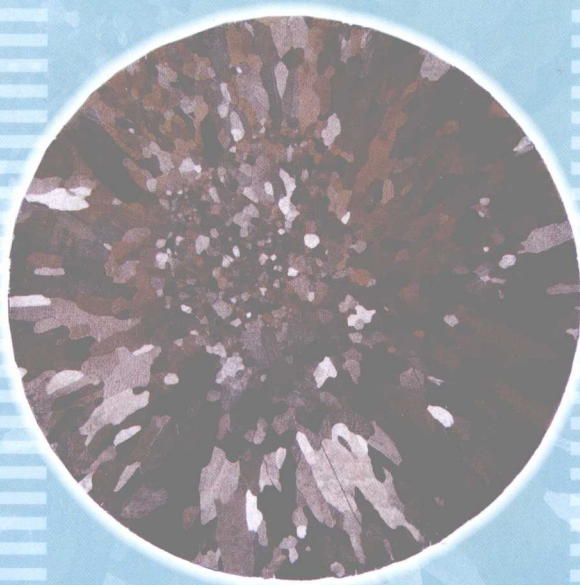


低倍检验在连铸生产中的应用和图谱

王志道 主编



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

低倍检验在连铸生产中的 应用和图谱

王志道 主编

北 京

冶金工业出版社

2009

内 容 提 要

连铸坯低倍检验方法是连铸生产中常用的一种质量检验方法,由于其试样制备不复杂,可直观地观察缺陷,因此得到广泛的应用。本书介绍了低倍检验技术在连铸生产中的应用,以 200 余幅图例直观地展示了连铸坯组织和缺陷。

本书可供连铸领域工程技术人员、质量检验人员、生产人员、教学人员、管理人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

低倍检验在连铸生产中的应用和图谱 / 王志道主编. —北京:冶金工业出版社, 2009.1

ISBN 978-7-5024-4759-5

I. 低… II. 王… III. 连铸坯—检验—图谱 IV. TG249.7-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 189000 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 葛志祺 刘小峰 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4759-5

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2009 年 1 月第 1 版, 2009 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 8.25 印张; 174 千字; 120 页; 1-2000 册

70.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

本书编委会

主 任 王志道

副主任 万体娅

委 员 (以姓氏笔画为序)

万体娅 王中元 王志道 朱 斌

李百炼 李 靖 吴成宾 何宇明

陈文满 郑建华 骆忠汉 董大西

魏祖康

序 言

近二十年来，我国连铸生产和连铸技术的进步，推动了整个钢铁行业的发展。连铸技术作为钢铁工业水平的标志之一，已经成为钢铁生产发展的主要技术动力。进入 21 世纪，中国以崭新的姿态面向世界，我国钢铁生产取得了举世瞩目的成就。连铸技术取得了非常大的进步。连铸新工艺、新技术、新材料、新品种不断出现。连铸技术已经成为冶金行业一颗璀璨的明珠，受到广泛的关注和青睐。连铸生产技术经济指标有了明显的改善，连铸的品种开发和铸坯质量也有了长足的进步，目前，一大批高水平的现代化炼钢—连铸生产企业顺利建成并投产，向市场越来越多地提供高质量的产品。我国的连铸生产能力和技术发展水平令国人感叹，令世界瞩目！

随着生产能力的提高和市场需求的丰富多彩，铸坯质量保证越发显示出其重要性。连铸坯质量检验是连铸生产质量保证的关键手段之一。多年来，连铸行业中一大批从事铸坯检验工作的技术人员做了大量艰苦细致的工作。对于连铸坯的质量包括铸坯纯净度、凝固组织、表面缺陷、内部缺陷及形状缺陷，很多质量检验人员在现场或实验室，多年摸索经验、探寻方法、搜集图片、分析研究，总结了很多好方法、好经验。同时大家感到，铸坯质量检验是质量把关的环节，质量检验技术也是学术研讨的重要课题。

中国金属学会连续铸钢分会从许多真诚关注质量检验工作、脚踏实地从事质量检验工作、认真积累了很多好经验并保存了很多珍贵图谱的质检工作人员那里得到了支持，并把很多珍贵的图谱结集出版。本图谱对铸坯的检验方法，特别是低倍检验方法进行了介绍。图谱还把大量的生产实践中发现的铸坯缺陷进行展示或分析，供连铸生产单位参考。

愿这本图谱把从事连铸坯质量检验工作的科技人员和从事质量研究的连铸科技人员联系起来，不断总结，共同探讨，把连铸坯质量检验工作做好。



2007 年 7 月

前 言

连铸坯检验是保证铸坯质量的重要环节。多年来，从事铸坯质量检验的技术人员做了大量艰苦细致的工作，摸索了多种铸坯检验的方法，收集了很多图谱，积累了丰富的经验和大量可贵的资料。大家的辛勤工作使连铸坯质量检验技术有了很大的发展。在市场需求丰富多彩的今天，提高检验技术水平以确保铸坯质量尤为重要。

中国金属学会连续铸钢分会根据连铸技术人员的要求，于2007年6月首次举办了连铸坯质量检验技术研讨会，会议主要交流了低倍检验技术。通过交流和讨论大家感到，低倍检验技术是连铸坯质量检验的重要手段，其方法简便又直观，受到连铸科技人员的重视。现在很多生产厂都采用低倍检验方法，有的厂还有自己的低倍检验标准。面对连铸技术的发展对检验水平要求越来越高，与会代表认真讨论了低倍检验技术，交流了检测方法，也讨论了如何经过分析判断得出检验结果，如何把检验结果结合铸机的工艺及设备参数来分析缺陷产生的原因等。会议代表感到，连铸坯低倍检验不仅是一个简单的质量检验方法，而且它已经成为一个很重要的技术课题。与会代表建议把低倍检验技术和有关图谱编辑成书，把多年来连铸质量检验工作者在工作中兢兢业业、精心积累的经验和方法等介绍给同行，也为连铸工艺和设备人员与质量检验人员的密切沟通、紧密结合搭起桥梁，从而进一步提高连铸坯质量检验水平，促进质量检验技术的发展。

本书中的文稿及图谱均从会议征文中选取，本书的编辑出版得到了广大质量检验工作者和连铸技术人员的大力支持，特向他们表示崇高的敬意和衷心的感谢。

本书的编辑出版是连续铸钢分会在铸坯检验交流方面的一个尝试，书中的缺点和不足之处敬请谅解和指正。

中国金属学会连续铸钢分会
2008年7月

目 录

1 低倍检验与连铸生产	1
1.1 低倍检验方法在连铸生产中的应用	1
1.2 连铸坯低倍检验方法简述	2
2 连铸坯的内裂	4
2.1 皮下裂纹	5
2.2 中间裂纹	11
2.3 角部裂纹	15
2.4 三角区裂纹	18
3 连铸坯中心部分低倍缺陷	20
3.1 中心疏松和中心缩孔	20
3.2 中心偏析	29
3.3 中心裂纹	42
4 夹杂物	51
5 气泡	56
6 其他类型缺陷	63
7 连铸坯组织	67
7.1 细小等轴晶带	67
7.2 柱状晶带	68
7.3 等轴晶带	68
8 连铸坯缺陷图谱	76
8.1 皮下裂纹	76
8.2 中间裂纹	77
8.3 角部裂纹	82

8.4	三角区裂纹	82
8.5	中心疏松和中心缩孔	83
8.6	中心偏析	91
8.7	中心裂纹	96
8.8	夹杂物	104
8.9	气泡	107
8.10	其他	109
8.11	低倍组织	117

1 低倍检验与连铸生产

1.1 低倍检验方法在连铸生产中的应用

低倍检验方法是对钢坯和钢材进行质量检验的一种重要方法，在钢铁生产中应用很多年，由于其检验方法简便，能够快速而直观判断钢坯和钢材内部存在的缺陷，因而得到广泛的应用。在模铸生产中低倍检验主要是针对轧制后的钢坯或钢材，在连铸生产中低倍检验是针对铸造状态下的连铸坯。我国质检部门已制定了较全面的连铸坯低倍检验标准，在判断连铸坯内在缺陷，提高连铸坯质量上起了重要作用。

低倍检验在连铸生产中应用主要有以下几个方面：

(1) 判断连铸坯内部质量、缺陷的形态及确定连铸坯缺陷的程度。这是现在普遍应用着的方法，是因为低倍检验方法简单、快速准确，许多厂都用低倍检验法来确定铸坯内部各种缺陷，如裂纹、缩孔等。按照连铸坯低倍检验标准来确定各种缺陷等级，许多厂都根据这些缺陷等级决定连铸坯的使用范围及判废标准。

(2) 低倍检验能快速提供连铸生产中工艺及设备等重要信息。由于连铸生产是较为复杂的工序，其铸坯质量受多种因素影响，如连铸工艺、连铸设备、钢水性质等。对连铸坯质量问题的分析就是一个较复杂的问题，有时一个缺陷是多种因素造成的，有时同一个因素在不同条件下产生不同的缺陷，实际生产中铸坯出现缺陷是多种因素综合作用的结果，因此仅看低倍试样很难准确分析缺陷产生的原因。实际生产中往往根据低倍上缺陷的形态再结合这台连铸机的设备及工艺、钢水质量等各种信息进行综合分析，通过大量经验积累就能准确地分析出各种缺陷产生的原因。这里一方面通过低倍试样准确反映出缺陷形态，同时掌握连铸过程中各种缺陷产生的机理，为准确判定缺陷提供条件。

(3) 低倍检验方法还有一个重要功能，采用特定的低倍检验方法可以很好地把连铸坯凝固后的结晶组织显露出来，这对研究连铸技术是很重要的。众所周知，连铸生产中铸坯传热、凝固和结晶过程都是按一定规律进行的，最终的结晶形态必然由影响这一规律的因素决定。不同的连铸坯组织对铸坯质量有不同的影响，例如，一般认为铸坯中心保持一定量的等轴晶可以减轻中心偏析，发达的柱状晶增加铸坯产生裂纹的倾向，因此我们希望在连铸过程中调节各工艺参数控制铸坯的结晶组织。不同类型的连铸机，由于其冷却条件不同，其铸坯组织存在一定的差异，研究这些组织对控制冷却条件是很有意义的。控制连铸坯组织及连铸坯组织对轧材质量影响是目前连铸技术发展的重要课题，应用低倍检验显露出铸坯组织则是此研究中重要的环节。

1.2 连铸坯低倍检验方法简述

连铸坯低倍检验方法有三种：硫印法、热酸洗法和冷酸洗法。硫印法和热酸洗法都有标准，这里仅就实际应用中的问题做一些讨论。

硫印法是把经过硫酸浸泡相纸贴在经加工的连铸坯表面上，由于钢中硫化物与相纸上的硫酸反应，生成硫化氢，硫化氢与相纸上溴化银作用生成硫化银沉淀，在相纸上相应位置形成黑色或褐色硫化银斑点。从相纸上黑色或褐色斑点的位置分布及集中程度就反映出连铸坯表面硫化物的分布和密集程度。硫是钢中较普遍存在、偏析倾向较严重、对绝大部分钢有危害的，因此，从硫化物的偏析情况可以判断钢的质量，严重硫化物偏析处往往伴生有裂纹。

硫印法操作较热酸法方便，因此应用较普遍，但是随着钢中硫含量降低，硫化物夹杂减少，硫印往往显现不出来，因此现在多用热酸蚀法和冷酸蚀法。

热酸蚀法是把加工好的试样放在稀盐酸中加热一段时间，由于稀盐酸对钢的裂纹周围的偏析物、夹杂、晶界和基体都有不同程度的腐蚀，因此，经热酸浸的表面显现出裂纹、偏析聚集区、夹杂以及晶界等。热酸蚀法已经使用多年，钢的质量检验标准都是按热酸蚀法制定的。但是在热酸蚀法中，由于加热温度和浸泡时间不易掌握，往往出现腐蚀不足或过度腐蚀，有时缺陷未充分显露，有时缺陷被人为扩大。

现在很多厂采用冷酸侵蚀方法，其效果与热酸蚀法相同，不需要酸洗槽和加热装置，侵蚀程度也较易掌握，下面介绍一些冷酸蚀的方法。表 1-1 是常见的冷酸蚀试验试剂配方及工作条件简介。

表 1-1 常用的冷酸蚀试验试剂配方及工作条件

序号	组 成		工 作 条 件	用 途
1	硝酸 (1.49g/cm ³)	10mL	室温擦拭或浸入	显现碳素钢及低、中合金钢的低倍组织
	水	90mL		
2	过硫酸铵	10g	室温擦拭，试剂在新配成状态应用	显现焊缝结构
	水	90mL		
3	同试剂 1		室温下用试剂 1 擦拭 10min；再用试剂 2 擦拭 10min	显现碳钢，低、中合金钢大锻件低倍组织、白点、裂纹等缺陷 ^①
	同试剂 2			
4	氯化铜	2.5g	用滴管将溶液滴在试样表面上，然后用热水冲洗。沉淀的铜可用氨水除去	显现磷偏析
	氯化镁	10g		
	盐酸 (1.19g/cm ³)	5mL		
	酒精	<250mL		

续表 1-1

序号	组 成	工 作 条 件	用 途
5	(1) 硝酸 ($1.49\text{g}/\text{cm}^3$) 10mL 乙醇 90mL (2) 氯化铁 40g 氯化铜 3g 盐酸 ($1.19\text{g}/\text{cm}^3$) 40mL 水 500mL	先用试剂(1)再用试剂(2) 擦拭试样表面	显现杂质偏析
6	氯化铜 90g 盐酸 ($1.19\text{g}/\text{cm}^3$) 120mL 水 100mL	试样加热至 $200\sim 250^\circ\text{C}$, 保温 $5\sim 30\text{min}$, 然后以溶液擦拭。用酒精或 50%盐酸水溶液冲洗。	显现冷加工造成的变形线
7	硫酸铜 180g 盐酸 ($1.19\text{g}/\text{cm}^3$) 900mL 硫酸 ($1.84\text{g}/\text{cm}^3$) 60mL	室温擦拭 $5\sim 7\text{min}$ 后以清水冲洗 ^②	显现不锈钢 1Cr13、2Cr13、Cr11MoV 等低倍组织及缺陷

① 酸洗后进行一次检查, 停留 $12\sim 24\text{h}$ 后再检查一次。

② 此溶液作用强烈, 并发出刺激性气体, 试验时应注意安全防护。

做低倍组织试样需要腐蚀能清楚地看清晶界, 因此对试样的表面粗糙度要求较高, 特别是需要拍出清晰的照片时, 表面加工需达 R_a 值为 $1.25\mu\text{m}$ 。虽然热酸和冷酸腐蚀都能看到连铸坯组织状况, 但现在大都采用冷酸蚀法腐蚀, 因为腐蚀程度较易控制。

2 连铸坯的内裂

连铸坯内裂是连铸生产中较普遍的一种缺陷，它对铸坯质量影响很严重，许多铸坯因存在内裂而成废品，因此，连铸坯内裂缺陷一直受到各方面的重视，也有大量有关这方面的研究文章。造成铸坯内裂的原因较为肯定的观点综述如下：

(1) 内裂产生必须有应力、应变存在。在连铸生产过程中主要有热应力和机械应力。热应力如铸坯受冷却收缩产生热应力，铸坯在凝固过程中发生相变，存在相变应力。铸坯相邻两部分冷却速度不同，有的部分甚至出现温度回升并产生膨胀现象，造成两部分之间产生温差应力；机械应力有支撑辊位错产生的应力，两辊之间铸坯产生鼓肚造成的应力，铸坯矫直过程中产生的应力等及偶然因素造成的外来应力。

(2) 内裂产生另一个条件是应力应变超过了钢的极限强度，应变率超过允许值。在连铸坯生产过程中热坯有两个低塑性温度区，在此温度范围内钢的塑性大大降低，当存在应力应变时极易造成裂纹。

钢在高温下塑性随温度变化见图 2-1 和图 2-2。

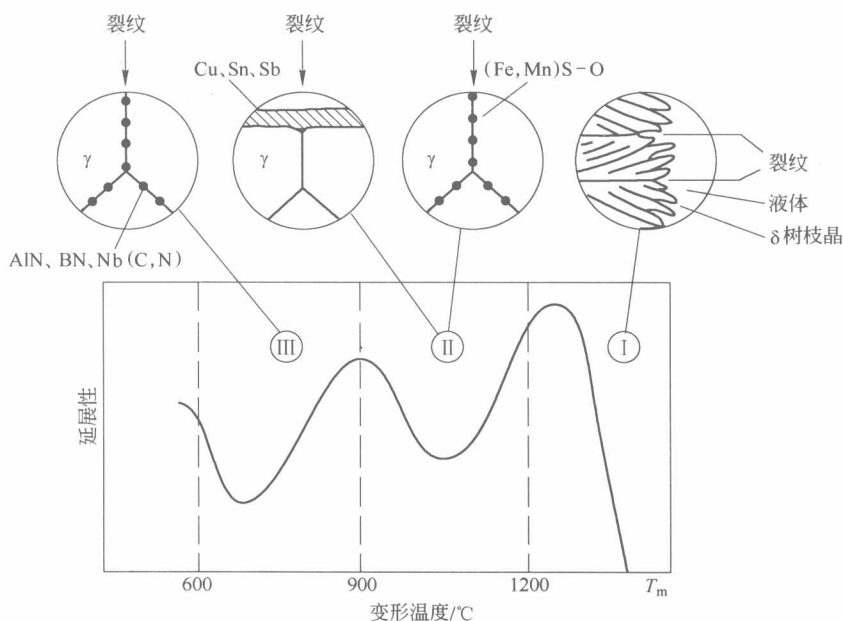


图 2-1 高温脆裂区域与结晶结构的关系示意图

图 2-1 是一个示意图，钢在一定的温度区间存在几个低塑性的区域，连铸生产过程变形速率较低，存在两个低塑性区。如图 2-2 的实测曲线所示，一个是在钢水凝固

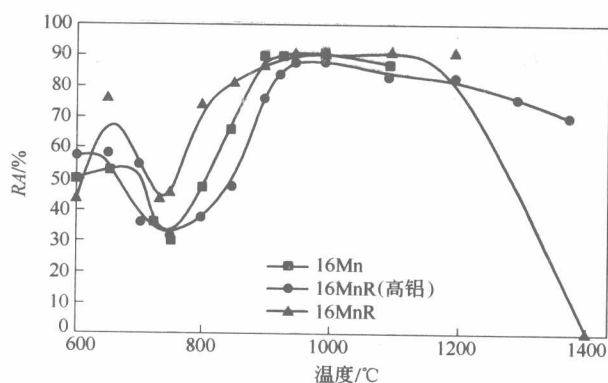


图 2-2 16Mn 系列脆性曲线

率 50%以上的凝固区，如图中 1400℃，钢几乎是没有什么塑性。再一个是 700~900℃，氮化物在晶间析出，使塑性有所降低。当钢的塑性较低时，它受到应力作用就极易产生裂纹。

连铸坯内裂产生的位置与生产工艺条件存在有一些内在联系。下面介绍皮下裂纹、中间裂纹、角部裂纹、三角区裂纹等内裂。

2.1 皮下裂纹

皮下裂纹是指连铸坯表皮下几毫米到十几毫米处出现的裂纹。图 2-3 是一个典型的皮下裂纹图例。有时裂纹会延伸很长。这种裂纹是钢液在结晶器到足辊这一段凝固过程中出现的，这一段钢液受到较强的冷却，形成厚度不等的初生坯壳，这时的坯壳

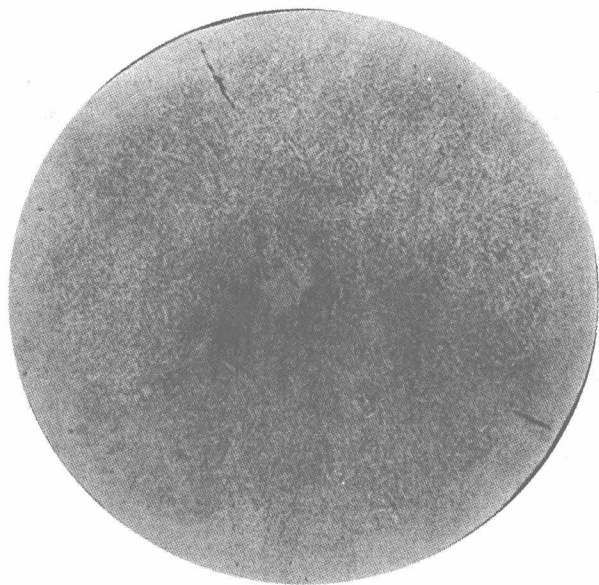


图 2-3 热酸蚀检验的圆坯皮下裂纹

温度往往正处于低塑性区，因此极易产生裂纹。从结晶器设计的角度看，要求每一个横截面四周冷却强度相同，但是由于铸坯的形状、保护渣膜厚度、气隙宽度、钢液在结晶器内的流场等因素，初生坯壳冷却和收缩不均匀，某个部位热应力集中就会产生裂纹。当铸坯出结晶器进入足辊区段，由结晶器铜壁冷却变为喷水冷却，冷却强度和冷却方式都有较大变化，铸坯有可能受到更大的热应力。在足辊处，有时会受到足辊的错位和铸坯鼓肚作用，增加机械应力，大方坯就较容易出现由此原因产生的裂纹，小方坯由于气隙过大等原因，在结晶器内冷却不均匀，形成脱方，在菱变的钝角处受到张力形成皮下裂纹。

图 2-4 和图 2-5 是铸坯切割后显露出的皮下裂纹，图 2-6 和图 2-7 是程度不同的两种圆坯皮下裂纹。

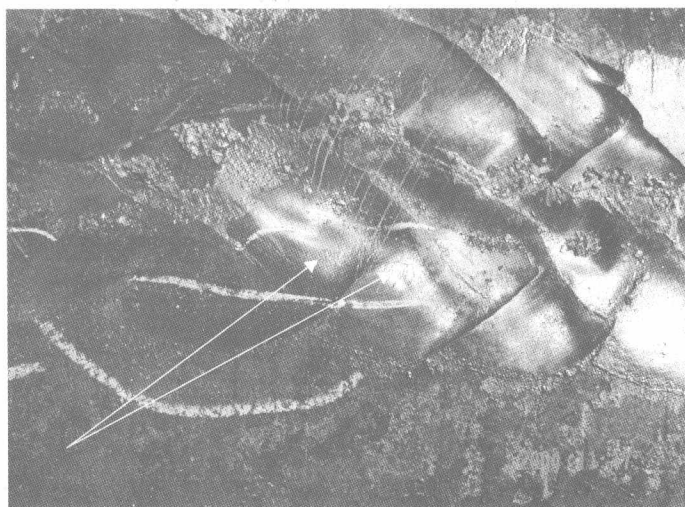


图 2-4 切割后看到的皮下裂纹



图 2-5 板坯皮下裂纹



图 2-6 硫印检验的圆坯皮下裂纹

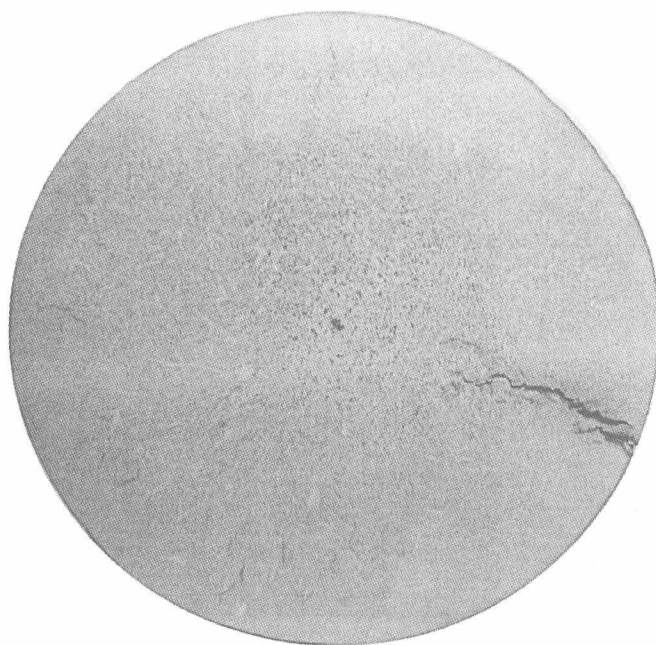


图 2-7 热酸蚀检验的圆坯皮下裂纹

图 2-8 和图 2-9 是用热酸蚀检验的圆坯的皮下裂纹同时带有中间裂纹的图例。

图 2-10~图 2-14 分别是圆坯皮下裂纹 1 级、圆坯皮下裂纹 2 级、圆坯皮下裂纹 3 级、圆坯皮下裂纹 4 级和小方坯的皮下裂纹。

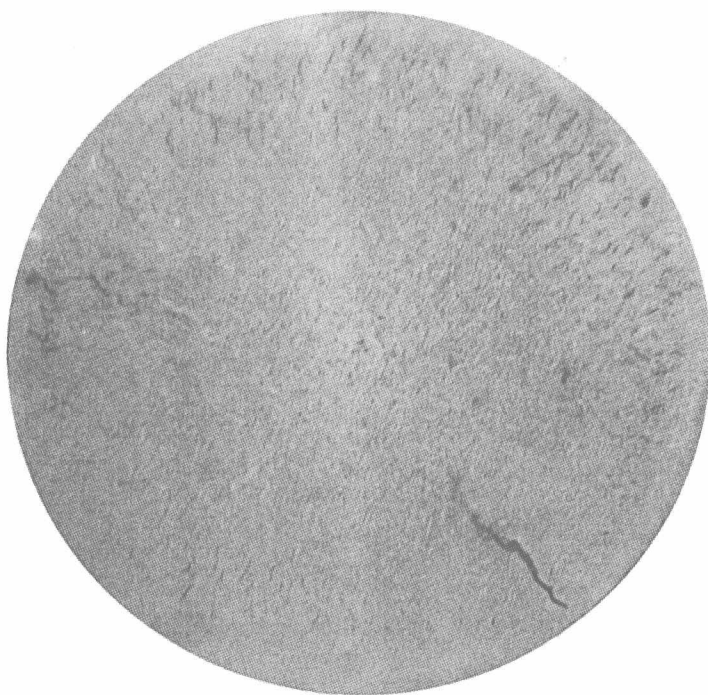


图 2-8 热酸蚀检验的圆坯中间裂纹和皮下裂纹

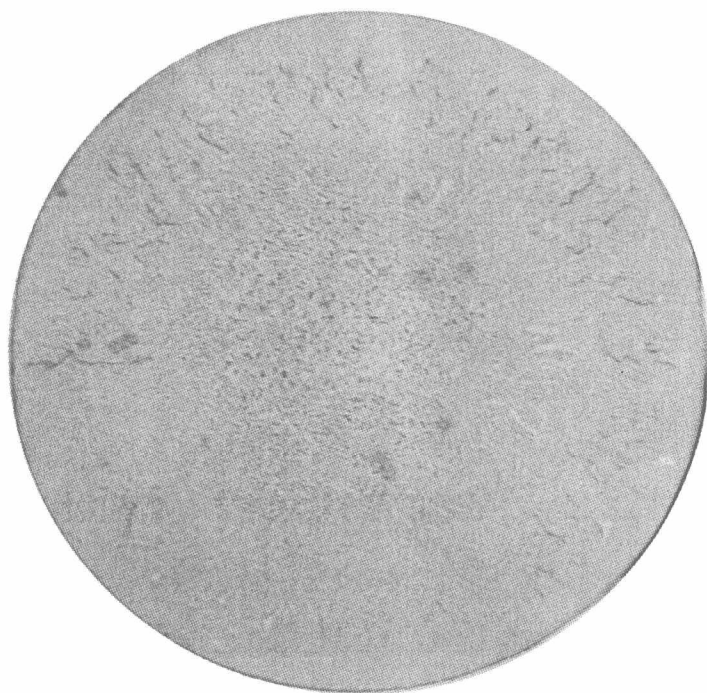


图 2-9 热酸蚀检验的圆坯中间裂纹和大量皮下裂纹

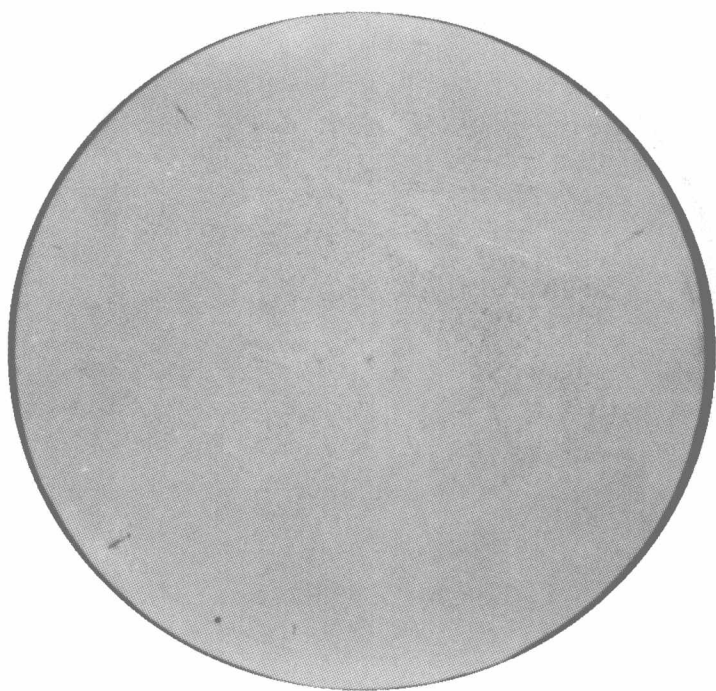


图 2-10 圆坯皮下裂纹 1 级

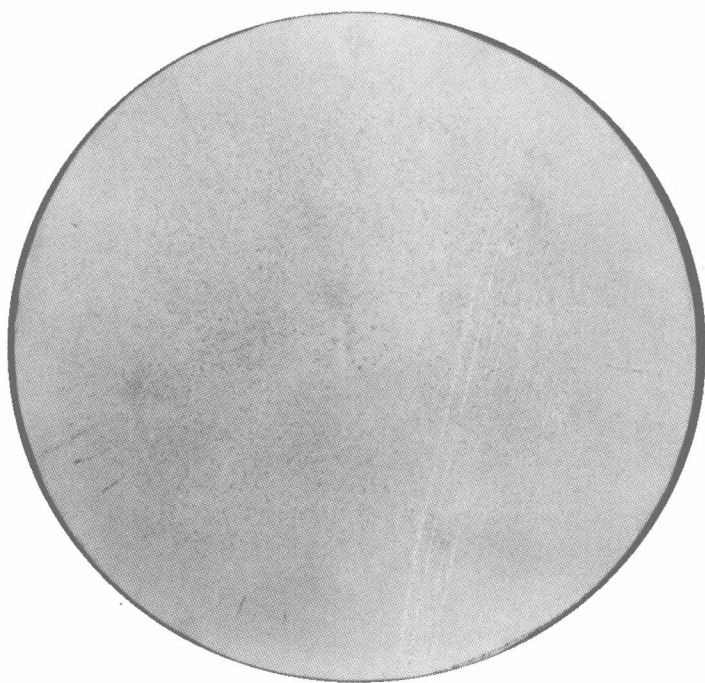


图 2-11 圆坯皮下裂纹 2 级