

金相图片选集

于柏年 李镇刚 主编
宋绍琪 李顺英



中国标准化协会
国家标准总局标准化综合研究所

金相图片选集

于柏年 李镇刚 主编
宋绍琪 李顺英



中国标准化协会
国家标准总局标准化综合研究所

金 相 图 片 选 集

于柏年 李镇刚 宋绍琪 李顺英 主编

(限国内发行)

中 国 标 准 化 协 会 出 版
国家标准总局标准化综合研究所
农 业 出 版 社 印 刷 厂 印 刷
中国标准化协会技术服务部 发行

开本 16 开 印张 字数 500 千字

印数 1 ~ 4200 册 1981年11月第一版

定价: 10.00 元

内容提要

本图册比较全面地介绍了各种金属材料、处理工艺及通过不同测试技术所摄取的各类金相组织照片。金相图片均作材料牌号、处理工艺、制样方法、腐蚀剂、金相组织等详尽说明；全书共十二章，每章撰有概括论述及专题分析、研究成果。

本书可作为生产过程中工艺检验、新工艺、“新组织”研究和新测试技术应用等金相标准对照，亦可做为有关事故分析的依据。

本册图片选集适用于科研单位、高等院校及工厂、企业有关技术人员和工人使用；亦可供高等院校、中等技术学校有关专业教学参考。

前 言

金相测试技术是工业的眼睛，随着科学技术的发展，它的重要性已经日益充分地显示出来。现代化建设的宏伟事业，为广大金相工作者提出了更高的要求，同时也为金相研究理论的发展和金相测试技术的不断提高开拓了广阔的前景。在现代化建设的进程中，它将发挥极其重大的作用。

为检阅首都各行业金相测试技术的水平和科研成果，交流经验，共同提高，以更有力度地促进首都四化建设，在北京市技术交流站的主持下，于1979.12~1980.1举办了《北京市金相图片展览》。这届金相图片展得到北京及中央在京各高等院校、科研机关和有关工厂企业的积极支持和热情协作，展出内容丰富，形式新颖。就展出的质量和规模、深度和广泛性方面，均可窥见令人振奋的专业成果，得到普遍的重视和好评，引起强烈的反响。

鉴于本市及各地广大金相工作者及从事有关工作的同志的强烈要求，在有关领导、部门的积极支持下，我们承中国标准化协会和北京市技术交流站的委托，在上述展览的基础上，根据所收录的近三千帧金相图片精选、编撰《金相图片选集》。本图册充分体现了广大从事金相工作的科研人员、技术人员和工人师傅的聪明才智和辛勤劳动，是理论与实践结合的结晶。

在编辑过程中，编者着重考虑图册的实用价值，以满足科研和生产的需要。根据金相研究的特点和征求广大金相工作者的意见，在突出代表性和尽可能系列化的前提下，对论述、金相组织图片和各项说明等方面做了适当的安排；对具体金相图片，则基本尊重原作。在编辑过程中，编者力求内容全面系统，分类精细合理，论述概括准确，图片典型清晰，说明详尽具体，便于参照使用。

《金相图片选集》全书计分十二章，所及内容广泛，其中包括各种类型的金属材料、工艺、金相组织和测试方法。从纯金属、铸铁到复杂合金、特殊材料；从铸态到经过各种复杂热处理状态；从普通金相检验到高温金相研究；从光学显微镜到电子显微镜、超高压电镜；从低倍、断口检验到晶体位向的研究；从黑白金相摄影到彩色金相；……既包括具有普遍生产意义的典型资料和成系列的金相等级标准，又包括具有高水平的科研成果。

对新型材料、“新组织”的研究，以及对能够满足各种不同要求的测试技术的探讨和应用，是本书的又一特点。例如以不同的测试方法研究板条状马氏体；用高温金相技术研究贝氏体和马氏体转变的动态过程；用超高压电镜研究珠光体中晶体结构及位错；用金相腐蚀抗技术研究晶体位向等等，均在有关章节中结合相应金相照片进行探讨和论述。

长期以来，金相专业资料颇感缺乏，成为从事这方面工作的同志普遍关注的问题。编者试图通过这册图集汇集各方面的智慧和劳动，谨供在新长征中为攀登材料科学和金相研究新高地、以及为提高产品质量和探索新工艺而努力工作的广大金相工作者参阅，

希望能对读者的工作有所裨益；同时，编者试图通过本书能够提供一种有益的尝试，抛砖引玉，将相继出现更多更好的金相专业著作，在现代化建设的征途上发挥更大的作用。

应该指出：欲全面、精辟地反映如此庞杂丰富、风格各异、色彩纷呈的金相作品之水平，对编者来说是一项异常艰巨的任务；尤其必须将其归纳、提炼和论述，则愈感力不从心。编者抱着学习的态度完成这项很有意义的工作，由于水平和条件的限制，加之时间仓促，本书不可避免地存在不足或错误，敬望读者给予批评指正。

在筹备、展览和编辑过程中，北京市技术交流站做了很多有益的工作、很多单位提供宝贵的资料，为本书的出版做出了很好的贡献；在《金相图片选集》编辑工作中，我们得到部分大专院校、科研机关和工厂的热情指导和积极协助，并蒙有关同志参加技术性审核，对上述单位和同志，一并表示深切的感谢！

编者

目 录

第一章	低倍和断口检验	1
第二章	夹杂物	29
第三章	铸 铁	41
第四章	碳 钢	56
第五章	合金钢	66
	一般合金钢	71
	轴承钢	89
	高速钢	94
	板条马氏体形貌	99
	高温金相	103
第六章	化学热处理	110
第七章	高温合金	121
第八章	焊 接	134
第九章	有色金属及其合金	156
	铜合金	162
	铝合金	166
	镁合金	172
	钛合金	176
	单晶及其它有色合金	182
第十章	其它:	184
	粉末冶金	189
	蚀坑技术	198
	晶间腐蚀	209
	精密合金	210
第十一章	电子显微技术	217
第十二章	彩色金相	247
	后 记	271

第一章 低倍和断口检验

一、低倍检验

钢的宏观检验通常亦称低倍检验，系指肉眼或不大于十倍的放大镜检查金属表面或断面，以确定其宏观组织的方法。

由于金属的不均匀性，使化学分析、力学性能试验和金相显微检验很难全面地代表和评定钢材的质量。宏观检验则在很大程度上弥补了这方面的不足。宏观检验是用以控制产品质量的极重要手段，也是研究钢的生产和加工工艺所普遍采用的方法。宏观检验主要包括：酸蚀、断口、塔形车削发纹检验和硫印试验等。

在低倍检验中，对碳含量高而质脆的工具钢要求进行断口检验；对韧性较高的结构钢，则规定热酸蚀或断口为检验项目；对特殊用途或要求严格的钢材，如轴承钢、弹簧钢等，规定两者皆作；塔形车削发纹检验则是检验特殊用途或高级优质材料各部分发纹缺陷的主要手段；而硫印则显示了钢中硫及其它元素的总的偏析情况。

在金属材料的宏观检验中，酸蚀是最常用的检验材料缺陷、评定金属质量的方法。酸蚀检验的方法有：热酸蚀检验法、冷酸蚀检验法及电解腐蚀法；在冶金厂的正常生产检验中多以热蚀法为主。有关酸浸检验的各项要求、规定和质量评定标准等，均在相应技术条件、标准和双方协议中规定。

酸蚀试样一般应取横向，以观察整个截面的质量情况；若检查钢中流线、带条组织以及检验淬裂、磨裂、淬火软点，或有特殊要求时，则采用纵向或外表面试样。最常使用的1:1盐酸水溶液被认为是一种通用的热酸蚀浸蚀剂，浸蚀温度在65~80℃为最好。

酸蚀检验观察面远远超过了显微观察的范围，能直接观察到钢材成份、组织的不均匀性和缺陷形式及分布，较全面地反映整个截面的质量情况；同时其方法简易，一般不需特殊和十分严格的样品制备。在钢材生产和机器制造业中，酸蚀检验常列为按顺序检验项目中的第一位。

低倍组织的辨认和评定，是评价钢材质量的重要依据。经酸蚀后的试样可发现各种皮下及内部缺陷，计有：疏松、偏析、气泡、缩孔、翻皮、白点、裂缝、夹杂及皮下缺陷等。

上述缺陷基本可分为成份和组织不均匀及材料基体连续性遭到破坏两大类。这些缺陷的存在，大大地降低了钢的强度、塑性和韧性指标，特别是对断面收缩率的影响尤甚，严重影响材料的正常使用。

疏 松

在横向热酸蚀面上表现为组织不致密，呈现集中或分散分布的小孔隙和小黑点，其形态多为不规则的多边形或园形。疏松严重时，有连接成海绵状的趋势。疏松处的化学

成份中碳、硫、磷含量较之基体偏高，因之经酸蚀后变黑。

疏松主要是钢凝固过程中，由于晶间部分低熔点物质最后凝固收缩，放出气体和杂质集聚而产生的孔隙。它经常伴随着缩孔，而在其附近存在。当金属冷凝时以树枝晶的形式结晶，在树枝晶晶轴凝固后金属体积发生收缩，以致轴间金属溶液不足而又得不到补充，从而形成晶轴间的显微缩孔及偏析引起的低熔点物质，此即枝间疏松；同时，当各个晶粒基本凝固后，由于晶粒间的金属溶液不足而又得不到补充，从而形成晶粒间的显微缩孔，此即晶间疏松。根据疏松的分布情况，将其区分为中心疏松和一般疏松。

中心疏松是指钢材横向酸蚀截面中心部位的组织不致密；若在纵向酸蚀试片上观察，中心疏松则表现为不同长度的条纹。中心疏松一般出现在钢锭头部和中部，通常含碳量越高的钢种表现越为严重。严重的中心疏松在冷加工时有产生内部裂纹的倾向。

中心疏松评级时主要根据试样中心部位的点和空隙的大小、数量及集聚程度，并适当考虑点和空隙所占的面积。

一般疏松是指钢材整个酸蚀截面上的组织不致密性，其有时也表现为在粗大发亮的树枝状晶主轴及各轴间的疏松。

一般疏松评级时主要根据组织疏松的严重程度、空隙及黑点的大小和多少，并适当考虑树枝状晶的严重程度和树枝状晶的粗细。

钢中存在严重的疏松时，会影响钢的力学性能，因此必须采取有效措施，以最大程度地减少这种缺陷。

必须严格控制冶炼和浇注工艺，减少气体、夹杂物及其它杂质的含量，提高钢的纯度和使已出现的杂质、气体上浮、使树枝状晶得不到发展；采用如提高冒口液体金属面和冒口加热技术等措施，使凝固过程中出现的收缩、空隙得到液体金属的补充；根据钢的种类选用适当的钢锭模型并尽量避免冷凝过快；以及设法使钢锭结晶细小致密，以降低疏松产生可能的措施等。

偏 析

金属在凝固过程中，由于选择结晶和扩散作用引起化学成份的不均匀分布，这种现象总称为偏析。在酸浸试样上，偏析若是易蚀物质和气体、夹杂析集的结果，将呈颜色深暗，形状不规则、有很多密集微孔的斑点；偏析若以抗蚀性较强元素析集为主时，则呈颜色浅淡、形状不规则、较光滑微凸的斑点。

如所周知，凝固首先自外层开始，结果导致外层区域富集高熔点组元，而心部则富集低熔点组元，同时也富集着凝固时析出的非金属夹杂和气体等。这种偏析称为区域偏析。

区域偏析倾向的大小，不仅取决于合金凝固温度范围与合金元素或杂质元素的扩散速度，而且生产工艺条件有着很大影响，如浇注温度愈高、速度愈大，冷却速度愈小，也就愈易于促成偏析；同时，铸锭截面越大，区域偏析也越严重。方框型偏析和点状偏析即属于区域偏析。

方框型偏析亦即锭型偏析，在横向酸浸试样上呈现腐蚀较深的、由密集的暗色小点组成的偏析带。由于热加工的影响，偏析带的形状可呈不规则的菱形、十字形等。方框

型偏析是钢液结晶过程中，由于结晶规律的影响而造成柱状晶与等轴晶中间区域的成份偏析和非金属夹杂及其它杂质富集。在偏析带上，碳、硫、磷及其它杂质含量较高；偏析愈严重，偏析带的组织疏松也愈严重。

严重的方框型偏析是不允许的缺陷，其导致产生热脆性、冷脆性和塑性指标的降低，尤其横向性能下降更为显著。

由上述可知，钢液的纯度及冶炼、浇铸工艺的合理性是影响方框型偏析的内因和外因。为此，采用纯净的原料、洁净的浇铸系统、提高钢液的纯度，以及选用适当的浇铸温度、速度，冷却速度和合理的锭型，乃是杜绝或减轻方框型偏析的可靠途径。

评定方框型偏析主要根据偏析带的组织疏松程度、框带宽度，以及方框大小和颜色决定。

点状偏析在横向酸浸试样上，呈现不同形状、大小的分散的黑色斑点，斑点一般较大；在纵向酸浸试样上表现为暗色条带。点状偏析严重时，往往伴随大量气泡、裂纹出现。由于钢锭冷凝时结晶条件的不同，点状偏析有时亦呈十字形、方框形、同心圆点状及无一定形状地集中局部或任意分布。依缺陷在试片上存在部位不同，点状偏析又可分为一般点状偏析（分布于整个断面上）及边缘点状偏析（分布于试样边缘处）。就化学成份而言，偏析处碳、硫、磷含量较高，且杂质较多。高倍检验时，严重点状偏析处有较高级别的硅酸盐、硫化物等夹杂物。

对点状偏析形成原因和机理，目前看法尚不一致，主要归纳为这样两种：（i）结晶条件是形成点状偏析的主要因素。（ii）钢液中大量气体的存在，使得某些低熔点组元、杂质聚集。

点状偏析常出现在钢锭上部。它的存在大大降低钢材的力学性能。依据点状偏析的特征可以看出：钢液中的气体，偏析组元及杂质的聚集是缺陷存在的条件和内容。所以采用干燥、洁净的原材料及浇铸系统以杜绝气体、杂质的来源；充分沸腾脱氧，以促使气体、杂质上浮；使钢中铝限制在下限，以降低钢的粘度；选择适当的浇铸工艺及锭型，提高结晶速度以避免偏析组元、杂质、气体的聚集等，均可防止或减少点状偏析的出现。

评定点状偏析主要根据点的大小、多少和密度，并适当考虑斑点的颜色。

气 泡

钢在液体时能溶解大量气体，在浇铸凝固过程中产生和放出气体，随着温度降低气体的溶解度下降，其中部分气体因金属凝固的影响，不能自钢中逸出，而包容在尚处于塑性状态的金属中而形成气孔，即称为气泡。

根据气泡在横向低倍组织中的分布情况，将处于边缘附近的称为皮下气泡；而将距边缘较深的统称为内部气泡。

皮下气泡是在钢材、钢坯表皮下的气泡。在横向酸浸试样上，靠近钢材表皮部分呈现垂直于表面的或放射状的细裂纹，有呈圆形、椭圆形的暗黑斑点。由于加工的影响，使缺陷暴露于钢材、钢坯表面，形成沿加工方向延伸的小裂纹。气泡处及其附近伴有硫的偏析和氧化、脱碳现象。

内部气泡一般指距表面有一定距离的气泡，它是由于钢液中较多含量的气体在冷凝

过程中析出，但未能逸出于空气中而留在凝固后的钢材内部所形成。这些气泡多为圆形而略带椭圆状，热加工后的断面低倍试样上表现为略带弯曲的细小裂纹；气泡内壁无氧化影响，故在纵向断口上具有光亮的金属光泽；内部气泡往往伴随点状偏析同时出现。

为防止和消除气泡，必须采用干燥的原材料、干燥的浇铸系统和保护浇铸；严格控制浇铸工艺规范和操作；清除钢锭模内表面铁锈和烘干砂型；以及采用适当烘烤过的、粘度适当的涂料和保证均匀、厚度适宜的涂层等。

气泡的存在可能产生偏析，导致裂缝，同时气泡减少了金属铸件的有效截面，且由于其缺口效应，大大地降低了材料的强度。

缩 孔

在横向低倍试样的中心区域呈现不规则的皱折、空洞或缝隙，其附近往往出现严重的疏松、偏析及夹杂物的集聚。在热酸蚀试样上，这种共存或伴生特征是缩孔区别于锻裂的主要依据。若在此缺陷处取样做显微检查，常会发现其附近有严重的氧化物、硫化物或硅酸盐夹杂物，同时伴有氧化脱碳现象。

缩孔是由于钢液最后凝固部分收缩而又得不到补充所造成，并在热加工时切头不够而残留的。对于液态下比容大于固态下比容的材料来说，缩孔是不可避免的。缩孔一般多出现在钢锭头部，但由于锭模设计或浇铸操作不当，缩孔也可能出现在钢锭的中部、尾部，即所谓二次缩孔。

铸锭中存在缩孔，将显著地降低钢材的力学性能；同时由于残余缩孔切除不净，而在其后加工中导致“分层现象”等缺陷，严重地影响了钢材的使用性能，甚至在使用中发生断裂；另外切除缩孔必然造成材料的损耗。目前，生产单位广泛采用带保温帽的锭模，并采用发热冒口加发热剂等使缩孔集中在冒口部分的措施，从而有效地改善钢材质量。

评定缩孔级别主要依据缩孔残余的严重程度和占有面积的大小。

翻 皮

翻皮在横向酸浸试样低倍组织中呈现亮白色、弯曲而不规则的细长条带，在其周围尤其是周边部位常伴有氧化物夹杂和气泡。在显微镜下检查，沿翻皮处及其附近有严重氧化物或硅酸盐夹杂物及脱碳现象。这种缺陷一般出现在钢锭上部，常分布于试样边缘部位，但也有时出现在其它部位。

翻皮是在浇铸过程中产生的。浇铸时由于操作不当等因素，钢锭模内钢流冲破处于上升钢液的表面、且呈半凝固态的氧化膜，并将此附有上浮夹杂的氧化膜卷入钢中，形成所谓翻皮。当浇铸温度低、浇铸速度快时易使钢液表面之氧化膜卷入钢中，以及锭模除油不当等均易产生翻皮。

由于翻皮中经常伴有气泡和夹杂，使钢的连续性遭到破坏，严重影响了钢材的性能，故在很多标准中均被列为不允许存在的缺陷。在生产中经常采取如下措施防止其产生：适当提高浇铸温度、掌握恰当的浇铸速度，以避免氧化膜卷入钢中；锭模须洁净光滑、涂油适度以及采用有效的保护浇铸等。

白 点

白点在横向酸浸低倍组织中呈现不同长度的细小发纹，也称发裂。这些发丝状的裂缝多为不连续的、一般呈辐射状或不规则的排列，其往往分布于试样心部或近心部。在纵向断口上表现为圆形或椭圆形表面光滑的银白色斑点；而在纵向低倍组织中则呈锯齿状发纹，并与轧制方向成一定角度。在上述裂缝处做显微观察时，发现白点多为穿晶裂纹。

为使检验可靠，试样在距钢材端部 $1/2$ 直径处切取，纵向试样则通过钢材之中心线。在淬火后的断口上检验，是识别白点较为有效的方法。

关于白点形成原因，目前还没有一致公认的结论，较为流行的假说认为钢在冷却过程中析出氢气和组织应力是形成白点的主要原因。

具有白点缺陷的钢材，其纵向抗张强度与弹性极限降低并不多，但延伸率则显著下降，尤其断面收缩率与冲击韧性下降甚多，有时甚至接近于零；这些钢材的横向力学性能较之纵向降低更甚。因此，有白点缺陷的钢材是不能使用的。

根据白点形成的原因，防止白点产生的主要措施一般通过下述几方面进行。

1. 冶炼方面：采用干燥及无锈的原材料；采用干燥和无锈的锭型及不含氢的涂料；采用适当的浇注温度和注意浇铸系统的干燥；采用钢锭缓冷制度等。
2. 热加工方面：将钢锭、钢坯进行均匀化处理或退火，热加工后进行缓冷。
3. 对已产生白点缺陷的钢材先行退火，再经适当锻压比锻轧及缓冷。但是应该指出，对于消除白点后的钢材不得用于重要产品上。

轴心晶间裂纹

轴心晶间裂纹在横向酸浸试样的轴心区域，表现为沿晶间开裂呈网状断续裂缝，严重者在钢锭及钢材中心呈放射状裂开，裂缝沿树枝状组织各主、枝干间发展。这种缺陷多在树枝状组织严重的低碳铬钢中出现，高铬镍耐热不锈钢及某些低碳钢中也有发现；同时，在大钢锭、大尺寸坯料中较易出现。将上述试样做断口试验可观察到断口上有分层现象。

轴心晶间裂纹的形成主要与钢锭凝固时的热应力有关。钢锭凝固时的收缩应力作用于含有气体、夹杂的晶界；同时，凝固后期收缩应力增大，边缘对中心部位的拉应力也很大，故沿中心部位富集气体、夹杂的脆弱晶界形成裂纹。此外，也有人认为已经脱氧的钢在出钢和浇铸过程中又被空气二次氧化而导致轴心晶间裂纹产生。

为了防止、减轻和消除轴心晶间裂纹，应该适当地缩短凝固时间，使钢锭中心部位的钢液在液态下保持时间尽量缩短，以消除或减轻裂纹产生倾向；在冶炼中注意钢的脱氧良好，并在出钢时加钙—硅合金和加镁，以防止钢液二次氧化；同时严格控制浇铸温度和浇铸速度，力求合理的冷却速度以减少凝固时的组织应力与热应力等。此外，还可以增大锻压比和轧下量，以促使已存在的轴心晶间裂纹得到焊合。

轴心晶间裂纹根据缺陷严重程度进行评定。

夹杂物

在横向低倍试样上,呈现个别的大颗粒或成簇的细小非金属夹杂物,有时或与翻皮和气泡同时出现。由于夹杂物的性质不同,其表现特征各异,有呈白色,有呈其它颜色,有被腐蚀掉而在试样上留下许多空隙和空洞。夹杂物可以被看作为金属内部的锐角,会导致应力集中,而使钢材过早地疲劳破坏。

非金属夹杂物或夹渣,在断口上呈一种非结晶结构的颗粒,有时为颜色不同的细条纹及块状;有时出现在整个断口,也可能出现在局部或皮下,其分布没有一定的规律。分布于钢材、钢坯表皮下的夹杂称皮下夹杂;分布于其它部位者称为内部夹杂。

非金属夹杂一般系在冶炼、浇铸过程中由外部进入钢液中的炉衬、耐火材料和其它非金属颗粒,以及卷入钢液中的熔渣等,其一般比内在非金属夹杂物大得多,为肉眼可见。

在有关钢材的标准中,不允许肉眼可见的非金属夹杂、夹渣存在。为防止非金属夹杂物的出现,必须:在冶炼时加强氧化沸腾,促使夹杂物上浮;采用高质量的耐火材料;控制适当的钢液温度和保证钢液在钢包中充分镇静以利夹杂物上浮。

异金属夹杂在低倍试样上呈现各种不同形状、边缘清晰和被浸蚀颜色与周围基体显然不同的异金属块,有时在其边缘上有密集的针孔。

异金属夹杂是由于冶炼末期加入合金料未及完全熔化或落入钢锭模内的外来固体金属而形成的。异金属夹杂的存在破坏了钢组织的完整性,使机械性能在局部产生很大不均匀性,特别与基体相接处强度极低,是不允许的缺陷。

严格执行冶炼和浇铸操作规定,合金料大小及加入时间要适当,且待合金料完全熔化以后方得浇铸。

二、断口检验

断口组织是钢材质量的重要标志,断口检验是低倍检验的重要手段之一。断口检验是将试样以适当的方式折断,然后用肉眼或十倍放大镜检查断口情况。

关于断口的制备,标准中规定不大于40毫米的钢材作横向断口;而大于40毫米的钢材,则作纵向断口。断口折断前的状态,以真实显示缺陷为准,除特殊原因外,试样一般须在淬火硬化后再行折断;折断时应力求避免断口邻近部分塑性变形,设法保证使沿最薄弱处,即缺陷处裂开。

断口检验的最大特点是可以发现钢本身的缺陷和钢在热加工、热处理等制造工艺中存在的问题,并对使用和生产制造过程中破损的断口,以及拉力、冲击等试验破断后的断口,不须任何加工制备,直接进行观察检验。因此,断口检验试样加工简易,可以发现一般检验不易发现的缺陷,且因能够观察破断后的自然表面而获得直接资料等优点。

断口检验与酸浸试验两种方法,相辅相成,互为补充,对全面评价钢材质量是必不可少的可靠手段。

由断口上可显示出钢中的白点、夹渣、夹杂、疏松、气泡、内裂、缩孔等缺陷及鉴定晶粒大小等;常见断口种类有:韧性断口、脆性断口、瓷状断口、层状断口、茶状断

口、石状断口、石墨断口等。

韧性断口（纤维状断口）：金属材料断裂前经过显著变形的断口；断口呈暗灰色，无光泽，是无结晶颗粒的均匀组织。

脆性断口（结晶状断口）：金属材料在没有显著变形之前即行断裂的断口；断口呈灰色，是有光泽的结晶颗粒组织。

层状断口：在纵向断面上，沿热加工方向出现无金属光泽、非结晶结构的致密木层状条带。由于形成原因不同，断口可能呈现木纹状、平滑台阶状，也可能呈现灰白色致密条带的偏析线断口。

层状断口一般出现在钢材的轴心区域。低倍检验中出现缩孔、偏析、轴心晶间裂纹、翻皮、气泡等的钢材经淬火回火或调质处理后均会出现相应的层状断口。因此，层状断口出现的部位、形态、条带宽度均与低倍缺陷一一对应。

层状断口主要是由于化学成份偏析、树枝状偏析及钢中金属夹杂物而使钢材存在塑性不均匀区域而形成的。

检验层状断口，试样应在韧性状态下折断。

瓷状断口：经正确淬火和低温回火的高碳钢具有这种断口，其形态类似细瓷碎片断口，呈亮灰色、致密、具有绸缎光泽和柔和感。

茶状断口：是一种脆性穿晶的粗晶断口，其上布满具有弱金属光泽的颗粒，由于各颗粒晶面对光反射能力不同而闪烁着结晶茶样光泽。茶状断口多是合金结构钢和高速钢等热处理时，由于过热使晶粒粗化而形成的。

在低倍酸浸试样上其呈现粗大晶粒。

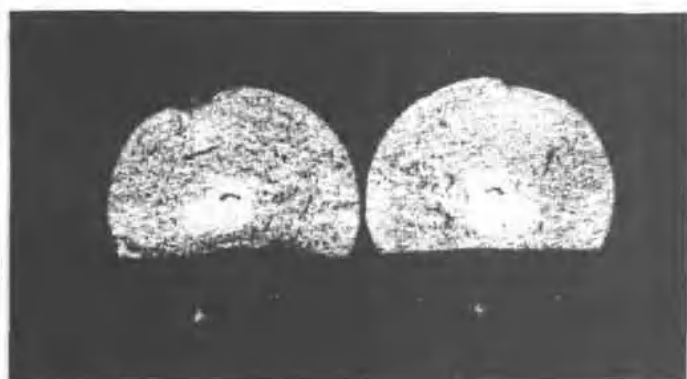
石状断口：在纵向断口上，粗大晶粒象具有棱角的小石粒镶嵌在断面上，呈灰暗色，无金属光泽。石状断口是因为过烧或严重过热而形成的沿晶界断裂的粗晶断口。石状断口不严重时往往与茶状断口同时存在，严重时可分布在整个断面上。

石状断口采用一般热处理方法不易消除。

石翻断口：在纵向断口上，局部或整个断面（严重时）呈现灰黑色，严重时甚至可看到石墨碳颗粒。金相检验为沿晶断裂，石墨碳呈散落花瓣样沿晶界析出。这种缺陷多出现在高碳工具钢，特别是含硅、钨、钼的钢种。

具有石墨断口——黑脆断口的钢材，化学成份和组织的均匀性遭到严重破坏，机械性能显著降低，且用热加工、热处理方法不能消除，是不允许出现的缺陷。

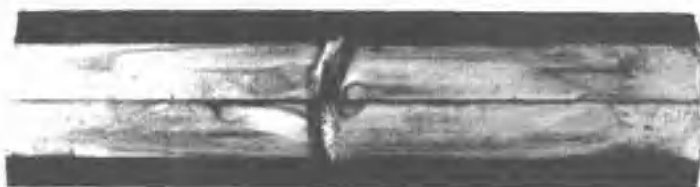
断口检验除对以上几种类型的断口及缺陷进行鉴别和检验外，还可以进行白点、疏松、气泡、内裂、非金属夹杂物等缺陷的检验，这些缺陷的特征、检验方法等在冶金部标准中均有相应规定，这里不予赘述。



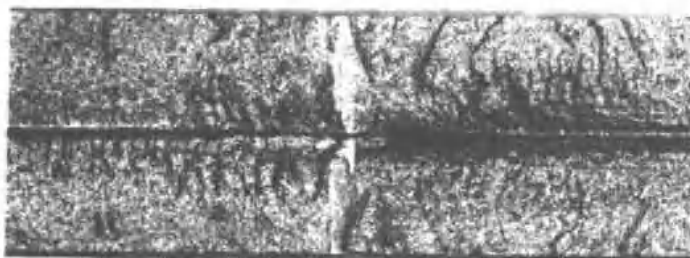
缩管



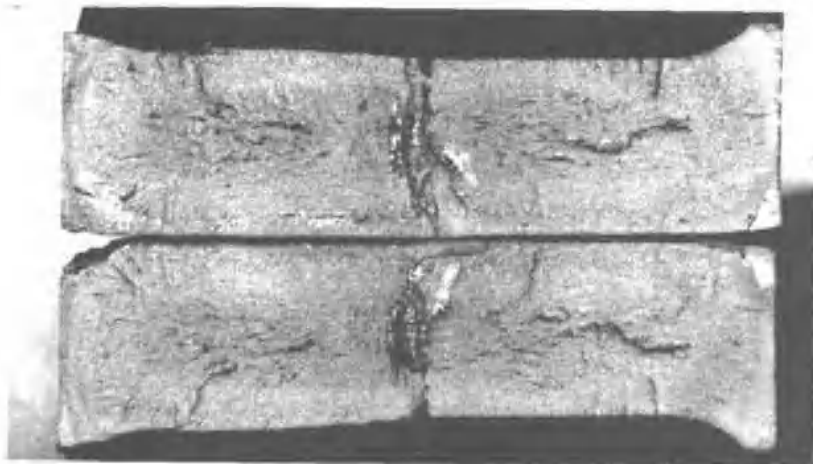
缩管



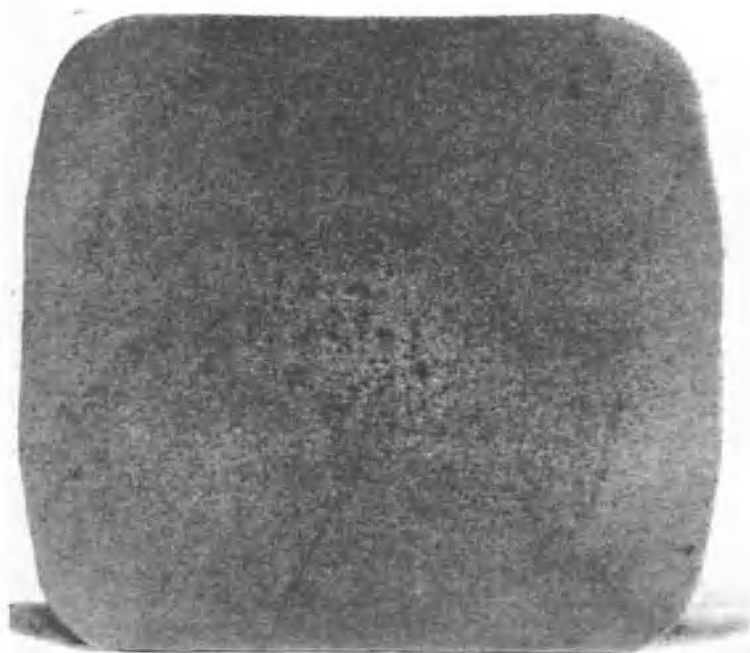
缩管



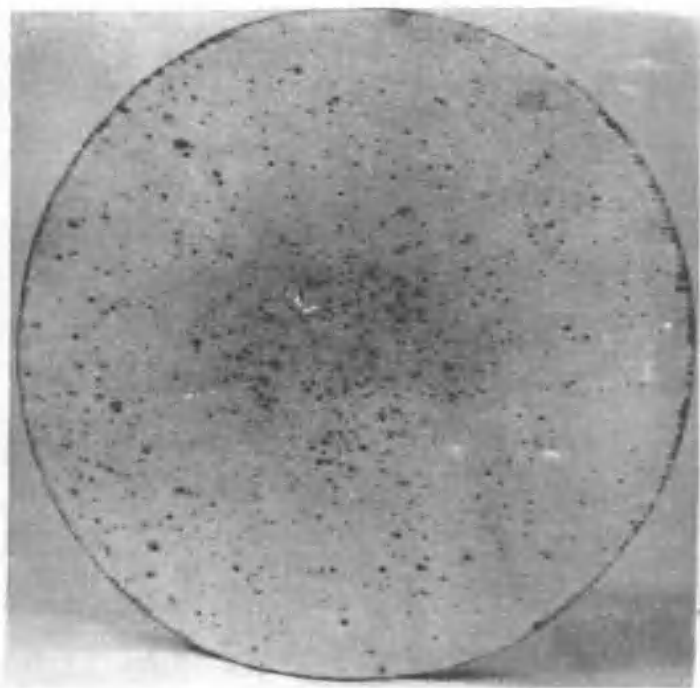
缩管断口



缩管断口



中心疏松



一般疏松