

工 具 钢 金 相 图 谱

第一机械工业部上海材料研究所 编
上 海 工 具 厂



机 械 工 业 出 版 社

本图谱比较系统地介绍了碳素工具钢、合金工具钢（刃具钢、量具钢、模具钢）、高速钢及硬质合金的各种典型金相组织、常见缺陷及参考标准图片四六六幅，并扼要地介绍了各种工具钢的成分、性能、用途、缺陷和技术要求等。

本图谱可供从事金相及热处理的工人及技术人员参考，也可供大专院校教学参考。

工 具 钢 金 相 图 谱

第一机械工业部上海材料研究所 编
上 海 工 具 厂

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ • 印张 15 • 插页 2 • 字数 351 千字

1979 年 10 月北京第一版 • 1979 年 10 月北京第一次印刷

印数 00,001—24,000 • 定价 4.65 元

*

统一书号：15033 • 4252

前 言

工具钢由于生产和使用上的特点，对其质量的要求较高。金相检查是衡量工具钢质量的一种重要方法，而对显微组织的辨认与评定又是进行金相检查的先决条件。所以，编制一本工具钢的金相图谱，比较全面和系统地介绍我国工具钢的金相组织特征和热处理工艺之间的关系，以供生产检验的参考，是很需要的。

本图谱的编制原则是从生产实践出发，选编典型图片。在编制之前曾较广泛地征集有关单位的意见；在编制过程中，以专业性工厂作为试验基地，吸取了生产中的经验和工艺数据。

本图谱分为四个部分：碳素工具钢、合金工具钢（刃具钢、量具钢、模具钢）、高速工具钢及硬质合金。在每一部分中，选取一些常见的钢种或合金作为代表，首先用文字扼要地介绍钢或合金的成分、性能、用途、组织、缺陷、技术要求和检验方法等，其次为金相图片，包括供应状态和热处理状态下的正常组织和常见的缺陷组织。对每一图片也有简单的文字说明。为了便于生产中参考，对某些组织（如珠光体、马氏体等）还分别列出了形态或分布参考图。

本图谱曾于1967年内部发行，供有关单位试用参考及提供意见，这次为了公开出版，又征求了意见，作了一些修订。

本图谱由朱振琳、方成水、李炯辉、舒文芬、毛照樵、李晋、黄燕撰稿。张月英、薛纫蓉、陈梅棠、吴信孚等同志参加了部分工作。全书经桂立丰、蔡习傅、王长福审阅。

对本图谱中的缺点和错误，欢迎读者批评指正。

本图谱承上海第五钢铁厂、上海华通开关厂、上海微型轴承厂、上海电表厂等单位大力协助，特此表示感谢。对于其他许多提供资料和意见的单位及有关同志一并表示谢意。

第一机械工业部上海材料研究所
上 海 工 具 厂

目 录

第一部分 碳素工具钢

碳素工具钢简介	2
一、牌号及成分	2
二、性能及用途	3
三、组织及缺陷	3
四、技术要求	5
碳素工具钢金相图片	8
珠光体形态参考图	8
网状碳化物分布参考图	12
马氏体针叶长度参考图	14
屈氏体含量参考图	18
T 7、T 12 钢热轧组织及退火组织	20
T 7、T 10 钢淬火组织及淬火-回火组织	22
T 10、T 11Cu 钢淬火组织及淬火-回火组织	24
T 12A 钢淬火组织及淬火-回火组织	26
T 12A 钢的缺陷组织	28
T 12A 钢的缺陷组织——石墨碳	30
T 12A 钢的缺陷组织——脱碳	32

第二部分 合金工具钢

I. 刃具钢	36
合金刃具钢简介	36
一、牌号及成分	36
二、性能及用途	36
三、组织及缺陷	37
四、技术要求	38
合金刃具钢金相图片	40
珠光体形态参考图	40
网状碳化物分布参考图	42
马氏体针叶长度参考图	44
9SiCr 钢退火组织及淬火组织	46
9SiCr 钢淬火组织及淬火-回火组织	48
CrWMn 钢退火组织、淬火组织及淬火-回火组织	50
9CrWMn、CrW5 钢退火组织、淬火组织及淬火-回火组织	52
9SiCr 钢的缺陷组织	54
CrWMn 钢的缺陷组织	56
II. 模具钢	58

合金模具钢简介	58
一、牌号及成分	58
二、性能及用途	58
三、组织及缺陷	60
四、技术要求	62
合金模具钢金相图片	66
9Mn2V 钢淬火组织	66
9Mn2V 钢淬火组织、淬火-回火组织及缺陷组织	68
Cr12 型钢碳化物不均匀性参考图	70
Cr12 钢淬火组织	74
Cr12 钢淬火组织及缺陷组织	76
Cr12 钢不同温度的回火组织	78
Cr12 钢淬火-回火组织及缺陷组织	80
Cr12MoV 钢退火组织及淬火组织	82
Cr12MoV 钢淬火组织、淬火-回火组织及缺陷组织	84
Cr6WV 钢碳化物不均匀性参考图	86
Cr6WV 钢退火组织、淬火组织及淬火-回火组织	90
Cr6WV 钢淬火组织及缺陷组织	92
Cr6WV 钢淬火-回火组织	94
5CrMnMo 钢淬火组织	96
5CrMnMo 钢淬火组织及不同温度的回火组织	98
3Cr2W8V 钢退火组织及淬火组织	100
3Cr2W8V 钢淬火组织	102
3Cr2W8V 钢不同温度的回火组织	104
模具钢化学热处理组织	106
II. 量具钢	110
合金量具钢简介	110
一、牌号、成分及用途	110
二、性能及要求	110
三、组织及缺陷	111
四、技术要求	113
合金量具钢金相图片	118
GCr15 钢珠光体形态参考图	118
GCr15 钢网状碳化物分布参考图	120
GCr15 钢氧化物夹杂分布参考图	122
GCr15 钢硫化物夹杂分布参考图	124
GCr15 钢球状不变形夹杂物分布参考图	126
GCr15 钢带状组织分布参考图	128
GCr15 钢碳化物液析分布参考图	132
GCr15 钢淬火马氏体形态参考图	136
GCr15 钢加热和冷却不足时形成的组织参考图	140
GCr15 钢淬火组织	142

GCr15 钢淬火组织、淬火-回火组织及缺陷组织	144
GCr15 钢缺陷组织	146
CrMn 钢淬火-回火组织及缺陷组织	148
Cr2 钢淬火组织及淬火-回火组织	150
4Cr13 钢退火组织及淬火-回火组织	152
9Cr18 钢退火组织及淬火组织	154
9Cr18 钢淬火组织及缺陷组织	156

第三部分 高速工具钢

高速工具钢简介	160
一、牌号及成分	160
二、性能及用途	160
三、组织及缺陷	162
四、技术要求	163
高速工具钢金相图片	168
高速钢碳化物不均匀性参考图	168
高速钢碳化物不均匀性(带状)参考图	172
高速钢锻件碳化物不均匀性参考图	176
高速钢奥氏体晶粒度参考图	178
淬火过热参考图	180
W18Cr4V 钢退火组织、淬火组织及淬火-回火组织	182
W18Cr4V 钢淬火组织及淬火-回火组织	184
W18Cr4V-45 钢对焊组织	186
W18Cr4V 钢化学热处理组织	192
W18Cr4V 钢的缺陷组织	194
W18Cr4V 钢铸造刀具组织	198
W9Cr4V2 钢退火组织、淬火组织及淬火-回火组织	204
W12Cr4V4Mo 钢退火组织、淬火组织及淬火-回火组织	206
W6Mo5Cr4V2、W6Mo5Cr4V2Co8 钢退火组织、淬火组织及淬火-回火组织	208

第四部分 硬质合金

硬质合金简介	212
一、牌号及成分	212
二、性能及用途	212
三、组织及缺陷	213
四、技术要求	214
五、金相试样的制备和检验方法	215
硬质合金金相图片	218
孔隙含量参考图	218
石墨含量参考图	222
污垢含量参考图	224
硬质合金的显微组织	226
硬质合金的缺陷组织	228

第一部分 碳素工具钢

碳素工具钢简介

碳素工具钢依其杂质含量的不同，可分为优质钢（如 T8、T12 等）和高级优质钢（如 T8A、T12A）两大类。高级优质碳素钢的 S、P 含量较优质钢为低，Mn、Si 含量范围也较狭窄，所以钢材具有较好的性能。

碳素工具钢经热处理后具有高的硬度和耐磨性，冶炼方法较合金钢简单，价格便宜，广泛用于制造各种工具及零件。碳素工具钢的主要缺点是淬透性较小，因而其使用范围受到一定限制。

一、牌 号 及 成 分

碳素工具钢的牌号及化学成分如表 1-1 所列。

表 1-1 碳素工具钢的牌号及化学成分 (YB5-59)

钢 号		化 学 成 分 (%)				
牌 号	代 号	C	Mn	Si	S	P
碳 7	T7	0.65~0.74	0.20~0.40	0.15~0.35	≤0.030	≤0.035
碳 8	T8	0.75~0.84	0.20~0.40	0.15~0.35	≤0.030	≤0.035
碳 8 锰	T8Mn	0.80~0.90	0.35~0.60	0.15~0.35	≤0.030	≤0.035
碳 9	T9	0.85~0.94	0.15~0.35	0.15~0.35	≤0.030	≤0.035
碳 10	T10	0.95~1.04	0.15~0.35	0.15~0.35	≤0.030	≤0.035
碳 11	T11	1.05~1.14	0.15~0.35	0.15~0.35	≤0.030	≤0.035
碳 12	T12	1.15~1.24	0.15~0.35	0.15~0.35	≤0.030	≤0.035
碳 13	T13	1.25~1.35	0.15~0.35	0.15~0.35	≤0.030	≤0.035
碳 7 高	T7A	0.65~0.74	0.15~0.30	0.15~0.30	≤0.020	≤0.030
碳 8 高	T8A	0.75~0.84	0.15~0.30	0.15~0.30	≤0.020	≤0.030
碳 8 锰高	T8MnA	0.80~0.90	0.35~0.60	0.15~0.30	≤0.020	≤0.030
碳 9 高	T9A	0.85~0.94	0.15~0.30	0.15~0.30	≤0.020	≤0.030
碳 10 高	T10A	0.95~1.04	0.15~0.30	0.15~0.30	≤0.020	≤0.030
碳 11 高	T11A	1.05~1.14	0.15~0.30	0.15~0.30	≤0.020	≤0.030
碳 12 高	T12A	1.15~1.24	0.15~0.30	0.15~0.30	≤0.020	≤0.030
碳 13 高	T13A	1.25~1.35	0.15~0.30	0.15~0.30	≤0.020	≤0.030

二、性能及用途

1. 性能

碳素工具钢由于含碳量高, 具有较多的碳化物, 经热处理后具有高的硬度 (HRC 60~65), 制成的刀具具有较好的耐磨性和一定的切削能力。但与合金工具钢相比, 碳素工具钢的热硬性差, 当刀具的切削温度高于 200~250℃ 时, 其硬度及耐磨性即急剧下降, 这是它的主要缺点。此外, 热处理时变形较大以及淬透性较小等也都是碳素工具钢不足的地方。

2. 用途

广泛地用于制造各种轻型切削工具, 如操作时刀刃受热程度较低的手用刀具、低速及小进刀量之机用工具等 (表 1-2)。此外也用于制造部分量具及模具。

表1-2 碳素工具钢的用途

钢 号	用 途
T7、T7A	制造能承受震动与冲击及需要在适当硬度下具有较大韧性的工具, 如凿子、简单胶木模、钢造用模、硬印、较钝之外科医术用具、各种锤子、木工工具等
T8MnA	制造锉刀、手锯、锯条等
T8、T8A	制造承受震动及需要足够韧性下具有较高硬度的各种工具, 如简单模子、冲头、剪切金属用剪刀或刀子、硬印、木工工具、钻凿工具、锋利的刀具等
T9、T9A	制造具有一定硬度及韧性之冲模、冲头、木工工具等
T10、T10A	制造不受突然震动及在锋利刃口上有少许韧性之工具, 如刨刀、拉丝模、冷冲模、丝锥、板牙、手锯锯条、刀子等
T12、T12A	制造不受震动及需要极高硬度的各种工具, 如钻头、丝锥、锋利的外科刀具、锉刀、刮刀等
T13、T13A	制造不受震动及需要特别高硬度的各种工具, 如切削工具、剃刀、锉刀、雕刻用工具等

三、组织及缺陷

1. 退火状态的组织及缺陷

退火状态的正常组织为分布均匀的球状珠光体。当钢被加热至稍高于 A_{c1} 温度并缓慢冷却时, 奥氏体发生分解而形成球状组织。所形成组织的弥散程度随钢的加热温度、停留时间和冷却速度而不同。较慢的冷却或在较高温度下的等温停留, 可获得较粗大的球状珠光体。

退火过程中所造成的缺陷, 主要有以下几种:

(1) 片状和点状珠光体

片状和点状珠光体的产生, 主要是由于退火不良。当退火加热温度较低或冷却速度较大, 则形成点状珠光体。如退火加热温度过高, 则由于溶解了大部分碳化物, 减少了作为结晶核心的质点数量, 所以在冷却过程中形成片状组织, 此时硬度较高, 可切削性较差, 淬火过热

敏感性大，工具热处理后的变形量也大。

(2) 网状碳化物

由于热加工终止温度过高，冷却速度较小，或退火温度过高，冷却过于缓慢，则会引起钢的晶粒长大。在冷却过程中，一部分在高温加热时溶入奥氏体中的二次碳化物将沿晶界析出而形成网状碳化物。网状碳化物降低钢的机械性能，特别是冲击韧性的显著降低，使刀具在使用过程中易造成崩刃现象。

(3) 石墨碳

石墨碳系指在钢的显微组织中所出现的灰黑色点状或片状的石墨夹杂物，在钢的断口上表现为黑色或深灰色。石墨碳也可用化学分析方法作定性或定量的测定。

在下述情况下常会引起石墨碳的析出：热压力加工终止于高温（约1000℃），而随后又进行缓慢冷却，在750~800℃下进行长时间的停留；或在700~720℃间进行长时间的退火。此外，如退火工艺不正确、多次退修退火等也会产生石墨碳。

石墨碳的存在对钢的基体起着分割的作用，降低了钢的强度，增加了钢的脆性。石墨碳出现在切削刃处会引起工具刃口的剥落，降低工具的耐用度。

(4) 脱碳

钢在退火过程中，由于加热温度过高和保温时间过长，会引起表面的脱碳。脱碳层之最严重部分为铁素体组织；其次是铁素体加片状珠光体、片状珠光体加球状珠光体。当脱碳程度不很严重时，表面可能不出现单纯的铁素体组织。

2. 淬火和回火状态的组织和缺陷

碳素工具钢由于淬透性较差，一般应在水中淬火才能保证工具获得高的硬度和一定的淬透深度。但为了减少工具淬火时的变形，也可采用先水后油的双液淬火，或用低温熔盐（150~200℃）淬火。经淬火后的正常组织为针状马氏体、碳化物和残留奥氏体。截面较大的工具，虽在水中冷却，但只有表面层获得马氏体，而心部则为马氏体-屈氏体，有时为100%屈氏体。如果加热保温时间太短，有时还可能存在未转变的原始珠光体组织。

碳素工具钢在淬火和回火后所产生的缺陷主要有以下几方面：

(1) 过热

过热系由于淬火温度过高或保温时间过长，而导致钢的组织粗大，工厂中判定淬火过热的方法通常是观察马氏体针叶的长度。针叶越长则过热情况越严重。一般钢的过热程度也可以从晶粒度的大小来衡量，但由于晶粒度的测定须经特殊处理，所以不适合于生产中应用。过热的工具，其物理性质及机械性能均较差。

(2) 裂纹

裂纹大都发生在用水淬火的工具，出现裂纹的原因主要是淬火温度选择不当、加热或冷却速度过大、淬火时冷却不均匀等。

(3) 回火不足

由于回火（150~180℃）加热时间不足，产生回火不足现象，其特征是磨面不易侵蚀，在显微组织中存在有未回火的针状马氏体。

正常回火后的金相组织必须是回火马氏体（黑色，看不出针状）和碳化物。

(4) 脱碳

淬火加热时，由于周围氧化气氛的作用，或在脱氧不良的熔盐中进行加热，使钢的表面

含碳量降低。生产中所发现的脱碳现象一般均是部分脱碳；它的金相特征是表层过剩碳化物的数量减少。如果在刃磨时工具的切削面不经磨削，致脱碳层未被去除，则工具的切削性能降低，容易损坏。

四、技术要求

碳素工具钢原材料的技术要求按冶标 YB 5-59 规定，或按用户与钢厂的特殊协议。热处理及成品的技术要求，则可根据各工厂对工具的要求而自行制订。

1. 原材料的技术要求

对供应状态的钢材，一般检验的项目主要有下列数项：

(1) 化学成分：应符合表 1-1 的规定。化学成分是正确制订钢材的热处理工艺及保证热处理后性能的重要条件。应用火花鉴别可以迅速地区分钢号，防止钢种混错，弥补化学分析取样数量较少的不足。

(2) 表面质量：包括对钢材表面缺陷、尺寸、弯曲度等的规定。

(3) 脱碳层：允许的脱碳层按 YB 5-59 规定。脱碳层在机械加工过程中必须去除。高碳钢的脱碳层深度可在退火状态下的金相试样上直接进行测定。热轧、锻造钢的一边脱碳层的深度，按实际尺寸计算不得超过表 1-3 的规定。

表1-3 原材料脱碳层允许的深度 (YB5-59)

钢 材 尺 寸 (毫米)	脱 碳 层 深 度 (毫米)
6~10	0.35
>10~16	0.45
>16~25	0.55
>25~40	0.70
>40~60	0.92
>60	1.5%

(4) 硬度

(甲) 退火状态硬度：退火状态硬度（见表 1-4）是保证材料能顺利进行切削加工的条件。若材料硬度高，切削加工就发生困难。

表1-4 退火状态的碳素工具钢硬度 (YB5-59)

钢 号	布 氏 硬 度 (HB) 不 大 于	压痕直径(毫米)不小于 (钢球直径10毫米，负荷3000公斤)
T7、T7A	187	4.4
T8、T8A	187	4.4
T8Mn	187	4.4
T9、T9A	192	4.35
T10、T10A	197	4.3
T11、T11A	207	4.2
T12、T12A	207	4.2
T13、T13A	217	4.1

(乙) 淬火后硬度：淬火后硬度系指试样按规定温度淬火后应达到的硬度。淬火温度及淬火后硬度见表 1-5。

表1-5 碳素工具钢淬火温度及淬火后硬度 (YB5-59)

钢 号	淬 火 温 度 ^① (°C)	硬度(HRC)不小于
T7、T7A	800~820, 水	62
T8、T8A	780~800, 水	62
T8Mn	780~800, 水	62
T9、T9A	760~780, 水	62
T10、T10A	760~780, 水	62
T11、T11A	760~780, 水	62
T12、T12A	760~780, 水	62
T13、T13A	760~780, 水	62

① 淬火保温时间：盐浴炉18~30秒/毫米，箱式炉50~80秒/毫米。

(5) 金相组织

(甲) 珠光体级别：退火状态的正常组织应为球状珠光体，但如由于退火不良，往往会出现片状珠光体，或球化不完全(片状珠光体+球状珠光体)。生产实践及试验结果表明，片状珠光体会降低工具切削加工后的光洁度，可切削性较差，热处理过程中的过热敏感性较大，因而造成组织粗大以及变形量增加。所以要求供应具有球状珠光体的钢材。按冶标规定级别如表 1-6 所列。

表1-6 珠光体级别的允许范围 (YB5-59)

钢 号	钢 材 尺 寸 ^① (直径、边长、厚度)	珠 光 体 允 许 级 别
T7(A)至T9(A)	≤60毫米	2~9级
T10(A)至T13(A)	≤60毫米	3~8级

① 大于60毫米根据协议规定。

(乙) 网状碳化物：高碳钢具有较多的过剩碳化物。在正常状态下，碳化物应呈点状均匀分布。如碳化物呈线段状、构成全封闭或不封闭的网状，则增加钢的脆性。

按 (YB) 5-59 规定：对 ≤60 毫米圆钢材，网状碳化物 ≤3 级为合格。

对 >60~100 毫米圆钢材，网状碳化物 ≤4 级为合格。

(丙) 淬透性：淬透性系指钢材的淬透能力，用淬透深度来衡量。其具体数值可根据用户与钢厂的协议确定。测定时根据 (GB) 227-63 “碳素工具钢淬透性测定法” 进行。

2. 热处理后的技术要求

碳素工具钢热处理后的技术要求主要是硬度及金相组织。其具体要求可根据工具的性质和用途而定。如用于制造切削刀具，硬度要求较高(一般可至 HRC 61~64)；如用于制造模子，硬度可略低(如 HRC 50~60 之间)。金相组织方面，要求热处理后具有较细小的马氏体；对重要和要求严格的工具，马氏体针叶长度可按照参考图 ≤2 级；一般产品可在 3~4 级。

除了上述内容以外，如回火的充分程度、碳化物的溶解程度等都可作为参考的技术要求。

碳素工具钢金相图片

碳素工具钢金相图片

珠光体形态参考图

碳素工具钢经球化退火时，由于热处理工艺的差异，出现各种不同形态的珠光体组织。珠光体形态对材料的硬度、加工性能、热处理变形量等均有一定的影响。如片状珠光体的硬度较高，机械加工后表面光洁度差，热处理变形大等等。所以对退火状态的珠光体形态有一定的要求。

珠光体形态的金相检查试样，取钢材的横截面试样进行；侵蚀剂为4%苦味酸酒精（或4%硝酸酒精）溶液；放大倍数为500×；选择试样上最差视场与参考图片进行比较。

珠光体形态参考图片的特征是：1~3级以细片状珠光体含量为主要评定依据；4~6级以小球状或球状珠光体含量为主要评定依据；7~10级以粗片状珠光体含量为主要评定依据。

图 号	名 称	处 理	组 织 及 说 明
1-1	珠光体形态参考图 1 级	退 火	细片状珠光体①约占60%以上，余为点状②及小球状珠光体③
1-2	珠光体形态参考图 2 级	退 火	细片状珠光体占30~40%，余为点状及小球状珠光体
1-3	珠光体形态参考图 3 级	退 火	细片状珠光体占10%左右，余为小球状及球状珠光体④
1-4	珠光体形态参考图 4 级	退 火	小球状珠光体约占50%，余为球状珠光体
1-5	珠光体形态参考图 5 级	退 火	球状珠光体约占70%，余为小球状珠光体
1-6	珠光体形态参考图 6 级	退 火	球状珠光体约占90%，余为小球状珠光体



图1-1 1级

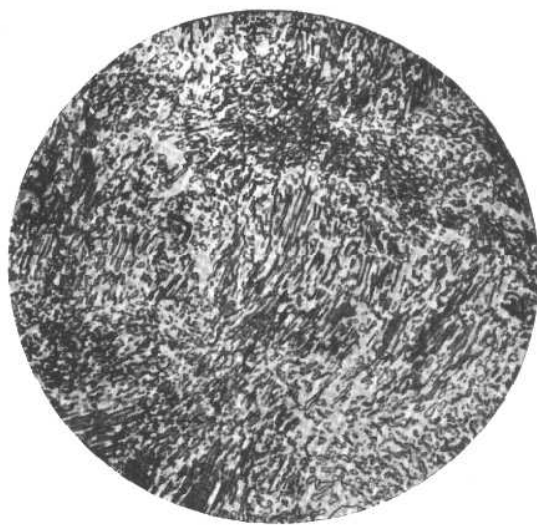


图1-2 2级

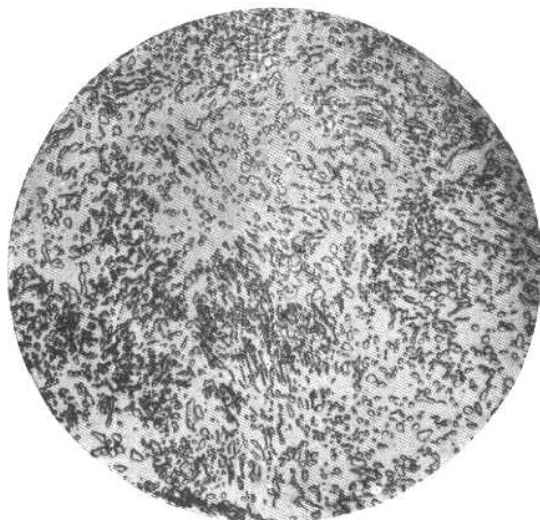


图1-3 3级

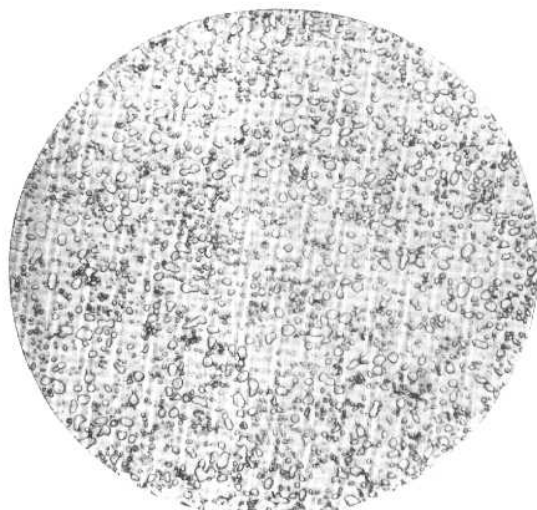


图1-4 4级

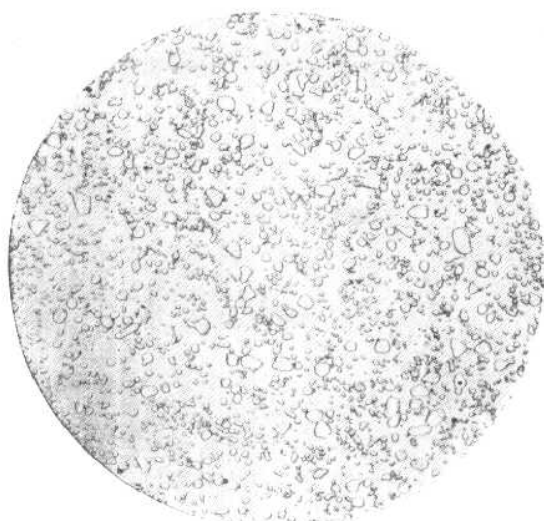


图1-5 5级

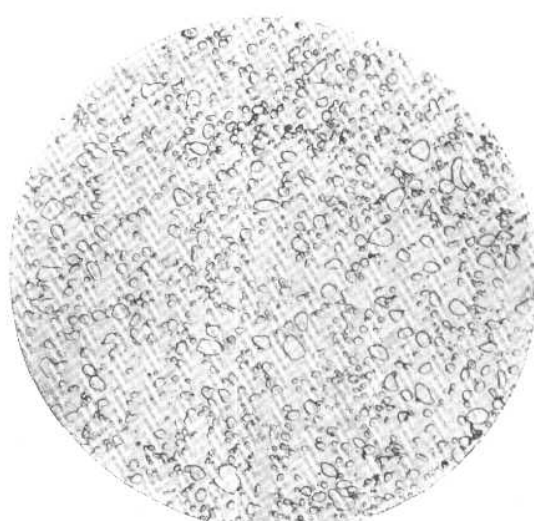


图1-6 6级

4%苦味酸酒精溶液侵蚀 500×

图 号	名 称	处 理	组 织 及 说 明
1-7	珠光体形态参 考图 7 级	退 火	粗片状珠光体⑤约占10%，余为球状及小 球状珠光体
1-8	珠光体形态参 考图 8 级	退 火	粗片状珠光体约占 30%，余为球状及小球 状珠光体
1-9	珠光体形态参 考图 9 级	退 火	粗片状珠光体约占 60%，余为球状及小球 状珠光体
1-10	珠光体形态参 考图10级	退 火	粗片状珠光体约占90%，余为球状珠光体

① 细片状珠光体：指在500×放大下（下同），片间距离基本上分辨不清者。

② 点状珠光体：珠光体中的碳化物颗粒全部呈黑色，无明显的边圈。

③ 小球状珠光体：珠光体中的碳化物颗粒的直径在0.5~1毫米之间者。

④ 球状珠光体：珠光体中的碳化物颗粒的直径在1毫米以上者。

⑤ 粗片状珠光体：片间距离清晰可辨者。

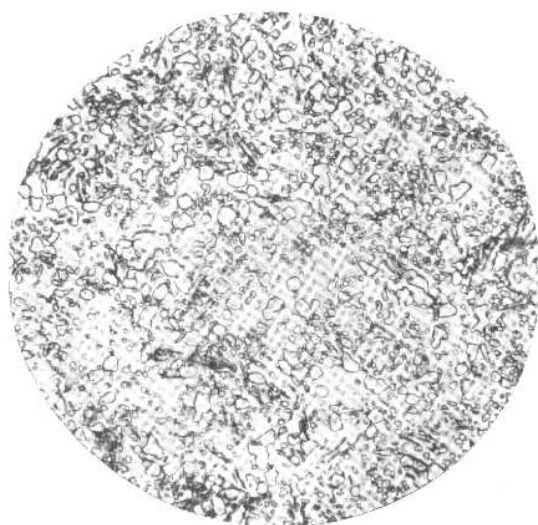


图1-7 7级

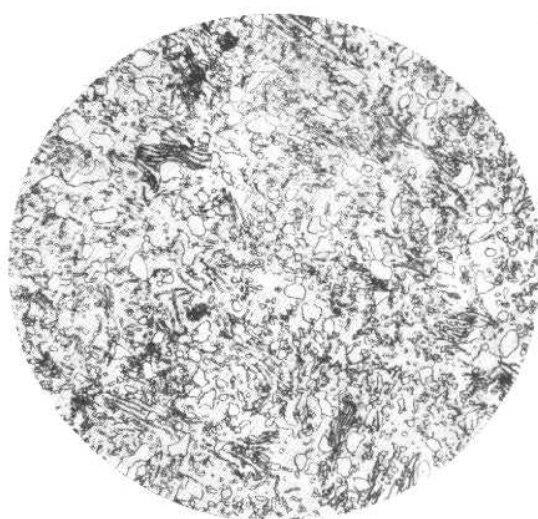


图1-8 8级

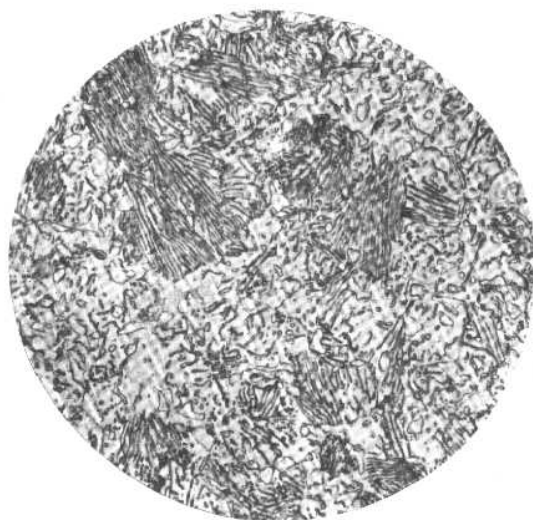


图1-9 9级

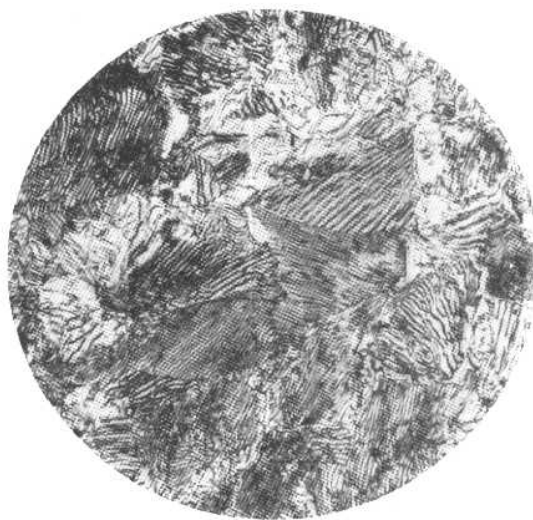


图1-10 10级

4%苦味酸酒精溶液侵蚀 500×