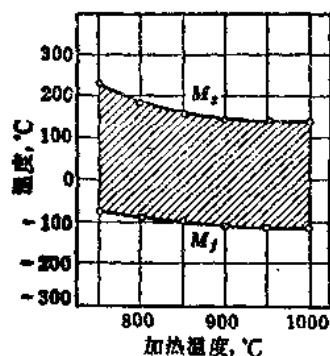
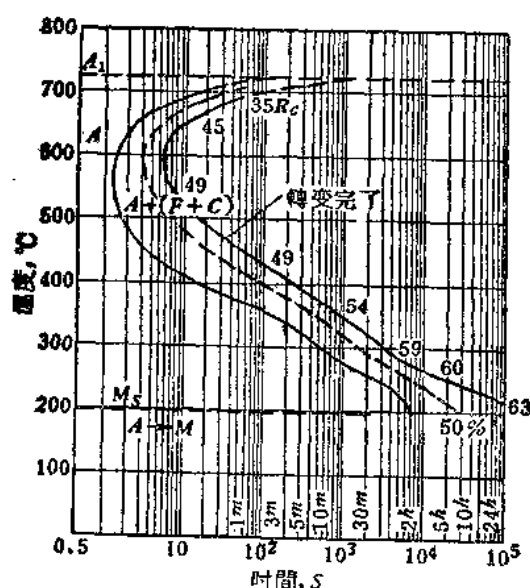
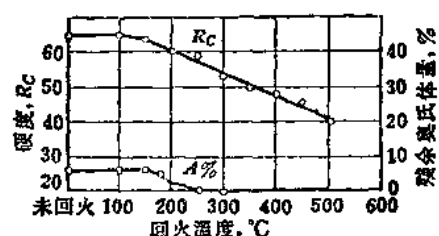


图4—2—1 T12A 马氏体点与沾火温度的关系

表4—2—1 碳素工具钢的淬火加热温度和加热时间

加 热 介 质	加 热 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	加 热 时 间 (秒/毫米)
铅 浴	770—820	6—8
盐 浴	770—820	12—14
电 炉	770—820	50—80

从 $T12A$ 奥氏体等温转变曲线 (图4—2—2) 可知, $T12A$ 在淬火后必须快冷才可获得马氏体组织, 对于一般零件均采水淬或先水后油淬火, 但考虑到 $m < 1$ 的板牙尺寸很小, 同时主要是为了防止板牙螺纹变形, 在生产上采用等温淬火工艺, 即在淬火加热保温后立即使之进入 $220\sim 230^{\circ}\text{C}$ 的硝盐或石蜡中冷却。因为这时是在 M_s 点以上等温 ($M_s = 200\sim 210^{\circ}\text{C}$), 可生成一部分贝氏体, 这样的措施一方面降低了热应力, 同时它由于减少了奥氏体转变为马氏体所造成的组织应力, 最终使变形限制在技术要求范围内。

图4—2—2 $T12A$ 奥氏体等温转变曲线 (790°C)图4—2—3 $T12A$ 硬度随回火温度变化的关系

为了消除淬火后的应力, 降低工件的脆性, 稳定其组织和尺寸, 需进行回火。 $T12A$ 在不同回火温度下的硬度变化见图4—2—3。对于 $T12A$ 制作的刃具, 为了要保持其高的硬度, 回火温度可在 $140\sim 250^{\circ}\text{C}$ 范围内选择。对于特小型的板牙, 因其在淬火时硬度容易保证。回火时一般选中上限回火温度进行。在实际生产上, 对回火温度的考虑要根据淬火后的硬度和实际回火后的性能来确定。回火时间一般是 $1\sim 2$ 小时即可。

2—3 碳素工具钢的热处理质量分析

碳素工具钢在热处理中常发生的缺陷主要是脱碳和变形开裂。

在较高温度下长期加热时易引起脱碳，或在退火时脱碳严重而未能在机械加工时除掉，经沾火后发现硬度不足或硬度不均匀，这将引起不能使用或缩短使用寿命。防止脱碳建议采用保护气氛或盐炉加热。

由于碳素工具钢沾透性小，沾火时需采用盐水或先水后油等介质沾火，若掌握不当，常常会造成工具的变形开裂，特别是对于形状较复杂或大型工具（如剪床用剪刀）沾火变形严重，厚薄相差悬殊时常引起开裂。改变这种状况的办法是采用合适的冷却介质，一般易变形开裂的高碳钢工具宜采用碱液冷却，此时虽表面硬度可得到保证，但沾透层是很浅的，如果条件允许，改用低合金高碳钢为宜，如用 9Mn2 来代替 T10。

第三節 合金工具鋼的热处理

3—1 合金工具钢及其热处理的特点

对截面较大、形状特殊而且较复杂的刀具（如搓丝板、板牙），若用碳素工具钢，沾火后不易保证得到足够的硬度，同时可能造成严重的变形或开裂，因此必须采用沾硬性、沾透性、耐磨性和韧性都比较好的合金工具钢来制造。

作为低切削用的合金刀具钢属于低合金钢（见表 4—1—1）。为了保证具有高的硬度（ $HRC \geq 62$ ）和满足形成碳化物的需要，钢中含碳量必须在 0.8~1.4% 之间。铬是这类合金钢的主要合金元素，一般含铬量在 0.5~1.5%，同时还有加入钨、钒、锰、硅等合金元素，这些合金元素的加入均使奥氏体稳定性增加，强化固溶体，形成碳化物增加耐磨性。因此合金刀具钢在热处理工艺上具有如下特点：沾透性较碳素工具钢好，沾火冷却在油中进行，热处理变形开裂倾向减少了，但是也由于合金元素的加入提高了临界点，沾火温度较高，这时脱碳、过热比较敏感。属于这种类型的钢号有 9SiCr, CrMn, GCr15 等。

对于有些要求高强度高耐磨性突出的刀具，这在材料的化学成分上除了高碳外，要求有足够的合金元素来保证，这些合金元素一方面是为了提高刀具的沾透性，同时要保证合金元素与碳形成足够多的坚硬耐磨的碳化物。属于这类材料一般均采用 Cr12 型，如 Cr12Mo, Cr12MoV 等。在航空生产中常采用它制作滚丝轮、铆钉模。对于 Cr12 型材料，由于它的含碳及合金元素很高，已属于莱氏体钢，它在材料、热处理特点上均类似高速钢（对于 Cr12 型在生产上常发生的问题是碳化物偏析比较严重，由于碳化物的不均匀分布，将给热处理带来严重后果）。这种类型的材料将在模具钢中介绍。

下面就 9SiCr 制作的圆板牙来讨论其热处理工艺。

3—2 9SiCr 圆板牙的热处理

由于 9SiCr 含有较高的碳（0.85~0.95），同时含有 1% 左右的铬，这时铬主要起着提高沾透性作用。还含有 1.2~1.6% 硅，这时硅主要起着强化固溶体的作用，因此 9SiCr 材

料具有较大的沾透性和沾硬性。9SiCr 若在油中沾火， $\leq \phi 40-60$ 毫米的棒材均可沾透，可获得 $HRC=61-63$ 。由于铬、硅的存在，提高了回火稳定性，当 9SiCr 在沾火后，225—250°C 回火时，硬度仍可保持 $HRC \geq 60$ 。生产上，对 9SiCr 制圆板牙的热处理特别要提出的是由于材料含硅较高，脱碳敏感性较强。

板牙是用作套制各种螺纹用的一种专用刀具，它的工作部分就是它的螺纹刃部，为了导出切屑，它的螺纹刃部不是连续的整体（见图 4—3—1）。这样的结构形式除要求热处理时要防止脱碳，同时还要防止变形超差。

对 9SiCr 制圆板牙的热处理技术条件为：① $HRC=60-63$ 。② 螺孔尺寸不许超差。③ 马氏体针不允许超过 2.5 级（即在 $500\times$ 金相检验中，马氏体针长度不大于 2.5 毫米）。

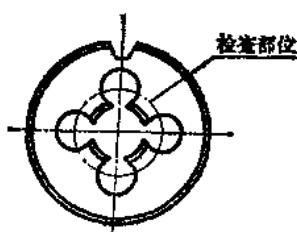


图4—3—1 板牙

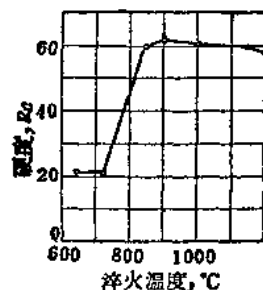


图4—3—2 9SiCr 淬火温度与硬度的关系

9SiCr 圆板牙的沾火：

经测定，9SiCr 的 $A_{c1}=770^{\circ}\text{C}$ ， $A_{c2}=870^{\circ}\text{C}$ 。由于 9SiCr 属于过共析钢，考虑到合金元素要比较充分地溶解，沾火温度选择要根据硬度的变化（见图 4—3—2），同时考虑到原材料珠光体球化级别及碳化物不均匀程度来确定。一般 9SiCr 的沾火温度在 850—870°C 范围。原材料材质一般是随来料（棒料）直径加大而变坏，所以实际生产中，大圆板牙沾火温度以采用下限为宜，而对小圆板牙可采上限温度。具体参数见下表：

模数 °C	m1—m2.5	m3—m5	m6—m9	m10—m14	m16—m24
沾火加热温度	860—870	860—870	860—870	850—860	850—860
等温温度	160—170	170—180	180—190	190—200	200—210

加热时间可参考下列数据：在有预热的条件下，电炉加热按 1—1.2 分/毫米，盐炉加热按 0.25—0.3 分/毫米；在没有预热的条件下，电炉加热按 1.2—1.5 分/毫米，盐炉按 0.3—0.4 分/毫米。

9SiCr 经 875°C 加热后的奥氏体等温转变曲线（图 4—3—3）表明它比碳素工具钢沾透性大。从试验可知，9SiCr 在沾火加热后用油和硝盐、碱均可沾硬，见表 4—3—1。

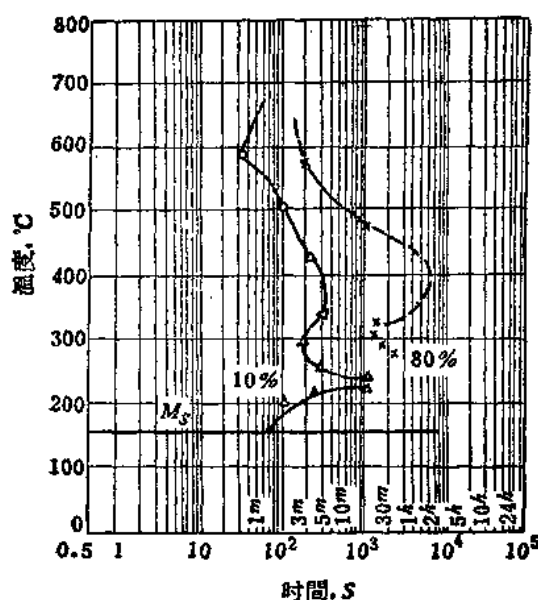


图4—3—3 9SiCr 在 875°C 加热的“C”曲线

表4—3—1 9SiCr 在不同淬火冷却下的硬度

淬火温度	冷却			硬度 HRC
	介质	介质温度	延续	
860—880°C	油	20—40°C	冷至油温空冷	62—65
	油	80—140°C	冷至150—200°C空冷	62—65
	硝盐或碱	150—200°C	3—5分后空冷	61—63
	硝盐或碱	150—200°C	30—60分后空冷	59—62

但是，在生产上为了减少板牙的变形，提高机械性能，在淬火冷却时常采用分级、等温淬火来保证。当 9SiCr 在 870°C 加热时，其 $M_s = 170^\circ\text{C}$ ，若此时在 M_s 以上等温（停留 30—60 分），则发生贝氏体转变。由于下贝氏体的韧性比马氏体略高，比容也比马氏体小，有高的强度，满意的硬度（ $HRC > 60$ ），因此，在 M_s 点以上等温可减少变形，同时又可提高机械性能。在 M_s 点以下等温，亦减少内应力，同时由于此时生成的马氏体已有回火趋向，所以比起直接油淬也有提高机械性能的作用。试验表明：适当地延长等温停留时间，可使钢具有更高的强度和塑性（如图 4—3—4 所示）。这是因为长时间停留的等温淬火的内应力小的缘故。但是过长的等温停留、反而使钢的强度和塑性有所下降（与最佳的等温停留相比），这大概是由于在过长的等温停留过程中，析出的碳化物发生了不均匀的团聚。可是即

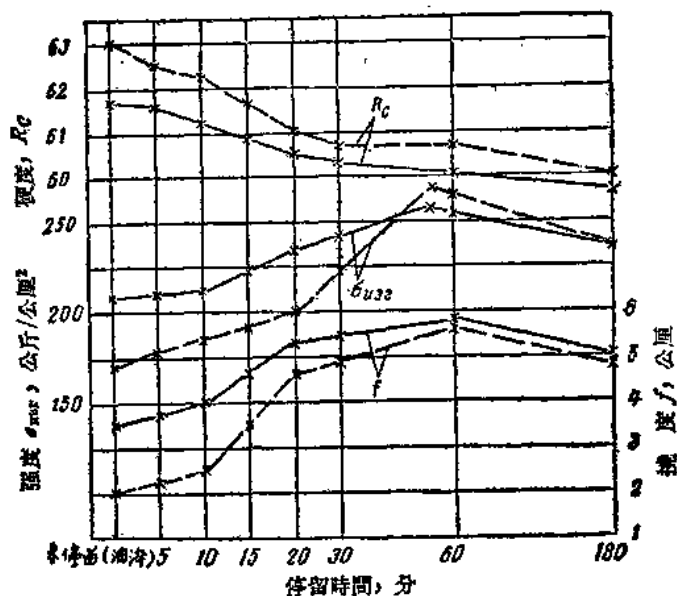


图4—3—4 9SiCr 870°C 沾火的机械性质与 160°C 等温停留时间关系 (已在 180°C 回火后)

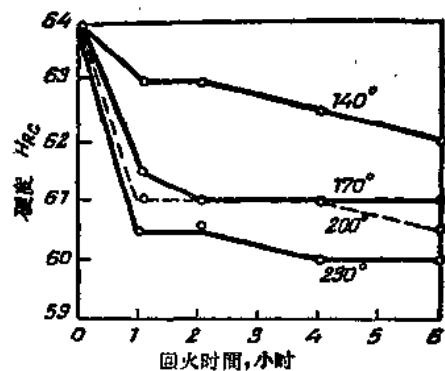


图4—3—5 9SiCr 的硬度变化与回火温度和回火时间的关系

使在这种情况下，等温沾火钢的机械性能仍然比油沾及低温回火的高。因此，在实际生产中，一般均采用等温沾火工艺。对于圆板牙具体等温温度可见表 4—3—1。

9SiCr 圆板牙的回火：

9SiCr 钢等温沾火后需经低温回火，这主要是为了使马氏体分解、消除部分内应力改善刃具的机械性能。

9SiCr 经沾火后在不同回火温度与回火时间下的机械性能见图 4—3—5。从图 4—3—5 可以看出：低温回火可以得到较高的机械性能 (HRC)，因此，9SiCr 钢的回火温度采用 150—160°C。

9SiCr 沾火后得到的组织随采用工艺不同而有些变化，不过除了贝氏体或马氏体外，总是有一部分残留奥氏体及碳化物。其金相组织见图 4—3—6。

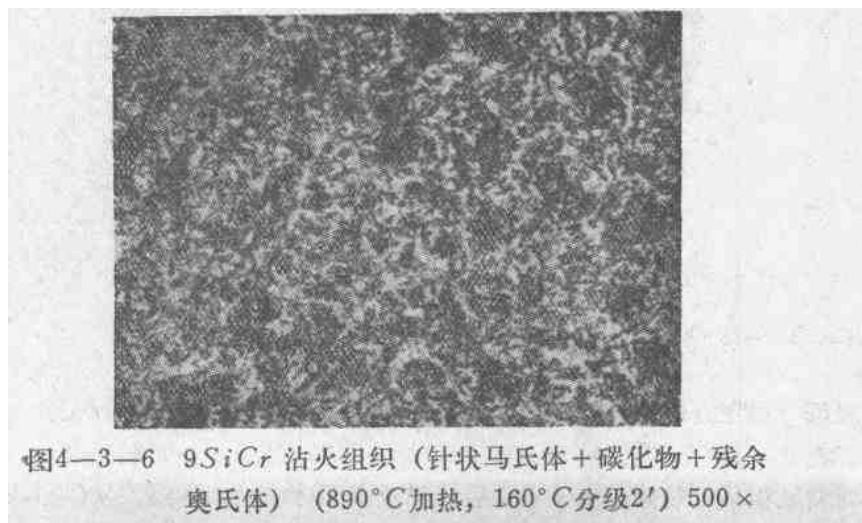


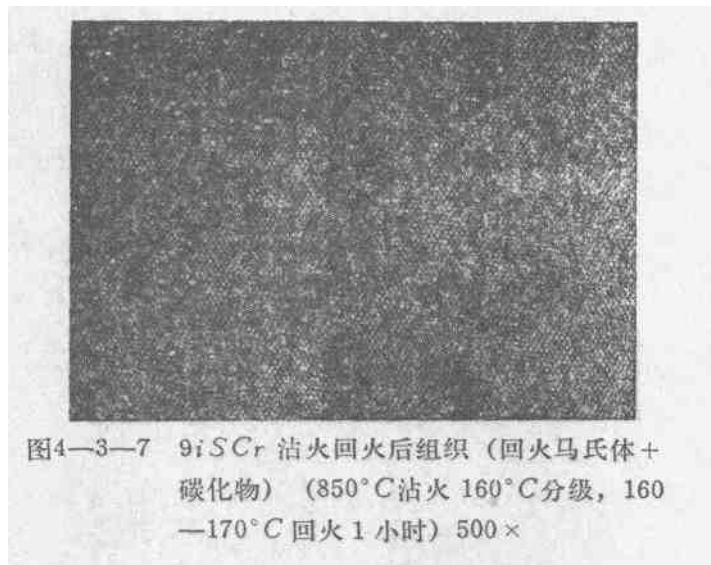
图4—3—6 9SiCr 沾火组织 (针状马氏体+碳化物+残余奥氏体) (890°C 加热, 160°C 分级 2') 500×

9SiCr 在回火时的组织转变和碳素工具钢一样（见《钢的热处理基础》）。不过由于硅钼的加入提高了其抗回火的稳定性。在 125—200°C 加热时，马氏体开始分解，析出细小碳化物质点，并消除大部分内应力。这时机械性能的提高幅度不如碳钢大，因为内应力比碳钢小。在 200—300°C 已析出的细小碳化物开始不均匀团聚（这过程对于 9SiCr 是在 210—275°C），使机械性能下降。在 300°C 以上时，碳化物质点团聚速度增加，碳化物的大小和分布渐趋均匀，从而使塑性提高，硬度和强度继续下降。

在生产上为了对合金工具钢获得不同硬度所选用的回火温度可见下表。

钢 号	HRC>60	HRC55—60	HRC50—55	HRC45—50	HRC40—45	HRC35—40
9SiCr	150—170°C	240—320°C	320—400°C	400—460°C	460—520°C	520—580°C
CrWMn	150—170°C	220—300°C	300—380°C	380—450°C	450—520°C	520—580°C
CrMn, GCr15	150—170°C	220—300°C	300—360°C	360—420°C	420—500°C	500—560°C

对于 9SiCr 制作的刀具，若要求有较高的机械性能和高硬度相配合，则可选 180—190°C 回火。对经等温淬火而具有较少残余内应力的刀具，为了保持高硬度，可选 150—160°C 回火。9SiCr 经低温回火后的金相组织为：回火马氏体和碳化物。回火充分的马氏体，经腐蚀后，基体均匀受腐蚀，看不到马氏体针叶的轮廓，呈黑色。见图 4—3—7。



3—3 合金工具钢热处理质量分析

一、脱碳 由于合金钢导热性差，热处理加热时间长，同时由于加入合金元素提高了临界点，为了充分使合金元素固溶，需要提高淬火温度，延长加热时间，因此，对合金工具钢在热处理时常发生氧化脱碳。由于表面脱碳导致表面形成铁素体或铁素体和珠光体的亚共析