

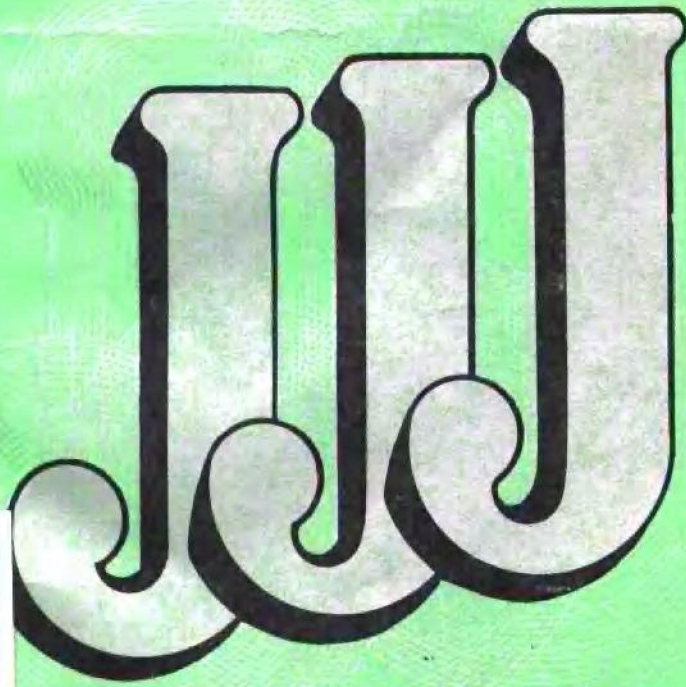
国家机械工业委员会统编

金相检验技术基础

王胡第 编 李金 李金 李金 李金 李金 李金

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



5.21

机械工业出版社

TG115.21

23

}

机械工人技术理论培训教材

金相检验技术基础

(初级物理金相实验工适用)

国家机械工业委员会统编

66/103



机械工业出版社
522626

本书共分七章，按实验程序先后排列，内容有宏观检验、金相显微镜基本原理与使用、金相制样设备和技术、试样的制备、组织显示、显微硬度计原理与使用以及暗室技术。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。

本书为初级物理金相实验工培训教材，也可供大、中专院校师生以及有关质量检验人员参考。

本书由机械工业委员会上海材料研究所毛照樵、龚应时、刘长春、王德美、章国英、上海第二光学仪器厂施良才、上海良工阀门厂俞斐等编写。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阅。

金相检验技术基础

(初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 责任校对：贾立萍
封面设计：林胜利 方芬 版式设计：乔玲
责任印制：张俊民

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)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 787×1092¹/₃₂·印张8⁵/₈·字数189千字

1983年9月北京第一版·1988年9月北京第一次印刷

印数 00,001—11,100·定价：3.20元

ISBN 7-111-00988-6/TG·235

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“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,取得了比较喜人的成绩。

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149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解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教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以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和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 宏观检验.....	1
第一节 概述.....	1
第二节 试样的制取.....	2
第三节 热酸蚀试验.....	5
第四节 冷酸蚀试验.....	9
第五节 电解腐蚀试验.....	11
第六节 钢的低倍组织及缺陷评定.....	14
第七节 塔形车削发纹检验和缺陷分析实例.....	30
复习题.....	38
第二章 光学金相显微镜基本原理和使用.....	40
第一节 光学金相显微镜基本原理.....	41
第二节 金相显微镜的正确使用.....	53
复习题.....	69
第三章 金相制样设备及技术.....	70
第一节 概述.....	70
第二节 切割设备及使用.....	71
第三节 镶嵌设备及试样夹具.....	76
第四节 磨光与抛光设备及使用.....	85
复习题.....	117
第四章 金相试样的制备.....	119
第一节 取样.....	119
第二节 金相试样的镶嵌法.....	125
第三节 金相试样的磨光.....	134

第四节 试样的抛光	142
复习题	155
第五章 金相试样的侵蚀	156
第一节 化学侵蚀	157
第二节 电解侵蚀	180
复习题	189
第六章 显微硬度计的原理与应用	190
第一节 显微硬度试验及其主要试验法	190
第二节 显微硬度计的结构原理及作用	195
第三节 显微硬度计的使用	211
第四节 显微硬度计的应用	219
第五节 显微硬度计应用实例	223
复习题	224
第七章 暗室技术	229
第一节 宏观摄影与显微照相	229
第二节 暗室设备与布局	237
第三节 感光材料及暗室技术	244
复习题	268

第一章 宏观检验

第一节 概 述

本章主要叙述钢的热酸蚀试验、冷酸蚀试验、电解腐蚀试验、塔形车削发纹缺陷检验。

在金属材料的宏观检验工作中，酸蚀法是检验金属材料缺陷，评定金属质量的最常用方法之一。酸蚀试验简单易行，一般不需要特殊设备，也不需要严格的试样制备工序。

在钢材生产和机器制造工业中，酸蚀试验常列为按顺序检验项目中的第一位。如果一批钢材在酸蚀检验中显示出不允许有的缺陷或超过标准允许存在的缺陷时，则其它试验可不必再进行。因此，它亦是控制材料质量的一种有效方法。对于在生产过程中取样进行酸蚀试验，如发现材料或零件有严重宏观缺陷时，可停止该批材料的加工与生产，避免造成更大的损失。

酸蚀和断口检验，都属钢的低倍宏观检验，虽然在很多情况下可以同时并用，相互补充，但是各有其适用的范围。例如钢中发裂（白点），在横截面酸蚀试样上能显示出发纹及其分布位置，而在纵截面进行断口检验时，则显示出清晰的白点形貌。但显示枝晶、流线和疏松等，用酸蚀试验较为合适。钢的过热和过烧则在断口检验上最易发现。对于高碳工具钢一般要求进行断口检验。对韧性较大的结构钢要求进行热酸蚀检验。对于特殊用途或要求严格的钢材，如滚珠轴承钢及弹簧钢等则要求作酸蚀试验和断口检验。

对于在使用中经受高交变重载荷的机器零件来说，钢材内部的纯净度必须保持在较高水平，才能获得满意的疲劳寿命，因此用塔形试验检查发纹缺陷成了重要手段。

第二节 试样的制取

一、取样

酸蚀试样必须取自最易发生各种缺陷的部位。根据钢的化学成分、锭模设计、冶炼及浇注条件、加工方法、成品形状和尺寸的不同，一般宏观缺陷有不同的种类、大小和分布情况。

在钢锭的上部以及加工后相当于该部位的钢坯和钢材上，最容易有缩孔、疏松、气泡、偏析等缺陷。一般在上小下大的钢锭轧制方坯中，发现小头部位的缺陷较为严重，中部次之，大头较轻。因此国家标准（GB226--77）中钢的热蚀试验方法里规定，在接近于钢锭帽口部位取样。

对于新设计锭模，用新浇注方法及冶炼新钢种时，最好解剖钢锭进行酸蚀试验，以检验各种缺陷的分布情况，然后再确定取样部位。根据检验工作者的经验，一般在冒口以下一段距离内组织比较致密，但在此以下又有两次收缩疏松现象。此时若限于在冒口下取样则不会发现最严重的缺陷。

对于上大下小的钢锭底部，由于锭模涂料操作不当或涂层过厚，有时会发现锭外表面渗碳，酸蚀后呈现黑斑。同时该处气泡及硅酸盐夹杂也较多，所以此时也需要取底部坯材检验。在研究工作中还曾发现靠近冒口一端的钢坯头部是非金属夹杂物最集中的地方。同时一炉钢水浇注几个钢锭时，在最初和最末的钢锭中发现宏观缺陷较多，故取样时必须考虑这些问题。

对于检验钢中白点或研究钢的白点敏感性时，如果在热锻或热轧时切取试样，其长度应大于锻材或轧材厚度或直径的尺寸，并按规定程序进行冷却。如对合金结构钢或滚珠轴承钢，退火前应在室温放置24h以上，对低碳合金钢则放置时间不少于48h，以保证白点有充分孕育形成的时间，同时酸蚀面距坯端的距离应不小于其厚度或直径之半。

对于检验材料的表面缺陷时，如淬火裂纹、磨削裂纹、淬火软点等缺陷，则应选择钢材或零件的外表面进行酸蚀试验。

对于“失效分析”，除了在失效部位选取试样外，还应在未失效的部位选取试样，进行试验以资比较。

总之，作低倍酸蚀试验的选样部位，应能代表整体为原则。但必须指出，试样非经特别规定，均应在预先退火后再作酸蚀试验。因为硬化状态的试样在热酸蚀时会自行开裂，这样就和原来存在的裂纹缺陷无法区分。在一般酸蚀试样检验中，试样最好从钢坯上取，以便酸蚀后容易发现缺陷。如果钢坯上无严重缺陷，则对钢材可不必再做此项检验。取样方向应根据检验目的来定。一般检验，多取横截面试样以便观察整个截面情况，若检验钢中流线、应变线、条带组织，则应取纵截面的试样。

截取试样可用锯、剪切或切割等方法。小型试样也可用手锯或砂轮片切割。但无论采用何种方法都必须保留一定的加工余量，以确保酸蚀试样面仍保持原来的组织状态。

一般检验面距切割面的距离：热锯时不小于5mm。剪切时不小于材料直径或厚度的 $1/2$ ，但不得小于20mm。用氧乙炔气割时，一般不小于40mm，最后把热影响区全部切除。

对于大型件，可在有代表性的局部区域，经机械车、铣加工后，用橡皮泥作挡酸墙，然后再作酸蚀试验。

二、试样的制备

酸蚀试样检验面的粗糙度应根据检验目的，技术要求以及所用侵蚀剂的反应强度而定。根据实际情况与检验需要，可用不同的粗糙度试样，如锯切，或经车床加工，刨床加工，磨床磨光等。如有必要，也可用砂纸细磨。通常表面粗糙度达 $Ra1.6\mu\text{m}$ 即可满足要求。在特殊情况下，较细的锯切面也可使用，只有在检查较细的组织及缺陷时则需研磨或抛光。

关于检验面的粗糙度，有以下几点作参考。

锯切加工面可用于检验较大气孔、严重内裂及疏松、缩孔、较大的外来非金属夹杂物等缺陷。

粗、细车削加工面常用于检验小气孔、疏松、夹杂物、树枝状结晶组织、淬硬层深度、偏析、流线等。

磨床磨光面一般用于检验钢的渗碳层和脱碳层深度、带状组织、晶粒度、磷偏析和应变线等宏观组织。显示这些组织的通常方法是用较弱的侵蚀剂在冷状态下侵蚀。

经验证明，当车床刀具在试样面上的压力及速度过大时，金属的流变对宏观缺陷，如气孔、夹杂、偏析、发纹及裂纹等会引起不同程度的掩盖作用，降低其鉴别率。因此不能用高速切削法制备宏观检验试样。

在研究工作中，若检验面需要精磨或磨光时，小型试样可在金相抛光机上进行。一般试样可用手工操作法，在垫平的砂纸上研磨。大型试样则最好将试样面朝上平放，用卷上砂纸的直尺来磨光，也可以在钻床上用带有砂纸的轮盘来加速磨光。用砂轮研磨时，如压力过大会导致试样温度升高，造成局部灼热现象，使试样在侵蚀后出现与砂轮加工方向一致的白色难蚀或黑色易蚀条及斑痕，这种现象易被误认为严重层状组织或其它缺陷。

第三节 热酸蚀试验

一、酸蚀试验的简单原理

酸蚀试样的腐蚀属于电化学腐蚀范畴。由于试样的化学成分不均匀，物理状态上的差别，各种缺陷的存在等因素，造成了试样中许多不同的电极电位，组成了许多微电池。微电池中电位较高的部位为阴极，电位较低的部位为阳极。阳极部分发生腐蚀，阴极部分不发生腐蚀，当酸液加热到一定温度时，这种电极反应更加速进行，因此加快了试样的腐蚀。

二、酸蚀试验的设备

酸蚀槽：一般使用铸铅槽、耐酸搪瓷缸等，如果小型试样可用玻璃烧杯。

加热器：用煤气或电炉均可加热。

中和槽：配制工业纯碱 (Na_2CO_3) 浓度为3~5%的稀碱水，用来中和酸蚀后试样上的残留酸液。如做小型试样，该项设备可不用。

冲洗槽：一般装有自来水的水槽就可以了，用此槽来冲洗试样。

冲洗刷：用来刷洗试样表面的腐蚀产物，一般市售尼龙刷即可。

沸水具：用来冲淋试样表面，使之快速蒸发。

吸湿布：一条干燥整洁且无颜色的毛巾，用它来揩吸试样表面上的水迹。

电吹风机：用热风吹干试样，以防生锈。

三、热蚀试剂

用于热酸侵蚀的试剂较多，且均能达到侵蚀的目的，为达到试样面上最佳清晰度，酸蚀试剂应该具备下列条件：

能清晰地显示出材料中的低倍宏观组织和缺陷。

侵蚀试剂的配制要简便，在腐蚀过程中酸液的性质要稳定，其浓度不应有大的变化，酸液与钢的作用不应过剧或过缓。

在使用过程中，挥发性小，空气污染要小。

按照上述三个原则，表1-1列出几种常用的热蚀试剂。根据试验要求，可选择合适的试剂进行钢的热蚀试验。

表1-1 几种常用的热蚀试剂

试剂名称	溶液配比	适用范围
盐酸水溶液	HCl(工业用) 1份 H ₂ O 1份	结构钢、弹簧钢、碳素钢、工具钢、轴承钢、高速钢、不锈钢、耐热钢
盐酸、硝酸水溶液	HCl(工业用) 10份 HNO ₃ 1份 H ₂ O 10份	奥氏体不锈钢和耐热钢
重铬酸钾、硝酸、盐酸水溶液	HCl(工业用) 100ml HNO ₃ 100ml H ₂ O 100ml K ₂ Cr ₂ O ₇ 11~12g	奥氏体、铁素体不锈钢及耐热钢
硝酸水溶液	HNO ₃ 1份 H ₂ O 1份	铜及铜合金
氢氧化钠水溶液	NaOH 5g H ₂ O 100ml	铝及铝合金

四、热蚀温度和时间

热蚀温度对显示结果有很重要影响。温度过高，侵蚀剧烈，酸液容易挥发且试样被整体腐蚀，降低了对不同组织和缺陷的鉴别能力。温度过低，则反应迟缓，侵蚀时间要延长。因此，对不同的钢种，有其不同的侵蚀温度范围。

侵蚀温度确定之后，侵蚀时间要根据钢种、检验要求和试样被侵蚀面的粗糙度来确定。一般来讲，碳素钢需要时间短些；合金钢需要时间长些；高合金钢需要时间更长些。

检验一般的低倍组织和缺陷，试样加工面可以粗些，但所需侵蚀时间也就要长些；对较细微的低倍组织和缺陷，被检验面要细些，侵蚀时间也相应短些。表1-2列出了一些常用钢种所需温度和时间，供参考。

表1-2 不同钢种试样热蚀所需温度与时间

钢种	侵蚀温度 (°C)	侵蚀时间 (min)	侵蚀液
易切削钢	70~75	5~10	1:1盐酸水溶液
碳素结构钢、碳素工具钢、弹簧钢、马氏体复相不锈钢、耐热钢	65~80	10~20	
合金结构钢、合金工具钢、轴承钢、高速钢	60~70	15~40	
奥氏体不锈钢 耐热钢	70	5~25	水 10份 盐酸 10份 硝酸 1份
铜及铜合金	50	5~10	水 1份 硝酸 1份
铝及铝合金	70	5	水 100ml 氢氧化钠 5g

一般根据实践经验，在侵蚀接近终了时，先将试样取出冲洗，观察其是否达到要求的程度。如果侵蚀尚浅，可继续侵蚀；若侵蚀过度，就必须将试样面重新加工后才能重复侵蚀。

五、热蚀操作过程

首先将配制成的酸液放入酸蚀槽内，并在加热炉上加热。将已加工好的试样，用蘸有四氯化碳的棉花将其油污擦洗干净，用塑料粗导线将试样扎好，使试样面向上，然后将试样置于规定温度的酸液槽内热蚀；到温后，开始计算侵蚀时间；到时间后，试样从酸液中取出。如果是大型试样，可先放入碱浴槽里作中和处理。如果是小试样，可直接放入流动的清水中冲洗。

试样面上的腐蚀产物可用尼龙刷或软毛刷在流动的清水中刷掉。用事先准备好的沸水喷淋试样，并快速用干净且无颜色的热毛巾将试样立即包住。随后打开毛巾，用电热风机将试样面上的残余水渍吹掉。

如果试样面上存有水渍或其它污垢，应放回侵蚀槽中略行侵蚀或用稀盐酸擦洗，然后再取出重新冲洗吹干。

经过上述操作的试样即可用肉眼或放大镜进行检验。必要时，可立即照相记录。如果以后要进行复查或作其它用途，则将试样存放在干燥器中，或在试样面上涂一层油脂，以防生锈。

六、热蚀试验注意事项

配制酸液时，必须按照配制化学试剂原则，先配制水，再缓慢地加入酸。切不可将水倒入酸中，以免发生酸液溅伤操作者。

酸液应保持在规定的温度范围内，不能过高或过低。温度过高会使酸的挥发加剧，从而降低酸液浓度，致使酸液的腐蚀作用减弱。酸液温度过低，会使腐蚀作用减缓，延长试验时间。

热蚀时间过长，会造成试样面过腐蚀，从而使试样重新

加工后再次热蚀。热蚀时间过短，使钢材中存在的缺陷不易显露出来，致使某些缺陷漏检。

连续使用五次以上的酸液，必须补充新液，否则因酸液的陈旧或过脏影响试验的正常进行。

试样面的粗糙度愈细，侵蚀后的效果愈好。若试样面粗糙度粗，则钢中存在微小的缺陷不易显示，使整个试样面上的宏观组织不能得到全面反映。

在流动清水中冲洗热蚀后的试样时，应均匀洗刷试样面上的腐蚀产物，否则会在试样面上留下因洗刷不匀而引起的覆盖层。

热蚀试验操作，应在通风场地或装有通风设备的房间里进行，以免影响操作者的身体健康。

第四节 冷酸蚀试验

冷酸蚀也是显示钢的低倍组织和宏观缺陷的最简便方法。由于这种试验方法不需要加热设备和耐热的盛酸容器，因此特别适合于不宜切开的大型锻件和外形不能破坏的一些大型机器零部件。冷酸腐蚀对试样面的粗糙度要较热酸腐蚀高些，一般要求其粗糙度达 $Ra0.8\mu m$ 。酸蚀的时间，以准确、清晰显示钢的低倍组织为准。

冷蚀法可直接在现场进行，比热蚀法有更大的灵活性和适应性。唯一缺点是显示钢的偏析缺陷时，其反差对比要较热蚀效果差一些，因此评定结果时，要较热蚀法低1级左右。除此之外，其它宏观组织及缺陷的显示与热蚀法无多大差别。

一、冷蚀试剂

冷蚀试验用的试剂较多，常用的冷蚀液配比和适用范围见表1-3。

表1-3 几种常用的冷蚀试剂

编号	冷蚀液配比	适用范围
1	盐酸500ml、硫酸35ml、硫酸铜150g	钢与合金钢
2	三氯化铁200g、水100ml、硝酸300ml	
3	盐酸300ml、三氯化铁500g、加水至1000ml	
4	10~20%的过硫酸铵水溶液(容积比)	碳素钢及低合金钢
5	10~40%的硝酸水溶液(容积比)	
6	三氯化铁饱和水溶液加少量硝酸(1/50容积比)	
7	硝酸1份、盐酸3份	合金钢
8	硫酸铜100g、盐酸和水各500ml	
9	硝酸60ml、盐酸200ml、三氯化铁50g、过硫酸铵30g、水50ml	精密合金及高温合金
10	硝酸50ml、醋酸酐50ml	
11	硝酸30ml、醋酸20ml	
12	盐酸50ml、硫酸35ml、硫酸铜150g	高温合金
13	重铬酸钾5g、盐酸15ml、硝酸5ml、水30ml	不锈钢、耐热钢等

二、冷酸侵蚀法操作过程

首先用蘸有四氯化碳的药棉清洗试样，除去试样表面和四周的油污。然后将试样置入冷蚀液中，试样面向上且被冷蚀液浸没。

侵蚀时要不断地用玻璃棒搅拌溶液，使试样受蚀均匀。到时间后，试样自冷蚀液中取出并置于流动的清水中漂洗。与此同时用软毛刷刷洗试样面上的腐蚀产物。如果试样面上的低倍组织和缺陷未被清晰显示，试样仍可再次置入冷蚀液中继续腐蚀，直至显示出清晰的低倍组织和宏观缺陷为止。