

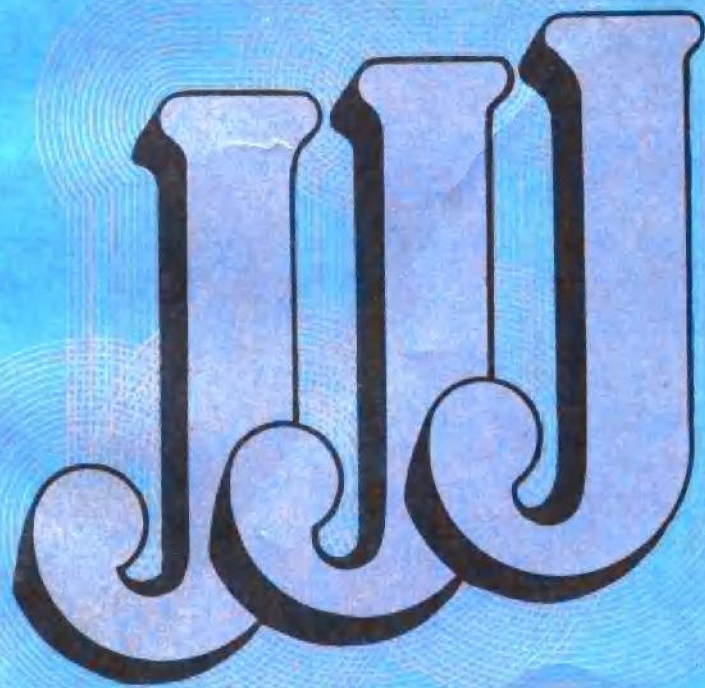
国家机械工业委员会统编

金相检验技术

(中级物理金相实验工适用)

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

TG115.21

24

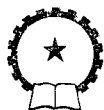
3

机械工人技术理论培训教材

金相检验技术

(中级物理金相实验工适用)

国家机械工业委员会统编



机械工业出版社

B 534433

本书共六章，按实验程序先后编排。内容有：宏观断口及硫印、磷印检验、金相显微镜原理及使用与维修、制样技术与组织显示、定量金相分析、缺陷分析及温度的测量等。本书的特点是理论结合实际，既有实验操作技巧，又有基本理论与分析方法。

本书由国家机械工业委员会上海材料研究所毛照樵、龚应时、刘长春、陈善珠、应锡铸、上海交通大学朱钰如等编写。由国家机械工业委员会上海材料研究所舒文芬、上海汽车拖拉机公司研究所施友方、上海重型模锻厂张德镇审稿。

金相检验技术

(中级物理金相实验工适用)

国家机械工业委员会统编

*

责任编辑：程淑华 版式设计：张伟行
封面设计：林胜利 方芬 责任校对：熊天荣

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

*

开本 787×1092¹/₃₂·印张 9¹/₂·字数 210 千字
1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷
印数 00,001—13,000·定价：3.80 元

*

ISBN 7-111-01193-7/TG·303

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲（试行）》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准（通用部分）》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》（初、中、高级），于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材148种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力的培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂，长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组
1987年11月

目 录

前言

第一章 宏观断口及硫印、磷印检验	1
第一节 概述	1
第二节 宏观断口试样制备	4
第三节 钢材断口的分类及各种缺陷形态的识别	6
第四节 静载荷下的宏观断口	17
第五节 冲击载荷下的宏观断口	23
第六节 实际构件(或零件)的失效断口	24
第七节 硫印试验	31
第八节 磷印试验	36
复习题	41
第二章 光学金相显微镜原理、构造、使用及维护	42
第一节 光学金相显微镜种类	42
第二节 金相显微镜的光学放大系统	46
第三节 金相显微镜的机械系统	63
第四节 金相显微镜照明系统原理	63
第五节 光学金相显微镜中常用的主要光学附件装置及使用简介	72
第六节 金相显微镜的调试、使用和维护	93
复习题	112
第三章 金相制样及组织显示	113
第一节 概述	113
第二节 金相试样的磨光和抛光	117
第三节 显微组织显示	137

VI

复习题	159
第四章 定量金相在检验中的应用	160
第一节 定量金相的基本概念和方法	160
第二节 多相合金中各相相对量的测定	176
第三节 晶粒度的测定	187
第四节 图象分析仪在定量金相中的应用	204
复习题	210
第五章 缺陷分析	212
第一节 概述	212
第二节 缺陷种类及定义	214
第三节 缺陷分析实例	245
第四节 机械零件的缺陷分析与改进	260
复习题	280
第六章 温度的测量	281
第一节 热电偶及其使用	283
第二节 电阻温度计	290
第三节 光学高温计与辐射高温计	292
复习题	298

第一章 宏观断口及硫印、磷印检验

第一节 概 述

本章叙述两个部分：宏观断口检验及硫印、磷印试验。

一、宏观断口检验

材料或零部件因受某些物理、化学或机械因素的影响而导致破断，破断后所形成的自然表面称为断口。断口研究是以探索上述各种影响因素作用与断口形貌特征之间的对应关系为目的。对于在使用过程中破损的零部件和生产制造过程中由于某种原因而导致破损的工件断口，以及作拉力、冲击等试验破断后的断口，均不再需要进行试样的详细制备程序，稍许清理后就可直接进行观察和检验，找出造成断裂的初步原因。

在古代，人们就利用肉眼来检验金属断裂的自然表面，研究金属断裂特点，寻找断裂源部位以及裂纹的扩展途径等。迄今，这种利用肉眼直接检查断口的方法已日臻完善，并积累了许多丰富的经验。并以此来判断被检验材料的冶金和热加工质量问题。因为这种方法简便直观，不需要复杂的检验设备，所以愈来愈多地被控制质量的检验人员所采用。

随着科学技术的不断发展，鉴于宏观断口分析的分辨能力比较低，对于断口的微细部分不能观察清楚，因此就发展了透射电镜和扫描电镜的断口研究方法，从而可以更深入地研究断裂裂纹的发生和扩展，这就是断口的微观分析方法。

在许多情况下，断口检验还与其它宏观或微观检验方法

相结合,做到互为补充,使分析的结果更为准确。例如:钢的过热和过烧,在断口上最易被显示;钢中的白点缺陷,可在热酸侵蚀试验的试样横截面上显现出裂纹,在纵向断口上则显示出清晰的白点。图1-1为 $\phi 100\text{mm}$ 的CrWMn钢原材料之横截面经1:1盐酸水溶液热蚀后情况,在横截面上有颇多锯齿长条状分布的裂纹,呈放射状分布,从裂纹的形态初步判断为白点缺陷。图1-2为上述试样纵向断口,从断口上清晰地显示了白点缺陷的真实形貌。

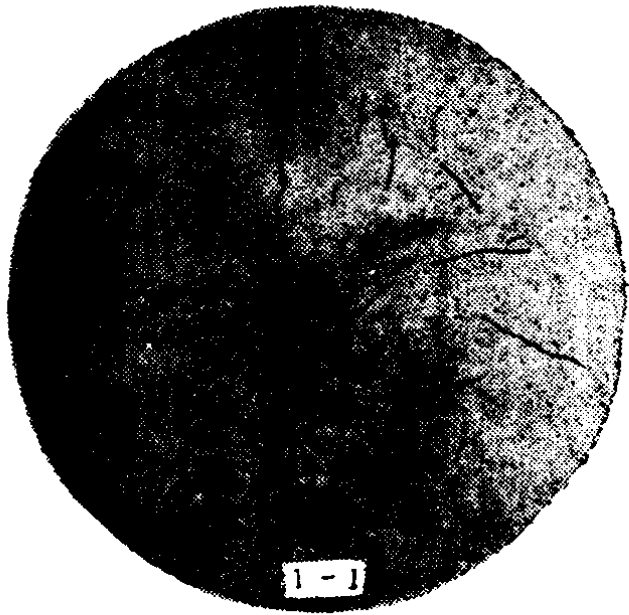


图1-1 CrWMn钢横截面经1:1盐酸水溶液热蚀后显示的白点缺陷特征

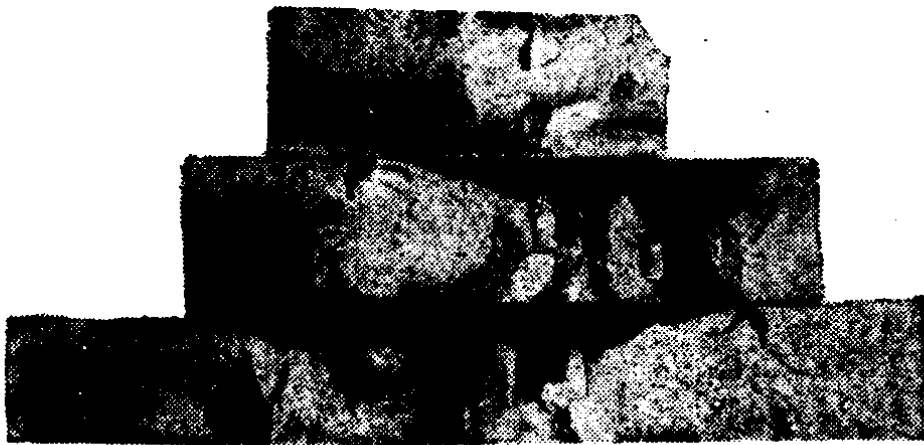


图1-2 图1-1试样的纵向断口显示的白点缺陷形貌

二、硫印、磷印试验

1. 硫印试验 硫是钢铁材料中杂质元素之一。它是由

原材料或燃料带入钢铁中的。在熔炼时一般无法除尽。硫以硫化物的形式存在于钢中，故对钢铁材料性能有较大的影响，其含量一般控制在 0.05% 以下。

硫化物在钢中主要以硫化锰、硫化铁或硫化铁锰非金属夹杂物的形式存在。硫化铁与铁的共晶温度低于钢的热加工温度，因此在热加工时，容易造成热脆。

当钢中锰的含量较高时，硫可以与锰形成熔点较高的（1620°C）硫化锰夹杂。它在液态下大部分可以与钢液分离，上浮成渣被除去，极少量未上浮者则残存于钢中的晶粒内部，因此对钢材性能影响不大。同时由于硫化锰的熔点高于钢的热加工温度，故在热加工时不会产生热脆缺陷，所以钢中含有一定量的锰，可以降低钢的热脆性。此外，铸铁中一般含硫量较高，这不仅有害于铁液的流动性，而且还将增加铸铁件在凝固时的收缩率和出现气孔等。

金相显微镜法可以确定硫化物的类型，分布形态和相对含量；化学分析法可以确定硫在钢铁材料中的平均含量；这两种方法有其一定的局限性。硫印试验是用来检验硫及其它元素在钢中的分布情况，特别是硫在钢中的偏析程度；对改进冶炼，铸造工艺有较大的帮助。硫印试验是检验硫分布的一种可靠方法。

2. 磷印试验 磷也是钢中的有害元素之一。它也是由原材料带入钢中的，在熔炼时，一般无法去尽。钢液中存在磷元素，可以增加其流动性。但钢液在凝固时，易造成磷偏析，它将增加钢的冷脆性，故磷对钢的性能危害极大。

磷元素以固溶、化合物或共晶体等三种形式存在于钢铁材料中。在一般情况下，磷能固溶于铁素体中，增加铁素体的强度；但是磷的固溶量超过一定含量（0.12%）以后，它会

使钢的强度急剧下降，这种现象，称之为冷脆。

磷是一种极易形成偏析的元素，且极难扩散，故磷偏析几乎无法用热处理来改善。当钢中有明显磷偏析时，钢材一经落地即发生断裂，此时只能将该批钢材予以报废。另外，磷还与碳相互排斥，磷含量高的区域，含碳量就低。故它在钢中可形成固溶磷高的铁素体带状偏析——又称为“鬼线”。鉴于磷元素在钢中这些特点，在作化学分析时，不容易发现它有偏析存在。有时钢中含磷量虽在规定范围之内，如普通钢含磷量小于0.045%，优质钢含磷量小于0.040%，高级优质钢的含磷量小于0.035%，但是其钢的冷脆性能表现极为显著，此时可用磷印试验来揭示。显示磷偏析的试验方法有两种，铜离子沉积法和硫代硫酸钠显示法，有关试验方法的详细过程将在后面叙述。

第二节 宏观断口试样制备

本节所叙述的宏观断口是专为检查钢材质量而特意将其打断获得的。这种断口试样的选取部位及加工方法，应遵循相应的技术条件和有关标准。因为钢材中的偏析、非金属夹杂物以及白点等缺陷，在热加工时，均会沿加工变形方向延伸，所以这些缺陷在钢材的纵向断口上易于被显示，故在选取钢材断口检验试样时，应尽可能地选取纵向断口。对于钢材直径或边长大于40mm的钢材应作纵向断口；对于钢材直径（或边长）小于40mm的钢材可作横向断口。

一、纵向断口制备方法

可先切取横向试样，其厚度一般为15~20mm，有时可更厚些，然后用冷切、冷锯法截取；若用热切、热锯或气割时，必须将热影响区（约35~40mm区域）除去。为了折断

试样，一般需要在纵截面上加工一个“V”形槽，槽深为试样厚度的1/3。当折断有困难时，可适当加深刻槽深度。图1-3为直径大于 $\phi 40\text{mm}$ 钢材断口检验试样上刻槽示意图。

二、横向断口制备方法

横向断口试样长度可取为100~140mm，在试样中部的一边或两边刻槽，如图1-4所示。刻槽时应保留断口的截面不小于钢材原截面的50%。

三、制备断口过程中应注意的问题和折断断口用的简易装置

1. 制备断口过程中应注意问题 试样在折断前的状态，以能真实地显示缺陷为准。应当指出，韧性断裂由于断裂前产生塑性变形，会掩盖缺陷的真实情况。因此制备断口时，应该尽量避免断口邻近部分变形，也就是说，应该使试样发生脆

断。所以除了欲检查断口组织等一系列特殊原因以外，一般应将试样淬火硬化后或进行低温冲击，以期达到脆断。

折断试样应一次锤击或压折完成，切忌反复冲压，力求保持材料断裂的真实性。严格地讲，试样上刻槽并不是理想的办法，因为试样将沿刻槽裂断，而刻槽并不一定恰好穿过钢中缺陷，以致放过或漏检缺陷的可能性就很大。较理想的方

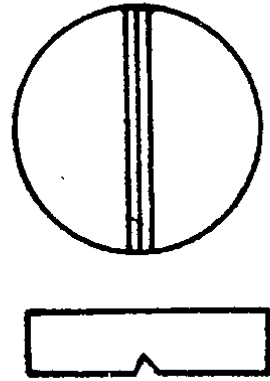


图1-3 直径大于 $\phi 40\text{mm}$ 钢材断口检验试样上刻槽示意图

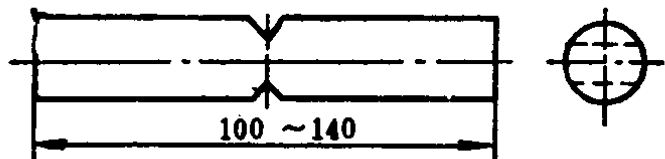


图1-4 直径小于 $\phi 40\text{mm}$ 钢材断口检验试样上刻槽示意图

法是把不刻槽的试样淬火硬化后击断。这样，试样沿最薄弱的区域，也就是沿着有缺陷的区域开裂。

2. 折断断口用的简易装置 图 1-5 为击断试样用的简易装置。其中 1 为圆形或方形钢块，底部车平，上部则制成锥形凹坑。2 为用薄钢板焊成，中心有一圆孔的保护盖。锤击时，先把圆形或方形试样 4 放入凹坑内，盖上圆盖，从盖中心圆孔放入钢冲头 3，用锤猛击冲头，试样即破断。保护盖的作用是防止锤击时碎片飞出伤人。

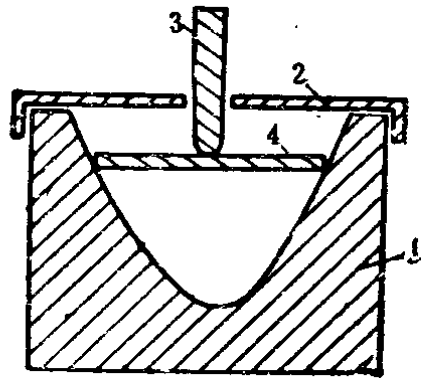


图 1-5 制备断口用的简易装置

第三节 钢材断口的分类及各种缺陷形态的识别

一、热处理状态断口

有时，断口检验是根据钢材种类及检验要求而决定的。在折断前经过不同的热处理工艺，可将检验断口分为退火、淬火以及调质等几种类型。

1. 退火断口 对于轴承钢、工具钢的断口试样通常是在球化退火后的钢材上切取。在退火断口上除能检查钢材中晶粒均匀和细密程度外，还可显示出因退火不当造成石墨析出而引起的黑脆缺陷以及夹杂物、缩孔等冶金铸造缺陷。

2. 淬火断口 除某些低碳结构钢外，其它需检验断口的钢材在折断前，先经淬火处理，使组织细化，易于显露缺陷。钢材经淬火处理后，可以获得细瓷状的脆性断口，避免了钢材在折断时因断口部分变形而将缺陷掩盖的现象。所以在很多情况下，钢材作断口检验时，一般都采用淬火断口，

以显示钢中的白点、夹杂、气孔、层状、萘状和石状等缺陷。

3. 调质断口 钢材在断口检验前经调质处理，折断后可获得韧性纤维状断口，在一定程度上反映出钢材的横向机械性能，同时亦反映出钢在使用下的情况，这对于某些特殊用途的钢材具有一定的参考价值，但这种调质断口检验仅适用于少数专业用途的钢种，例如常见的 18Cr2Ni4W 钢。由于调质材料的断口上存在较多的塑性变形，使一些微小缺陷常被掩盖，故它显示出的白点、气孔、夹杂、层状等缺陷就不如淬火断口那样清晰和真实。

二、断口上各种缺陷形态特征及识别

1. 纤维状断口 纤维状断口又称韧性断口。此类断口呈纤维状，无金属光泽，颜色发暗，看不到结晶颗粒，断口边缘常常有明显的塑性变形特征。出现这种纤维状断口形貌，表明钢材具有较好塑性及韧性。图 1-6 为典型的纤维状断口。

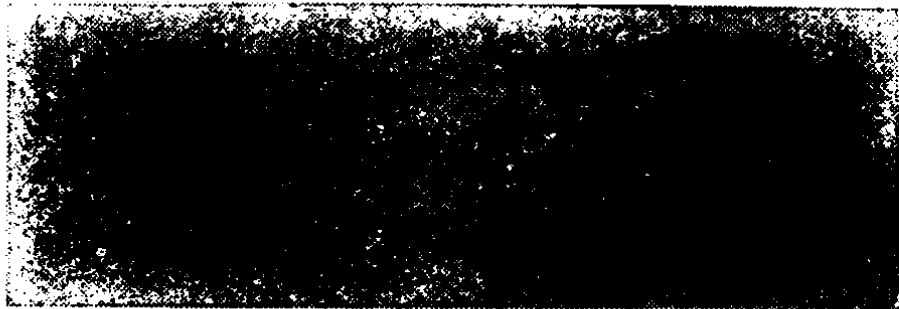


图1-6 典型的纤维状断口

2. 结晶状断口 此种断口常出现于热轧或退火的钢材(坯)中。断口齐平，呈现出银灰色色泽，具有强烈的金属光泽，有明显的结晶颗粒，如图 1-7 所示。此种断口说明材料在折断时未发生明显的塑性变形，因此属脆性断口。

3. 瓷状断口 这种断口常发生在过共析钢中，是某些合金钢经淬火或淬火及低温回火后的一种正常断口。断口具



图1-7 结晶状断口

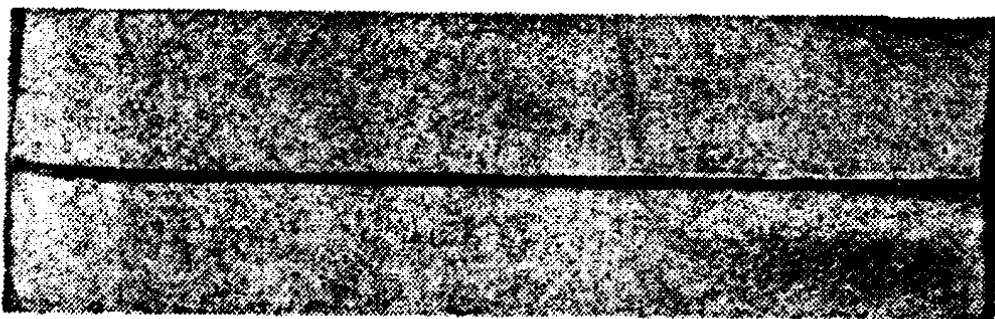


图1-8 瓷状断口

有绸缎光泽，致密，类似于细瓷器断口特征，呈亮灰色，如图 1-8 所示。

4. 台状断口 台状断口是钢材在折断时沿粗大树枝状晶断裂的结果。这种断口常出现于树枝状晶发达的钢锭头部和中部。台状断口对纵向机械性能影响不大，而横向的塑性及韧性稍有降低。当台状断口上富集夹杂物时，其横向的塑性降低较为明显。

断口特征：断口颜色比基体略浅；变形能力稍差、有宽窄不同的平台状，如图 1-9 所示。

5. 撕痕状断口 撕痕状断口可产生于整个钢锭中，但一般在钢锭头部较轻，尾部较重。尾部断口上的条带表现为细而密集，而头部断口上的条带则较宽。它是因钢中残余铝含量过多，造成氮化铝沿晶界析出。受冲击载荷折断时，均



图1-9 台状断口

沿此断裂而形成此类断口。这种缺陷较轻时对机械性能影响不明显；严重时，则降低钢材的横向塑性和韧性，有时也使纵向的韧性有所降低。

这种缺陷在断口上的分布没有规律，严重时，可布满整个断面。在纵向断口上，可见到沿热加工方向呈灰白色、致密而光滑的条带。图 1-10、图 1-11 分别为淬火状态和调质状态的撕痕状断口形貌。

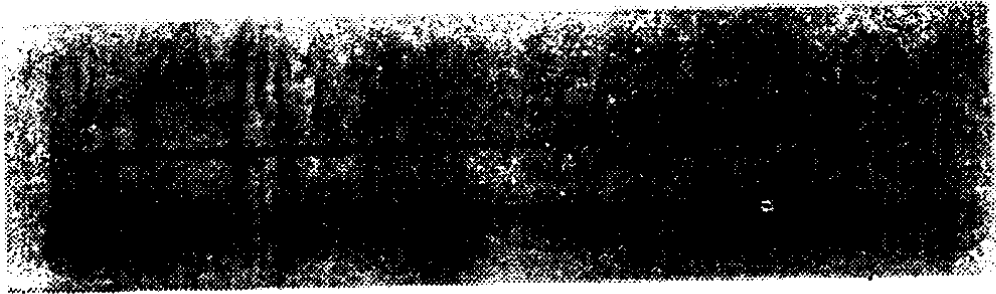


图1-10 淬火状态的撕痕状断口



图1-11 调质状态的撕痕状断口

6. 层状断口 层状断口一般出现于钢锭的轴心区。在淬火和调质状态下的纵向断口呈劈裂的木纹状。断口上出现

的层状，主要是由于多条相互平行的非金属夹杂物存在所造成。经研究表明，主要是钢锭在结晶过程中夹杂物在晶界上沉积，热加工时，沉积在晶界上的夹杂物沿加工方向延伸而使晶界脆弱。经电子显微镜观察，晶界上的夹杂物主要为氮化铝。氮化铝在晶界上沉积与炼钢时加铝量、加铝方式、钢锭形状以及结晶条件等因素有关。

层状缺陷一般多在钢锭尾部的钢材上出现，在靠近钢材边缘的部位也容易出现层状，严重时将会出现在整个断口上。这种缺陷对纵向机械性能影响不大，但显著地降低横向的塑性及韧性。这种缺陷用热处理的方法是无法消除的，故不允许存在此类缺陷。为避免产生层状缺陷，可以通过减少钢中夹杂物，改进浇铸工艺和脱氧方法，采用合理的钢锭模以及热加工时加大锻压比等措施来改善或消除之。

在纵向层状断口上，沿热加工方向呈现无金属光泽，凹凸不平，层次起伏的条带，条带中伴有白亮或灰色线条，图 1-12、图 1-13 为淬火和调质状态下的层状断口。



图1-12 淬火状态的层状断口

7. 白点断口 白点缺陷是钢中氢和内应力共同作用下造成的。它属于破坏金属连续性的缺陷。具有白点缺陷的钢材延伸率很低，其断面收缩率和冲击韧性降低更为显著。有