

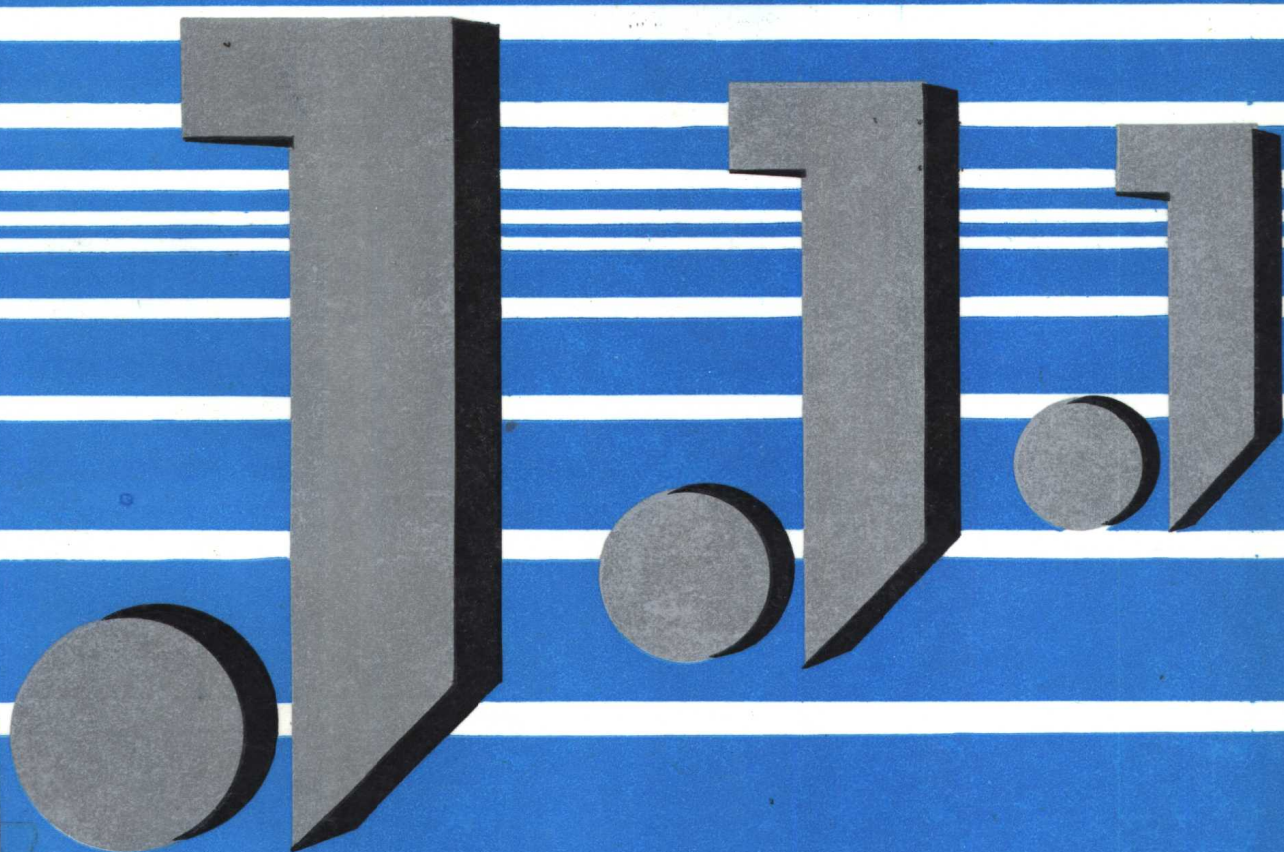
机械工业部 统编

物理金相实验工 操作技能与考核

(中级工适用)

机械工人操作技能培训教材

JIXIEGONGRENCIAOZUO JINENGPEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人操作技能培训教材

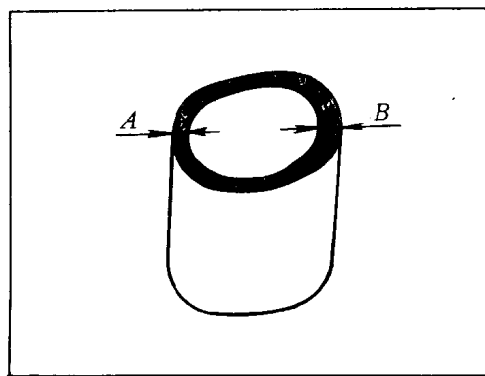
物理金相实验工操作技能与考核

(中级工适用)

机械工业部 统编



机械工业出版社



本套教材是依据机械工业部审定的《机械工人中级操作技能培训大纲》编写的，教材的基本内容及所包涵的技能知识、技能水平同《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》相关工种的中级工技能要求一致。本工种教材包括以下主要内容：断口的宏观分析技能、电解抛光和化学抛光技能、金相组织的着色技能、焊接金相分析技能、常用合金钢金相显微组织的鉴别技能、常用有色金属金相显微组织的鉴别技能、铸铁金相显微组织的鉴别技能、铁基粉末冶金金相显微组织的鉴别技能、废品分析技能、金相标准应用技能以及考核实例（共 21 题）。

本教材供中级工培训和考核使用，也可作为机械类技工学校、职业学校生产实习课参考教材。

图书在版编目（CIP）数据

物理金相实验工操作技能与考核/机械工业部统编. —北京：
机械工业出版社，1996
机械工人操作技能培训教材
ISBN 7-111-05074-6

I. 物… II. 机… III. 金相技术-考核-技术教育-教材
IV. TG115.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字（96）第 01683 号

出 版 人：马九荣（北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037）
责任编辑：崔世荣 版式设计：冉晓华 责任校对：孙志筠
封面设计：姚 毅 责任印制：王国光
北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1996 年 10 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·17 印张·412 千字
0 001—1 500 册
定价：22.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

机械工业部
机械工人操作技能培训教材
编审委员会名单

(均按姓氏笔画排列)

主任委员：陆燕荪

副主任委员：王文光 谷政协 吴关昌 郝广发（常务） 郭洪泽
委 员：丁占浩（常务） 于新民（常务） 王治中 王贵邦
王 斌（常务） 刘亚琴（常务） 刘起义 汤国宾
关连英 关荫山 孙 旭 沈 宇（常务） 沈富强
李国英 李炯辉（常务） 李震勇（常务） 杨国林
杨晓毅（常务） 杨溥泉 吴天培 吴铁钢 房志凯
林丽娟 范广才 苗 明（常务） 张世银 胡有林
（常务） 胡传恒 施 斌 唐汝钧 董无岸（常务）

本工种教材由：王天富 陈善珠 聂锦兴 张德镇 施友方 编著
李炯辉 审稿

KJ1382/02

前 言

继 1991 年我们组织编写出版初级技术工人基本操作技能培训教材之后,经过几年努力,一套中级技术工人操作技能与考核培训教材又将问世了。这套教材共 35 种,包括 34 个技术工种,是建国以来首次为我国机械工业中级技术工人组织编写的正规的操作技能培训教材。

当前,我国正在建立社会主义市场经济体制。在市场经济体制下,企业的竞争,产品的竞争,归根结底是人才的竞争。谁拥有人才,谁就能够在激烈的市场竞争中立于不败之地。

在机械工业企业中,技术工人是职工队伍的主体,是生产第一线的主力军和骨干力量,是高技能人才的后备军,是企业人才群体中重要的组成部分。但是,据调查,目前机械工业企业中,有相当一部分中级技术工人(包括一部分技工学校毕业生),其实际业务水平同国家颁布的《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》的要求相比,尚存在差距,而在操作技能方面,差距更大。这种状况,是造成企业产品质量不稳定,影响产品质量进一步提高,使产品缺乏市场竞争力,制约机械工业产品结构调整、科技进步和生产发展的重要因素之一。

因此,继续加强中级技术工人的业务培训,特别是操作技能培训,不仅是提高企业职工队伍素质、改善企业整体素质的需要,同时也是实施机械工业高技能人才工程、加强企业“能工巧匠”队伍建设的一项基础性工作,对于振兴我国机械、汽车工业也具有重要的战略意义。本套教材的编写和出版,为机械工业企业开展工人中级操作技能培训,并使培训工作制度化、正规化、规范化提供了条件。

本套教材是依据机械工业部审定的《机械工人中级操作技能培训大纲》编写的,教材的基本内容及所包涵的基本技能知识、技能水平同《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》相关工种的中级工技能要求一致。因此,这套教材也可以作为机械类技工学校、职业学校生产实习课参考教材。

本套教材的编写贯彻了“从实际出发,面向企业,面向生产,学以致用”的岗位培训原则,以培养能够熟练地综合运用基本操作技能,全面掌握中级操作技能,并具有一定的工艺分析能力和解决生产中实际问题能力的中级技术工人之目的。教材内容分为操作技能训练课题和考核实例两大部分。

操作技能训练课题的设计和安排,遵循由浅入深、由易到难、由简单到复杂循序渐进的教学规律,注意了与工艺学教材的区别,内容包括:加工工艺和具体的、规范的操作方法,加工步骤,工艺分析和加工过程中的质量检验,重在解决“会做和做好”的问题。若干个技能训练课题之后,插入一个工艺分析能力训练课题,以集中培养、提高工人这方面的能力。

考核实例的设计和选定,紧密结合课题,结合生产实际,力求照顾到不同产品的生产企业和不同地区的实际,体现行业的针对性,具有典型性、通用性和可行性,不仅可供培训、考核使用,还可供技能竞赛、技能鉴定命题参考或选用。

本套教材图文并茂、形象直观,叙述文字简明扼要,通俗易懂,较好地体现了工人培训教材的特点;严格贯彻了最新国家标准和法定计量单位。

本套教材的编写,借鉴了我部技术工人教育研究中心和天津市机械局教育教学研究室编

写的《工人中级操作技能训练辅导丛书》的经验，参考了《丛书》中的部分内容，特此说明。

参加本套教材编写工作的有天津、上海、四川、江苏、沈阳等地区机械厅（局）和中国第一汽车集团公司、湘潭电机厂、上海材料研究所等单位，在此，谨向这些地区和单位的领导、组织者和编、审人员以及其他热心支持这项工作的单位和同志表示衷心的感谢！希望行业广大技工培训工作者和读者对本套教材多提宝贵意见，以便今后修改完善。

机械工业部技工培训教材编审组

1995年3月10日

目 录

前言

课题 1 断口的宏观分析技能	1
作业一 断口试样的制备	1
作业二 断口类型及各种缺陷在断口上的形貌鉴别	4
作业三 断口的宏观分析	10
课题 2 电解抛光和化学抛光技能	18
作业一 电解抛光	18
作业二 化学抛光	25
课题 3 金相显微组织的着色技能	30
作业一 金相显微组织的化学着色	30
作业二 金相显微组织的氧化着色	39
课题 4 焊接金相分析技能	43
作业一 焊接接头类型的鉴别	43
作业二 焊接金相试样的制备	45
作业三 焊接金相分析	50
作业四 常见焊接缺陷组织的鉴别	57
课题 5 常用合金钢金相显微组织的鉴别技能	62
作业一 钢中非金属夹杂物的鉴别	62
作业二 低碳低合金钢金相显微组织的鉴别	75
作业三 中碳低合金调质钢金相显微组织的鉴别	80
作业四 高碳低合金钢金相显微组织的鉴别	90
作业五 高碳高合金钢金相显微组织的鉴别	99
作业六 耐热、不锈钢金相显微组织的鉴别	108
作业七 合金钢中常见缺陷组织的鉴别	117
课题 6 常用有色金属金相显微组织的鉴别技能	126
作业一 铜合金金相显微组织的鉴别	126
作业二 铝合金金相显微组织的鉴别	139
课题 7 铸铁金相显微组织的检验技能	157
作业一 球墨铸铁金相显微组织的检验	157
作业二 可锻铸铁金相显微组织的检验	173
作业三 蠕墨铸铁金相显微组织的检验	177
课题 8 铁基粉末冶金金相显微组织的鉴别技能	179
作业一 铁基粉末冶金试样的制备及抛光态组织的观察	179
作业二 铁基粉末冶金金相显微组织的鉴别及缺陷分析	184
课题 9 废品分析技能	192
作业一 废品的分析程序	192
作业二 常见废品类型的识别	195

作业三 废品的分析方法	205
课题 10 金相标准应用技能	213
作业一 渗碳层金相检验	213
作业二 渗氮层金相检验	222
作业三 脱碳层金相检验	230
作业四 球墨铸铁金相检验	236
作业五 可锻铸铁金相检验	244
考核实例	251
1. 制备钢棒、钢板、铸铁纵(横)向断口试样 并判别断口类型	251
2. 制备碳钢、合金钢、有色金属的拉伸试样或 冲击断口试样并进行宏观断口分析	251
3. 对零件的疲劳断口进行宏观分析	252
4. 采用电解抛光制备钢、不锈钢或有色金属金 相试样	253
5. 对钢、不锈钢、有色金属试样进行化学抛光 并分析其显微组织	253
6. 对灰铸铁、球墨铸铁、高碳工具钢以及含氧 纯铜中第二相进行化学着色鉴别	254
7. 对钢、铸铁试样进行氧化着色并鉴别相组织	255
8. 对钢或不锈钢焊接件进行显微组织分析	255
9. 对低碳低合金钢试样进行组织鉴别并判别其 热处理工艺	256
10. 对合金钢试样进行组织鉴别并判别其热处理 工艺	257
11. 对工模具合金钢试样进行组织鉴别并根据组 织判定牌号及热处理工艺	257
12. 鉴别马氏体、奥氏体不锈钢显微组织	258
13. 对特殊黄铜、普通青铜和特殊青铜试样进行 显微组织鉴别并根据组织判断其牌号	259
14. 鉴别铝合金及变形铝合金显微组织	259
15. 鉴别冷变形黄铜材料的季裂和铝合金的过烧 组织	260
16. 鉴别球墨铸铁显微组织	261
17. 鉴别可锻铸铁显微组织	261
18. 鉴别蠕墨铸铁显微组织	262
19. 鉴别铁基粉末冶金显微组织	263
20. 对冶金、冷热加工以及操作不当引起的废品 进行分析	263
21. 金相标准的应用	264

课题 1

——断口的宏观分析技能——

作业一 断口试样的制备

●要点 检验宏观断口试样的选取、保存及制备

●训练 1 断口试样的选取

一、失效断口的选取

机械构件或零件在使用或运行过程中发生断裂而形成的自然表面,即为失效断口。检视这种断口的目的是为了探索和研究其破断的原因,从开始断裂的发源处以及其继续发展的途径来分析其整个断裂的过程,这将在断口上留下形貌痕迹来判断断裂的性质。为此,应将失效断口整个部位切取下来,另一端的断口则保存备查。

切取断口的试样应离断口 30~40mm,可用锯、切等手段取下,切取试样时应不使断口染污及变形。若用热切、热锯或气割切取时,应保证断口远离变形或受热影响区。

二、断口检验试样的选取

断口检验是反映产品质量的极为重要的手段之一,通过断口检验可以发现钢材冶炼缺陷和热加工、热处理等工艺存在的问题。因为断口的形貌常能将金属材料组织中很小的差别充分反映,从而可将不易发现的缺陷检验出来。

碳素结构钢、低合金结构钢、滚珠轴承钢、工具钢及弹簧钢的热轧、锻造、冷拉条钢、钢板和钢坯,均可作断口检验。对于钢材中的偏析、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,这些缺陷在钢材的纵向断口上容易被显示,故在选取钢材断口检验试样时,应尽量选取纵向断口。对于直径或边长大于 40mm 的钢材

应作纵向断口;对于直径或边长小于 40mm 的钢材可作横向断口。

1. 纵向断口试样的选取 在大于 40mm 的钢材上切取横截面试样,其厚度一般为 15~20mm,有时可更厚一些。可采用冷切、锯割方法截取;若采用热切、锯割或气割,必须将热影响区(30~50mm)除去。为了折断试样,可在试样中部的一侧制成一个尖锐的槽口,开槽深度约为试样厚度的 1/3。当折断有困难时,可适当加深刻槽的深度。图 1-1 为在大于 $\phi 40$ mm 钢材断口检验试样上刻槽示意图。

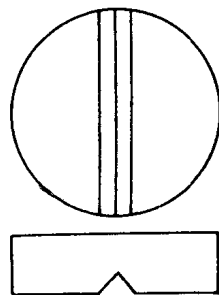


图 1-1

2. 横向断口试样的选取 横向断口试样可自小于 $\phi 40$ mm 钢材上切取长度为 100~

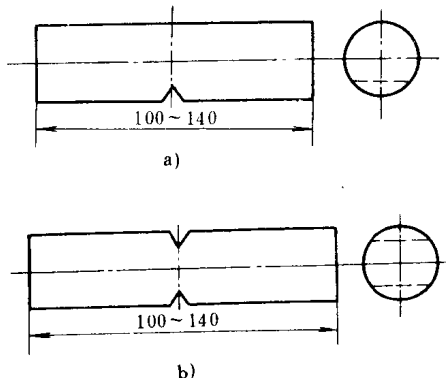


图 1-2

a) 单边刻槽 b) 两边刻槽

140mm 一段试样,然后在试样中部的一边或两边开出尖锐的槽口,刻槽的深度可为钢材直径或厚度的 $1/3$ 或更多,但至少应保留断口截面不小于原钢材原直径或厚度的 50% ,图 1-2 为开刻槽的示意图。

截取试样时应采用冷切或冷锯割的方法,避免取样时造成试样变形或热影响。

●训练 2 断口的清洗与保存

试样断口应保持原始形貌,要绝对避免断口发生碰撞、摩擦、污染、氧化、受潮、锈蚀等情况。否则,在断口分析时会造成判断上的错误。

一、断口的清洗

在作折断试样时,应将试样断裂部位事先用棉丝或布保护起来,以免试样在折断时使断口表面擦伤或沾上油污或泥土等污物。

在折断经油液淬火的热处理试样或一般钢材表面沾有油污的试样时,应在作折断试样前,事先将钢材试样表面上的油污去除干净,试样可先经 300°C 以下加热方法将油污去净,或用四氯化碳或丙酮将油污擦净,这样可避免试样在作折断试验时断口被污染。

对于机械构件产生失效断裂的断口,应取下放置在干燥器中或无水酒精中,并加盖保存起来,供有关失效分析专家观察分析。若断口上已氧化生锈,此锈斑如果是在空气中受氧化的话,覆盖在断口上的氧化皮则较疏松,此时可采用二醋酸纤维素的薄膜覆盖在断口上以使氧化皮粘附在薄膜上,待薄膜干燥后,揭起薄膜,此时即可将氧化皮清除掉,如果一次覆膜不行,可连续覆盖数次,氧化皮即可完全清除掉。

醋酸纤维素薄膜可按下述程序制作:

1) 先称 $7\sim 10\text{g}$ 二醋酸纤维素。

2) 将 100mL 丙酮倒入 200mL 量杯中,盖上表面皿,以防丙酮挥发。

3) 将 $7\sim 10\text{g}$ 二醋酸纤维素倒入丙酮中,并用玻璃棒搅拌溶液,以加速二醋酸纤维素溶解。

4) 将完全溶解的二醋酸纤维素、丙酮溶液倒入 $\phi 150\text{mm}$ 平底培养皿中,溶液厚度约为 $1\sim 2\text{mm}$ 左右。将培养皿置于空气中静置一昼夜,使丙酮挥发后,即成为一平整的二醋酸纤维素薄膜,备用。上述溶液可倒入几个培养皿中,这样 100mL 溶液可做成几张薄膜。用作粘附氧化皮的薄膜可稍厚一些,以增加覆盖掀揭时薄膜的强度。因为薄膜太薄时,在掀揭时容易掀破,而且易使镊子触坏断口。若要增加薄膜的厚度,可在培养皿中多倒些溶液,使溶液在培养皿的厚度大于 2mm 至 3mm 左右。

5) 将培养皿中已干燥的薄膜取出,并沿四周剪去特厚的边缘部分,将整块圆形薄膜夹在书中或置于干燥器中备用。

将薄膜覆盖在断口表面上去除氧化皮的操作过程如下:

1) 在经过丙酮或四氯化碳清洗过的断口表面上,用滴管滴淋丙酮或醋酸甲酯溶液,见图 1-3a。

2) 将预先剪好的大于断口试样的薄膜趁丙酮尚未挥发时迅速覆盖在断口上,并用手手指在薄膜反面压紧,使薄膜紧紧贴在断口上,见图 1-3b。

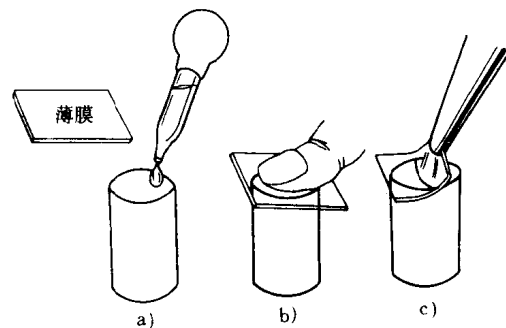


图 1-3

3) 待薄膜干燥后,用镊子在薄膜一角钳住并轻轻使薄膜逐渐揭离断口,这样就将断口上的疏松的氧化皮随薄膜粘贴下来,见图 1-3c。

4) 如果断口上还存在未粘去的氧化皮,

可继续上述步骤,将氧化皮粘贴下来。这种粘贴操作可重复数次,直至断口上的氧化皮全部清除为止。

对于断口上存在的高温时形成的氧化皮,因为这种氧化皮较致密,但从已形成的致密的氧化皮断口,就可以看出其断口形貌。例如,疲劳断口形貌的特征可在氧化断口上清晰可辨。因为高温氧化皮厚度均匀,所以断口形貌的特征仍可清晰显示出来。如果不清晰时,可采用下列方法之一清除高温形成的致密的氧化皮。

1) 利用弱酸对断口进行腐蚀,一般是采用草酸水溶液(草酸 5g,水 95mL)来清洗断口,这样可将断口氧化皮清除掉,可恢复断口原貌。

2) 利用稀柠檬酸水溶液进行电解腐蚀,电压约为 4~5V,时间约为 2~5min。

3) 利用碱性电解液进行电解腐蚀,(氢氧化钠 50g,氯化钠 50g,水 100mL),断口试样接负极,电极接正极(注意:与正常的电解侵蚀所接试样的正、负极刚好相反),电压约为 3~5V,时间约为 2~10min,接通电源后就可以观察到氧化皮逐渐自断口上溶解下来,待完全溶解下来后,即切断电源,将试样取出用流水冲洗,然后淋酒精吹干。

4) 将带有氧化皮的断口置于超声波清洗器的容器中,容器内注入丙酮或酒精,然后开启开关,让断口在超声波作用下,将氧化皮清除下来。

二、断口的保存

对断口应保持其原始状态,可采用下列方法之一来保护。

1) 对于新冲、折断的新鲜断口,可放在干燥器内保存,可使断口不生锈,保持原始状态,任何时候均可取出检视。

2) 在断口上涂抹防锈油脂,可使断口与空气中的氧隔绝。需要检视时,可将断口置于丙酮或汽油中用毛刷将防锈油刷洗干净即可。

3) 在断口上涂抹一薄层二醋酸纤维素丙酮溶液,待溶液中丙酮挥发后,薄薄一层二醋酸纤维素即覆盖在断口上,可起到保护作用。这样既可清晰检视断口的原来形貌,又可使断口不被氧化。如果临时在工地上,无二醋酸纤维素溶液或薄膜时,可用透明指甲油涂抹在断口上,也可起到二醋酸纤维素溶液的作用。

●训练 3 断口试样的制备

检验断口的试样,应根据钢材种类和检验要求而定。有些是在供应状态下进行折断而获得断口。有些则需要经过不同工艺的热处理后再进行折断而获得断口。有些则是机械构件在不同受载情况下发生断裂而获得断口。因此,除失效断口外,试样经过不同工艺的热处理后是能真实地显示缺陷的。

一、断口检验试样的预先热处理工艺

根据钢材种类及检验要求的不同,试样在折断前需要进行不同的热处理工艺处理,以期能制备出符合检验要求的断口。

1. 退火处理 轴承钢、工具钢的断口试样,通常需要在经过球化退火的钢材上切取,然后折断试样而获得断口。如果上述钢种未经过退火处理,则应按不同钢种的球化退火工艺进行退火后,再折断试样获得断口。

经过退火后,从断口上除了可以检视钢材中晶粒均匀和细密程度外,同时还能显示出钢中非金属夹杂物、缩孔以及因退火石墨析出而引起的黑脆缺陷。

2. 淬火处理 除了某些低碳结构钢材外,一般钢材在折断前均需要先经过淬火处理。淬火的工艺可按照被检验的钢材来选定。淬火后可使钢的组织细化,易于暴露缺陷。钢材淬火后可以获得细瓷状的脆性断口,从而可避免钢材在折断时由于断口部分塑性变形而将缺陷掩盖起来。所以,一般钢材作断口检验时,事先均需要进行淬火处理,然后折断试样获得断口。淬火试样断口,可以显示钢中存在的白点、夹杂、气孔、夹层、层状、

蔡状和石状等缺陷。

3. 调质处理 钢材在作断口检验前先经过调质处理, 折断后可以获得韧性的纤维状断口, 从而可在一定程度上反映出钢的横向力学性能, 同时也能反映出钢在使用时的情况。但是经过调质处理后获得的断口存在较多的塑性变形, 从而会掩盖一些微小缺陷。调质处理后折断的断口, 可以显示钢材的白点、气孔、夹层及层状等缺陷, 但这些缺陷反映在断口上不如淬火断口来得清晰和真实。

二、失效断口

机械构件或零件在运行或使用过程中发生断裂是由以下情况形成的:

1) 短时间的一次载荷而形成的断裂, 如拉伸、冲击、弯曲、扭曲或其它形成的形变而引起断裂的断口。

2) 在运行过程中, 承受周期性交变和反复应力作用下所发生断裂的断口。

三、断口试样的制备

为了制备检验断口的断口试样, 可在室温下, 将刻有尖锐槽口的试

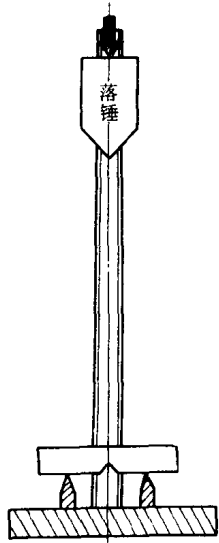


图 1-4

样折断, 以获得检验的断口。制备断口时, 应将试样上的刻槽向下放置, 使折断刀口与尖锐刻槽中心线相吻合。然后在冲击载荷下折断或在万能试验机上压断。图 1-4 为一次冲击载荷折断试样的装置示意图。图 1-5 为在万能试验机上, 压断试样装置的示意图。

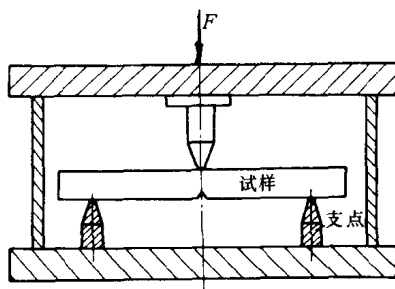


图 1-5

冲击载荷下折断试样, 最好是一次折断, 严禁反复冲压。因为反复冲压, 将使制备出的断口产生严重的塑性变形, 从而将有些缺陷掩盖, 得不到反映试样内真实缺陷的断口, 容易导致误判。冲击折断试样, 通常是采用落锤、摩擦压力机、电锤、小型汽锤或冲床来进行。折断试样前, 应采取妥善的措施保护好试样, 尽力避免试样在折断时使断口表面受到损伤和沾污。

折断的断口一般可用肉眼来检视。在识别不清楚时, 可借助 10 倍以下的放大镜进行观察。

作业二 断口类型及各种缺陷在断口上的形貌鉴别

●要点 静力断口、疲劳断口及各种缺陷在断口上的形貌鉴别

●训练 1 断口类型的鉴别

由短时间一次载荷所引起断裂的断口称为静力断口。按断口的性质, 可分为韧性断口和脆性断口。在周期性交变或反复应力作用下引起断裂的断口称为疲劳断口。现将这几种类型的断口鉴别技能简介如下。

一、静力断口的鉴别

1. 韧性断口 这是机械零件或材料在

承受短时间一次载荷时发生的断口, 断裂时有明显的塑性变形。它显示机械零件或材料具有良好的韧性。这种断口的宏观特征是呈纤维状, 颜色发暗, 无金属光泽, 表面上没有均匀的颗粒组织, 但有明显的滑移现象, 断口一般是穿晶断裂的, 但有时也出现沿晶断裂, 四周存在明显的剪切唇, 表明机械零件或材料在最后断裂时有明显塑性变形。

2. 脆性断口 脆性断口表明机械零件及材料在断裂前并没有发生明显的宏观塑性变形,说明断裂时的载荷并未达到材料的屈服点,故断口齐平,显现出银灰的色泽。在低倍放大镜下观察,断口表面是由颇多小颗粒的晶面所组成,闪耀出极为明显的金属光泽,故又可称为结晶状断口。在脆性断口的周围,不像韧性断口那样有明显的剪切唇凸出来。

脆性断口的形成主要取决于金属的晶体结构、基体组织、试验温度以及应力状态等。钢材的晶粒度和显微组织中各种相变产物的比例与脆性断口也有一定的内在联系。因此,材料冶炼时应控制钢液的纯净度。热加工时应控制钢材的加热温度、停锻温度、回火温度等,以避免钢材晶粒引起长大和出现第一类、第二类回火脆性。上述都是避免钢材出现脆性断口的有效措施。

二、疲劳断口

在周期性交变应力作用下工作的机械零件(如内燃机中曲轴、连杆、弹簧以及钢轨等),虽然工作应力远低于材料的抗拉强度(这点也是判断疲劳断裂口的重要环节),但在运行一段时间后,有时会发生突然的断裂,这种断裂通常是在没有明显的宏观变形的情况下形成的,有时零件的材料塑性虽然良好,但其断裂仍呈脆性状态,疲劳断口一般由三个区域组成,即疲劳源区、疲劳裂纹逐渐扩展区和瞬时破坏区。

1. 疲劳源区 机械零件在承受周期性的交变载荷运行过程中,在零件的表面或表面薄弱区域(表面的刀痕尖角处、表面过渡圆角应力集中处以及表面的脱碳层、夹渣、折叠、斑疤、砂眼等容易引起应力集中的地方),容易产生显微裂纹,这就是引起疲劳断裂的源处,即是疲劳源区。这是疲劳断裂的第一阶段。这个疲劳源都是在零件的表面处,见图 1-6 表面半圆凹坑处。如果零件在高应力状态运转,其表面会产生许多个疲劳源,这

主要取决于零件所受应力的的大小和运转的系数。若零件表面存在多个疲劳源,则又说明零件运转时所受的应力是较大的。

2. 疲劳裂纹扩展区 当机械零件表面产生显微裂纹后,在交变应力的作用下,显微裂纹将逐渐扩展。如果应力超负荷系数不大时,疲劳裂纹的发展往往会受到部分金属基体的阻碍或形变强化的阻碍,使疲劳裂纹的扩展出现停歇的情况,从而在断口上出现贝壳状或年轮状的前沿线,这种前沿线又称为年轮线。具有疲劳裂纹的零件,在运行过程中除了受交变应力作用外,在起动和制动时也会产生疲劳裂纹扩展停歇的情况,从而在断口上呈现出年轮状的前沿线。如果零件已发生裂纹且不断扩展,则在恒定的应力或应变范围内运转时,往往会使疲劳断口上不出现年轮状前沿线,此时裂纹前沿的两侧表面会由于应力反复作用而相互接触并产生多次的压缩和摩擦,随着接触次数的增多,断口表面将会被磨得光滑,因而断口上的颗粒也会变得细小,此时裂纹扩展区将得到陶瓷状的甚至是磨光的表面。从图 1-6 所示的疲劳扩展区可见,环绕疲劳源呈半圆形一轮一轮的贝壳状或年轮状的前沿线,年轮的前沿线两侧为磨光的部分。

3. 瞬时破断区 疲劳裂纹发生并扩展到一定程度,当零件余下的有效截面承受的应力超过其疲劳极限很多时,零件将发生瞬时破坏断裂,这时断口的特征与静力拉伸断口快速破坏的放射区及剪切唇区相同,有时仅出现剪切唇区而无放射区。据此特征,应属于韧性断口。对于脆性材料而言,瞬时破坏区断口呈脆性的结晶状。总之,瞬时断裂区的晶粒总比疲劳裂纹扩展区明显和粗些,这在断口上一看即可将瞬时破断区与疲劳裂纹扩展区区分开来。图 1-6 断口下部即为疲劳裂纹瞬时破断区。

疲劳断口是表征零件在使用过程中发生断裂的一种形式,但最重要的是从疲劳断口



图 1-6

上找出其产生的原因,从而提出改进措施,防止此类缺陷再次发生,这是金相检验的目的。导致产生疲劳断裂的原因很多,以下的一些因素均可导致产生疲劳断裂,现列出各因素特征的鉴别技能,供金相检验人员分析原因时参考。

1) 由于机械零件表面的工作应力较高,疲劳源往往产生于表面,因此机械零件外形结构的设计与表面的粗糙度对疲劳裂纹产生与扩展有很大的影响。零件结构设计不合理,例如截面变化突然、过渡圆角太小、零件表面有凹槽、圆孔、尖角等以及刀痕尖锐和表面粗糙度太粗,均会导致零件使用时应力集中,致使零件的上述部位早期产生疲劳源,导致疲劳断裂事故发生。

2) 机械零件表面和内部存在缺陷,例如折叠、斑疤、砂眼、疏松、脱碳、白点、裂纹等,均易在该处产生疲劳裂纹,从而大大降低机械零件的疲劳寿命。

3) 材料的显微组织均匀程度和非金属夹杂物对疲劳性能也有很大的影响。例如,回火屈氏体的疲劳极限较高,耐磨蚀性也好,而魏氏组织和带状组织的疲劳极限则比较低。例如,呈串连状分布的非金属夹杂物比均匀分布的细颗粒状的非金属夹杂物,对疲劳寿

命的影响要大;脆性夹杂物较韧性夹杂物影响要大;大颗粒的夹杂物较小颗粒的夹杂物影响要大。

4) 对于要求高耐疲劳性能的零件,其表面可以进行喷丸、滚压、表面化学热处理或表面淬火等表面强化处理。以提高其疲劳性能。

●训练2 各种缺陷断口的形貌鉴别

钢中各种缺陷在断口上的形态各不相同,现将缺陷断口的鉴别技能简述如下。

1. 纤维状断口 又称为韧性断口。此类断口呈纤维状,无金属光泽,断口颜色呈暗灰色绒毯状,看不到结晶颗粒,断口的边缘常有明显的塑性变形(剪切唇)特征,断裂形式为穿晶延性断裂。这种断口属于正常断口。出现这种纤维状断口,表征钢材具有较好的塑性及韧性。纤维状断口的形貌见图 1-7。

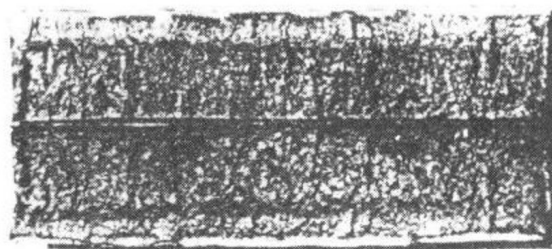


图 1-7

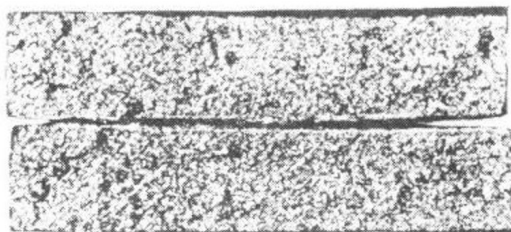


图 1-8

2. 结晶状断口 结晶状断口平坦,呈现亮灰色,具有强烈的金属光泽和明显的结晶颗粒,说明材料在断裂时未发生明显的宏观塑性变形,因此属于脆性断口,见图 1-8,也属于正常断口。结晶状断口常出现于热轧或退火钢材(坯)中。

3. 气泡断口 气泡在纵向断口上沿热加工方向呈内壁光滑、非结晶的细长带,或

呈光滑的凹坑，多分布于皮下，有时也出现于内部。图 1-9 为皮下气泡断口形貌。图 1-10 为内部气泡的形貌。这种缺陷主要是由于钢液中气体过多、浇注系统潮湿、钢锭模有锈等原因造成。

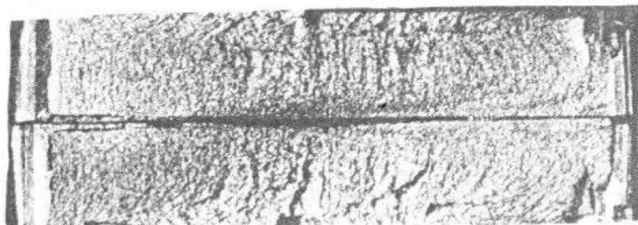


图 1-9

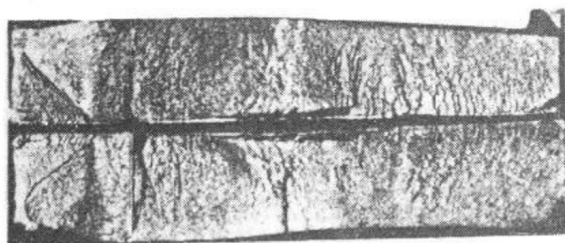


图 1-10

4. 非金属夹杂物及夹渣断口 在断口上呈现肉眼可见的灰白、浅黄或黄绿等颜色

的非结晶的细条带或块状缺陷，其分布无一定规律，属于破坏金属连续性的缺陷。图 1-11 为肉眼可见的非金属夹杂物在断口上的形貌，见图中右侧的二条长条状的非金属夹杂物。图 1-12 为夹渣在断口上的形貌，见图中右边缘处一长椭圆形的黄绿色夹渣。

上述断口是由于钢液在浇注过程中混入渣子（炉渣未及上浮）及耐火材料等杂质造成。

5. 异金属夹杂断口 在断口上表现与基体金属具有不同的组织和不同的金属光泽，且与基体金属有明显的界面，有时在界面边界有氧化现象，图 1-13 为异金属在断口上的分布形貌。它与基体金属有明显的边界，且呈灰白色，与基体灰色断口的色泽截然不同。异金属断口几乎无变形，而基体断口的变形流线明显。这种缺陷是属于破坏金属组织的连续性和均匀性的缺陷。这种缺陷主要是异金属掉入钢液未完全熔化，或合金料未完全熔化等原因造成。

6. 缩孔残余断口 在断口的轴心区，呈

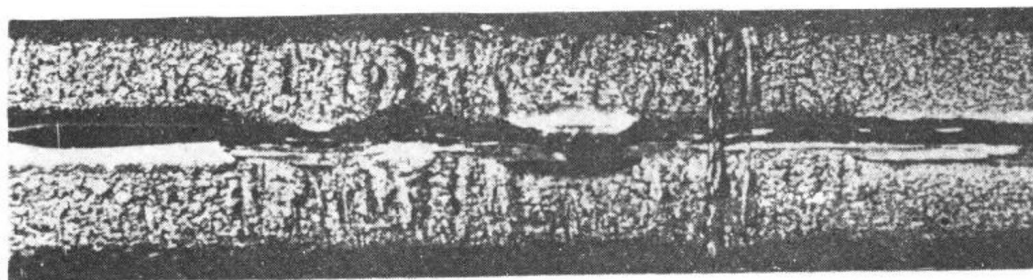


图 1-11

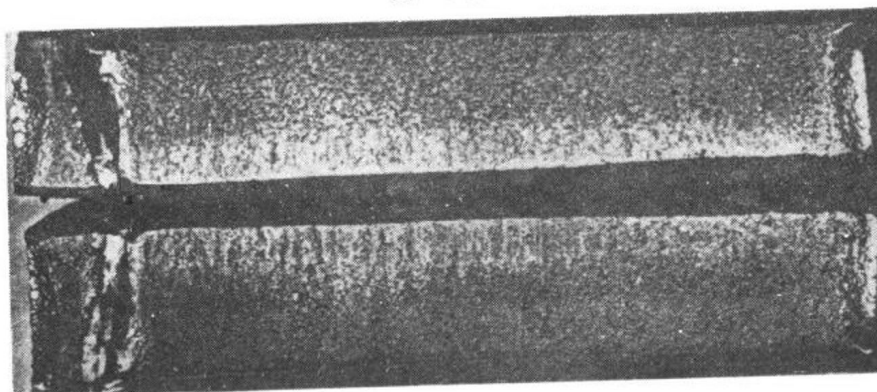


图 1-12

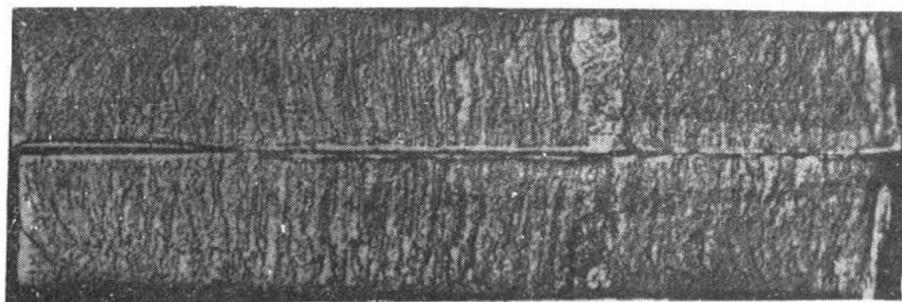


图 1-13

非结晶构造的条带或疏松带，有时有肉眼可见的非金属夹杂物或夹渣存在，沿着条带往往有氧化色，此种断口属于破坏金属连续性的缺陷。图 1-14 中心处的非结晶构造的条带为缩孔残余断口形貌，它与两侧基体结晶状断口绝然不同。

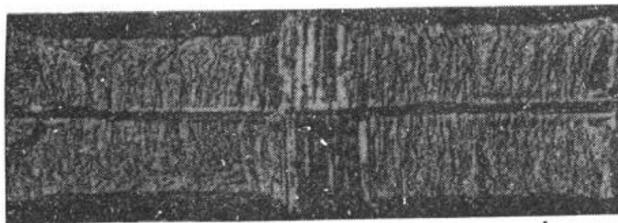


图 1-14

缩孔残余缺陷一般产生在钢锭头部的轴心区，主要是钢锭补缩不足，或是钢锭开坯时切头不够等原因造成的。

7. 层状断口 在纵向断口上，沿热加工方向呈现出无金属光泽的凸凹不平的层次起伏的条带，条带中伴有白亮或灰色线条。此种缺陷的断口类似朽木状，一般均匀分布在偏析区内。图 1-15 为层状断口分布于钢坯的中间部位，断口凸凹不平的层次起伏的深灰色的条带，无金属光泽，与两侧基体金属断口明显不同。层状断口主要是由于多条相互平行的非金属夹杂物的存在造成的。它对钢材的横向塑性及韧性有显著的降低。

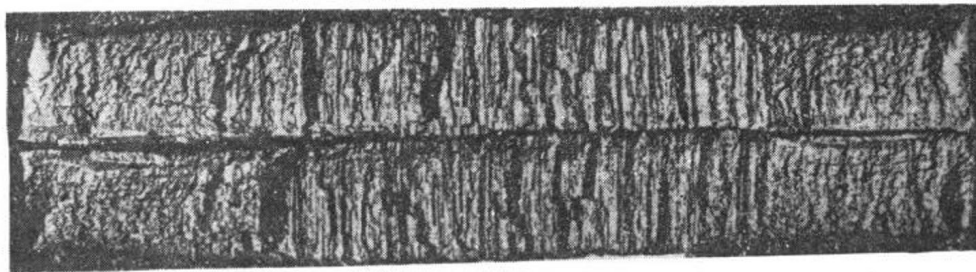


图 1-15

8. 白点断口 白点在断口上呈圆形或椭圆形的银灰色斑点，斑点区域内的结晶一般要比基体的晶粒为粗。白点有时也呈鸭嘴形裂口。白点大小的尺寸变化较大，可由几毫米到数十毫米，有时竟达 100mm。白点一般分布在偏析区内，有时也会沿加工变形方向分布。图 1-16 为白点缺陷在断口上的分布形貌，大部分呈白色圆形平坦的斑点，其晶粒较基体为粗，而且还可在白色斑点上见到

黑色细小的裂纹（见图左侧上部试样断口上的第二、第三个白点斑点中部的黑色小裂纹贯穿斑点直径）。有些斑点呈椭圆形分布，此



图 1-16

试样的白点缺陷较严重且典型。白点缺陷是钢中含氢量过高以及与内应力共同作用下造成。它是属于破坏金属连续性的缺陷。具有白点缺陷的钢材伸长率很低，断面收缩率和冲击韧度降低更为显著。有白点缺陷的钢材或零件，在热处理时往往容易形成淬火裂纹，甚至引起开裂。白点缺陷在钢中是不允许存在的，一经发现，将予以报废。

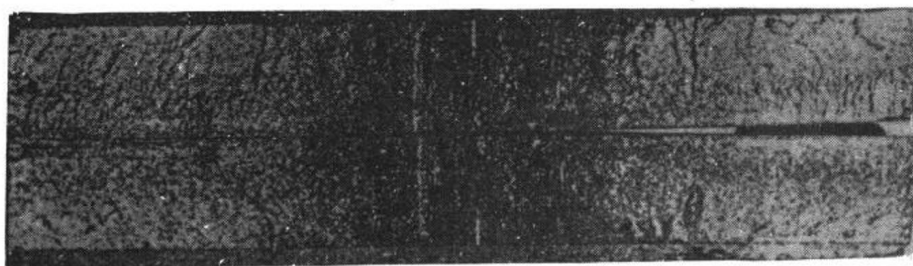


图 1-17

次退火后的共析和过共析碳素工具钢中，或含硅的弹簧钢中。此种缺陷不能用热处理或热加工方法改善和消除，只能报废。

10. 石状断口 石状断口无金属光泽，呈浅灰色，有明显的棱角，类似于碎石状，轻微时只有少数几个，严重时可布满整个断口。石状断口是一种粗晶沿晶间断口

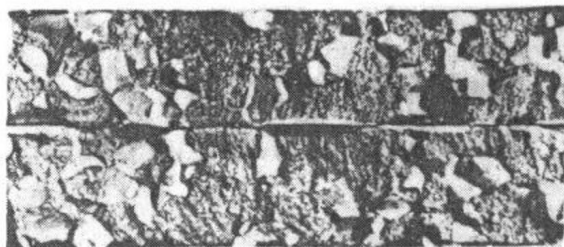


图 1-18

图 1-18 中浅灰色棱角无金属光泽的块状为石状断口，与基体断口有明显的区别，石状断口表明钢材已严重过热，或已经产生过烧，钢的塑性及韧性降低，特别是韧性降低尤为显著，钢材一旦出现石状断口就无法挽救。

11. 蔡状断口 断口上呈弱金属光泽的亮点或小平面，由于各个晶粒位向不同，这些小平面闪耀着蔡状的光泽，是一种粗晶的穿晶断口。图 1-19 为典型的蔡状断口。断口

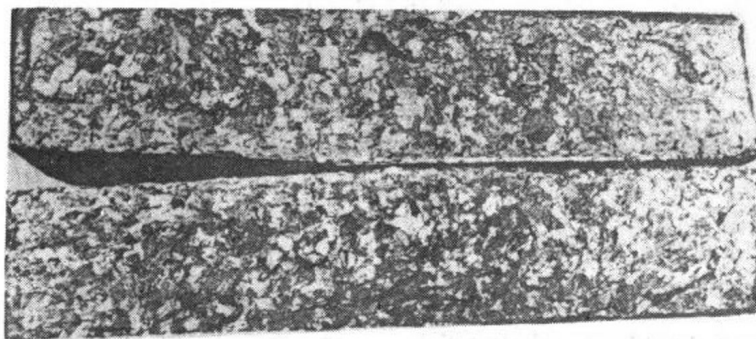


图 1-19