

TE 113-64

S

31

C.2

金属材料缺陷金相图谱

上海市金属学会 主编

上海科

內 容 提 要

本图谱包括金属材料在冶炼、加工、热处理和使用过程中所产生的缺陷,以及进行金相試驗时由于操作不当所引起的缺陷。

每章之首,編有一概括的說明,扼要地列举了产生缺陷的工艺因素,以及缺陷的檢查和防止或消除方法。对每一图片,均附有說明。

本图谱可供有关生产单位、研究机构的科学技术工作者和高等院校师生参考。

金属材料缺陷金相图谱

上海市金属学会 主編

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)
上海市书刊出版业营业許可証出 003 号

上海新华印刷厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 787×1092 1/18 印张 14 插頁 111 排版字数 418,000
1966 年 3 月第 1 版 1966 年 3 月第 1 次印刷
印数 1—4,100

統一书号 15119·1836 定价(科六) 7.10 元

目 录

I. 缩 孔.....	1
II. 气 泡	18
III. 疏 松	44
IV. 偏 析	62
V. 夹杂物.....	100
VI. 表面缺陷.....	144
VII. 白 点.....	162
VIII. 氧化与脱碳.....	178
IX. 过 热.....	192
X. 过 烧.....	208
XI. 裂 纹.....	226
XII. 脆 性.....	276
XIII. 渗碳与氮化缺陷.....	298
XIV. 镀层缺陷.....	316
XV. 腐蚀与磨损.....	332
XVI. 疲 劳.....	358
XVII. 断 口.....	374
XVIII. 铸铁缺陷.....	388
XIX. 其他缺陷.....	420
XX. 试验操作不当引起的缺陷.....	442

I. 縮 孔

純金屬與合金，除極少數(如鈹)外，絕大多數在冷凝過程中由於體積的收縮而在鑄錠或鑄件心部形成管狀(或喇叭狀)或分散的孔洞，稱為縮孔。

當液態金屬注入鑄型時，與冷型壁接觸而迅速凝固，形成緊靠型壁的金屬外殼，而心部則仍保持液體狀態；隨後繼續冷卻，心部金屬才繼續凝固。如果將冷凝過程分成若干階段，則可用下面的金屬錠凝固示意圖來說明金屬凝固而形成縮孔的過程。

當液體金屬注入鑄型(A)後，最先形成凝固層a，其內部完全與液體金屬相接。由於a層的凝固而使金屬的體積收縮，液體金屬表面下降到b綫。由於液體金屬表面的下降，在隨後繼續冷卻凝固時就形成開口的圓筒a'；此時金屬體積又發生收縮，液體表面再下降到水平綫c。隨後又凝固成開口的圓筒a''，液體金屬表面再下降到d；……直到整個鑄型中的金屬完全凝固為止。此時在鑄錠的心部就可觀察到由於收縮而形成的喇叭形孔洞——縮孔。縮孔的體積，通常相當於液體金屬和固體金屬的體積之差。

縮孔是金屬由液體冷凝時體積減小的必然結果。採用一般的澆鑄方法鑄成的黑色金屬以及大部分有色金屬，是不可能消滅縮孔的，但可能使縮孔由鑄錠或鑄件的這一部分轉移到另一部分，或是改變縮孔與金屬之間的相對體積。

有時由於鑄型設計或鑄造不當，鑄錠上部已基本凝固，而下部錠心區仍處於液體狀態，且得不到液態金屬的及時補充，此時在鑄錠下部亦會產生縮孔。為了使它與鑄錠上部的縮孔有所區別起見，這種縮孔稱為二次縮孔。

鑄件中形成縮孔的原因和過程，也與上述情況相似。

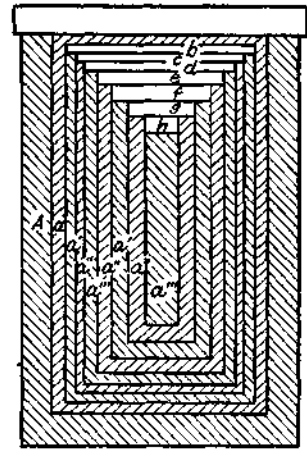
在澆鑄沸騰鋼鑄錠時，由於在鑄錠中生成了大量的氣泡，因此在正常的沸騰鋼鑄錠中，一般不會出現縮孔。

縮孔的相對體積，與液態金屬的溫度、冷卻條件以及鑄錠的大小等有關。

液態金屬的溫度愈高，則液體與固體之間的體積差愈大，而縮孔的體積也愈大。根據某些研究工作者的實驗結果指出：金屬過熱溫度和縮孔體積之間存在着線性關係。因此，為了減少縮孔的體積，液態金屬的過熱程度必須尽可能地低，也就是要尽可能地降低澆注溫度。

向薄壁鑄型中澆注金屬時，型壁迅速地受熱，而冷卻型壁的空气則是熱的不良導體。因此，型壁愈薄，則受熱愈快，液態金屬也愈不易冷卻，在剛注完鑄型時，液態金屬的體積就愈大，金屬冷凝後的縮孔也就愈大。此外，鑄型的預熱，對縮孔體積的增大有着同樣的影響。總之，液態金屬的冷卻凝固條件，對縮孔的體積大小是有顯著的影響的。

上述情況主要是對集中的縮孔而言。如在急劇冷卻的條件下澆鑄金屬，可以避免在鑄



形成縮孔的示意圖

錠上部形成集中縮孔。但在此情況下，液態金屬與固態金屬之間的體積差仍保持一定的數值，雖然在表面上似乎已經“消除”了大的縮孔，可是有許多細小縮孔——即疏松——分布在金屬的整個體積中，代替了一個集中的大縮孔。換言之，金屬將呈多孔狀（參閱 III “疏松”一章）。

鑄錠的體積愈大，則澆鑄後冷卻也愈緩慢，從而導致縮孔體積的增加。故在澆鑄大的鑄錠時，如不採取特殊措施，將得到比小鑄錠中更大比率的縮孔。

檢查縮孔的方法有：

1. 無損檢驗法：

包括 X 射綫、 γ 射綫和超聲波探測法等。

X 射綫法可用於厚度在 100 毫米以內的鑄件，對過厚的鑄件則 X 射綫不易穿透。

γ 射綫的波長遠較 X 射綫為短，穿透金屬的能力較強，故可探測較大的工件。但因 γ 射綫所用的劑量一般較小，故探測所需的時間亦較 X 射綫為長。

超聲波探測法一般要求有較為光潔的工件表面，因此，探測鑄件時須將表面略為打磨。在鑄件上用不同角度進行超聲波探測，可從反射的波形而測出縮孔的立體形狀。

對熱加工後金屬中未焊合的縮孔，亦可用上述三種無損探測法進行檢查，但如殘余的縮孔過小時，則不易測出。

2. 宏觀檢驗法：

可採用斷口試驗的方法來檢查金屬中的縮孔，也可用酸侵的方法進行測試。

3. 微觀檢驗法：

在縮孔處取樣作微觀檢查，常會發現縮孔附近有夾雜集中現象。在鋼錠的縮孔附近，有時還會有脫碳及氧化現象。

鑄件中存在著縮孔，將顯著地降低其力學性能，甚至在使用過程中還會發生斷裂或其他事故。有縮孔存在的鋼錠，在熱加工（如鍛軋）時，可能會因縮孔中的氣體受外力而擠破表層，引起噴濺傷人的嚴重事故。雖經軋制而未能良好焊合的縮孔，須完全予以切除，否則在以後繼續加工的過程中會導致其他的缺陷，例如板材或帶材中的分層現象，往往就是由於殘余縮孔未除盡的緣故。但切除此項縮孔又必然會造成金屬材料的相應損耗。

綜上所述，縮孔的存在，不僅會浪費大量金屬，並可能因此而造成嚴重的事故，因此對消除鑄錠和鑄件中的縮孔，曾進行了不少的工作。如在鑄錠時採用下列一項或幾項措施，可以縮小或消除縮孔：

採用適宜的澆注溫度；

用頂注法代替底注法；

低速澆注；

澆鑄上大小井帶有保溫帽的鋼錠；

採用底部較厚、頂部較薄的鋼錠鑄型；

低碳鋼澆鑄成沸騰鋼或半鎮靜鋼；

應用液體壓縮法或水平澆鑄法；

在澆鑄完畢後用電弧保溫帽加熱。

此外，採用連續鑄錠法不僅有助於消除鋼錠中的縮孔，並能與軋制工序結合而進行連續生產。

对铸件则可采用下列方法来缩小或消除缩孔：

提高浇冒口的液体金属面，以增加液体金属的静压力，并使铸件在冷凝过程中能不断地得到液体金属的补充；

设计合理的浇铸系统，避免死角；

避免浇注温度过高和注速过大。

图次	缺陷名称	材料名称、 牌号或成分	工艺过程	说明
I-1	二次縮孔及树枝状組織	20CrMn 鋼	鑄錠	本图試样取自鑄錠中部。由于澆注温度較高,錠模傾角过小,而又未能及时补注,以致形成二次縮孔及較粗大的树枝状組織。
I-2	殘余縮孔	Cr17Ni3 鋼	鑄造后热加工	本图試样取自原鋼錠上部接近保温帽的部分。由于澆注温度过高,以致縮孔未能全部包含在保温帽內。

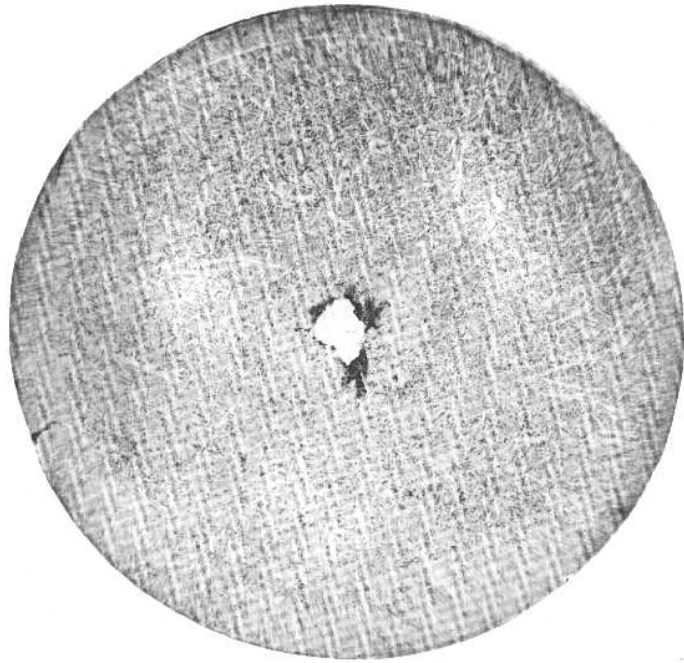


图 I-1 横截面 1:1 盐酸水溶液热蚀 3/4 x

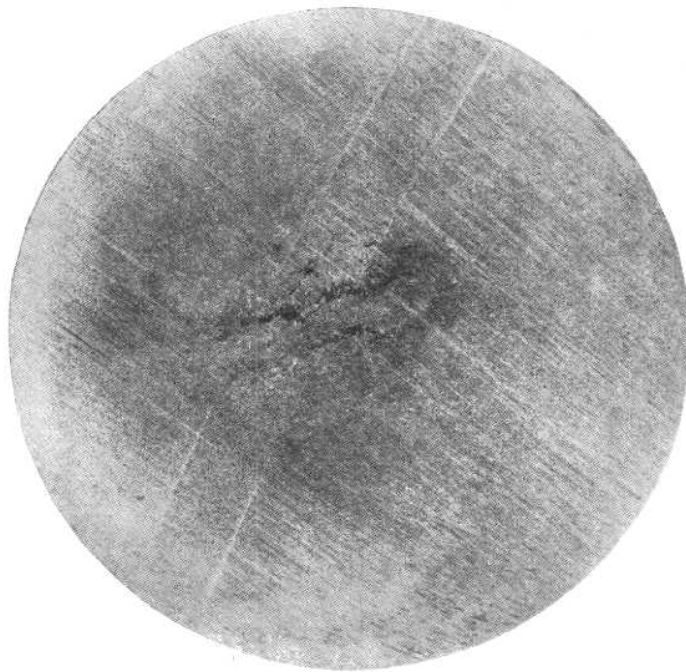


图 I-2 横截面 未侵蝕

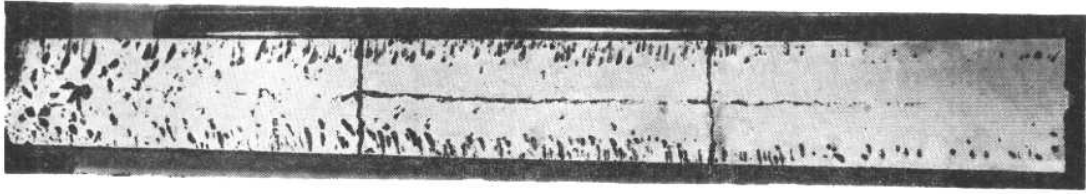


图 I-3 纵截面 未侵蚀

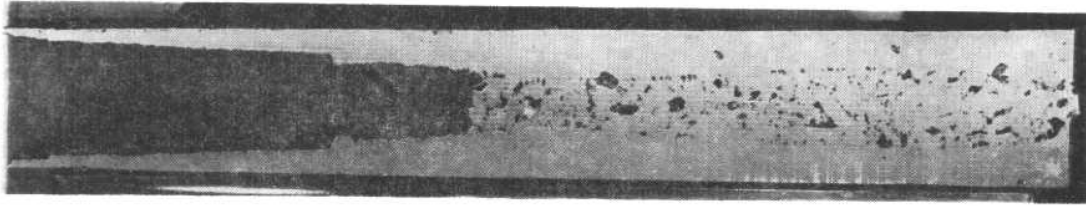


图 I-4 纵截面 未侵蚀



图 I-5 横截面 1:1 盐酸水溶液热蚀

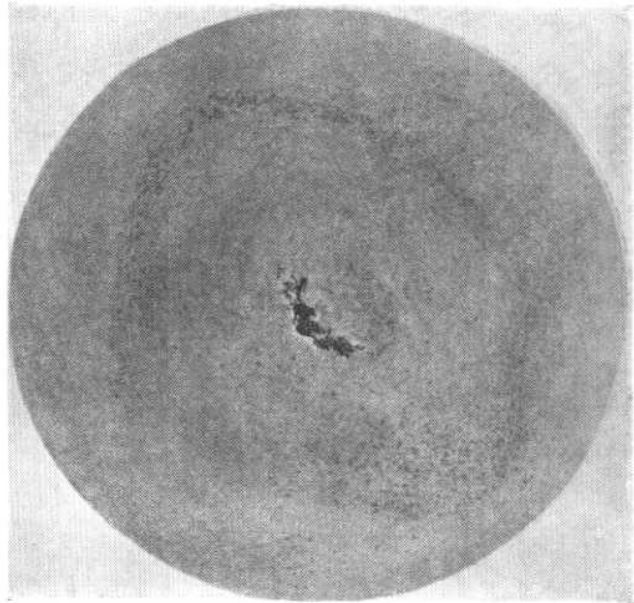


图 I-6 横截面 1:1 盐酸水溶液热蚀 $1/2 \times$

[6] I. 缩 孔

图次	缺陷名称	材料名称、 牌号或成分	工艺过程	说 明
I-3	缩孔及严重的 皮下气泡	低碳钢	铸锭	为了防止在镇静钢铸锭内部产生严重的缩孔，一般应浇铸上下大小并带有保温帽的钢锭。本图所示钢锭由于铸型设计不当，浇铸成上下大小且不带有保温帽的钢锭，以致形成了几乎贯穿整个铸锭的缩孔。此外，因该钢锭系在雨天浇铸，原材料较为潮湿，故产生了较严重的皮下气泡。
I-4	沸腾钢铸锭中的 缩孔	沸腾钢	铸锭	按：正常浇铸的沸腾钢铸锭，一般不会产生缩孔。本图所示铸锭系由于在浇铸前脱氧剂加入过多，以致沸腾不足而形成严重的缩孔。
I-5	二次缩孔及 横晶	Cr17钢	铸锭	本图试样取自铸锭下部。由于铸型设计不当，上下同样大小，且铸型过小，以致柱状晶过分发展而形成横晶；心部在冷凝时由于未能及时得到液体金属的补充，因而形成二次缩孔。
I-6	残余缩孔	低碳钼钢	电弧炉冶炼 的低碳钼钢浇 成 1070 毫米 铸锭，经热锻 成为某一机器 的主轴毛坯； 锻造时的拔长 比为 17.25	在超声波探伤时，发现毛坯端部附近有较大面积的缺陷。经取样作热酸浸试验，知该处存在较严重的残余缩孔及方形液析。

图次	缺陷名称	材料名称、 牌号或成分	工艺过程	说 明
I-7	縮孔形成的鍛 造裂縫	4Cr3Si4 鋼	鑄錠后鍛造, 开鍛溫度在 1150~1200°C 范圍內	裂縫出現在鍛坯心部,呈“十字形”。在 裂縫处取样作微觀檢查,发现有較多的氧化 物,并呈脫碳現象。此裂縫系鋼錠內部的縮 孔所形成。由于該縮孔暴露于空气中,故在 加热过程中发生了氧化及脫碳;在鍛造时形 成沿加工方向延伸的裂縫。
I-8	殘余縮孔	1Cr13 鋼	250 毫米鑄 錠鍛成 145 毫 米方坯后,軋 成 80 毫米方 坯	由于澆鑄时补注不足,以致縮孔較大,未 能全部包含在保溫帽內;加以初軋坯的切头 不够,以致仍存在有殘余縮孔。因殘余縮孔在 以后热加工时无法焊合,故不应允許其存在。
I-9	縮孔形成的 分层	20 鋼鋼板	在热軋鋼板 上取样作冷弯 試驗	坯料內存在縮孔。因縮孔处夹杂物多而 集中,在軋制鋼板时无法焊合,致冷弯时形成 分层。

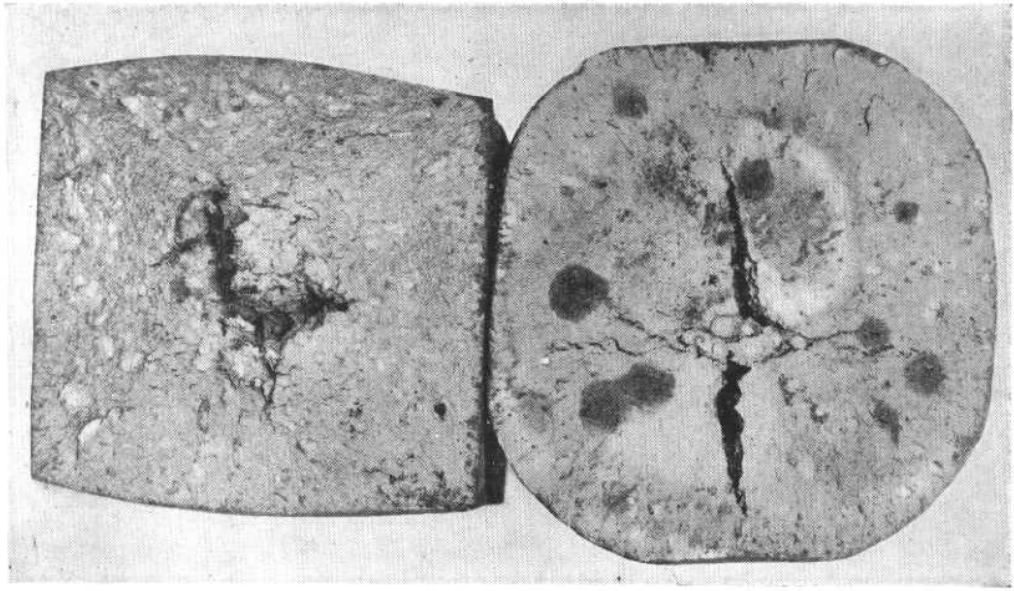


图 I-7 横截面 1:1 盐酸水溶液热蚀

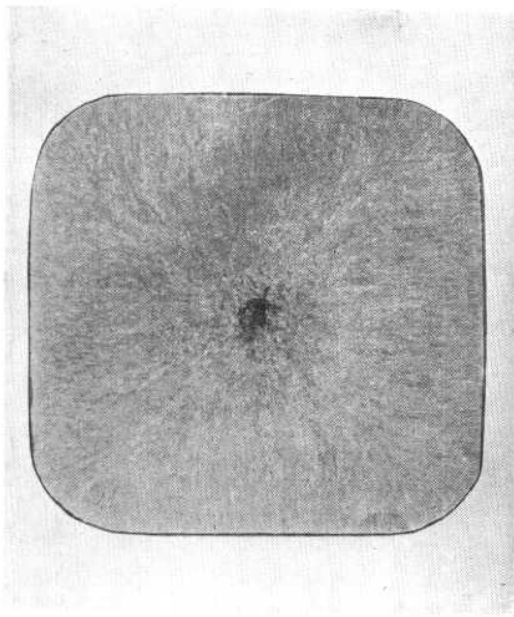


图 I-8 横截面 1:1 盐酸水溶液热蚀

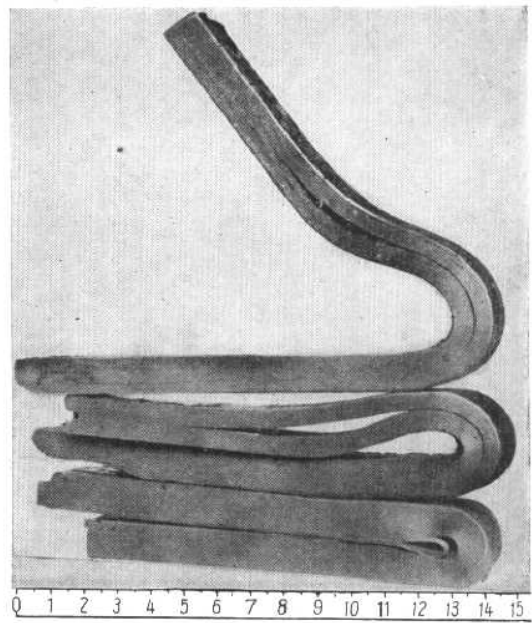


图 I-9 实物

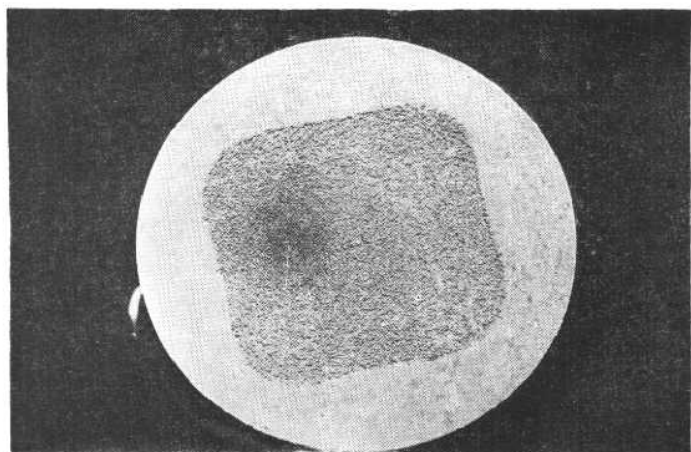


图 I-10 横截面 1:1 盐酸水溶液热蚀 1×

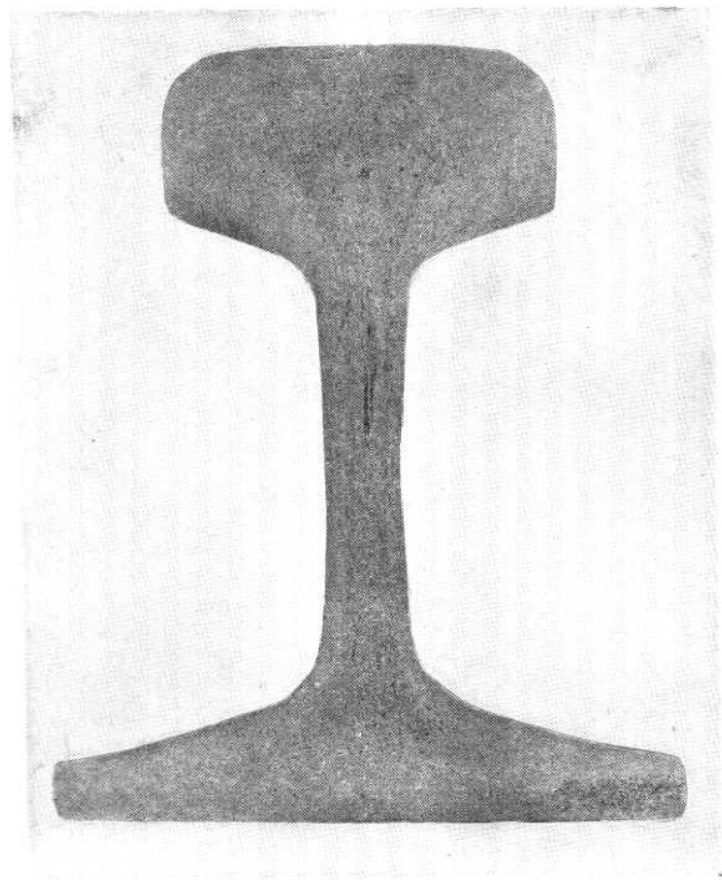


图 I-11 横截面 1:1 盐酸水溶液热蚀

图次	缺陷名称	材料名称、 牌号或成分	工艺过程	说 明
I-10	残余缩孔及方 形液析	20 钢	热轧	在原材料抽查中,发现此钢材中心存在方形液析及“细裂缝”,后者实际上系残余缩孔。由于切头不足,以致残余缩孔存在于钢材中,在热轧时不能焊合而成为“细裂缝”。
I-11	缩 孔	65Mn 钢	热轧	图中重轨腹部的黑色“细缝”系热轧过程中无法焊合的缩孔。此外,在重轨截面上尚有疏松及夹杂存在。

图次	缺陷名称	材料名称、 牌号或成分	工艺过程	说明
I-12	缩孔	65Mn 鋼	热軋	<p>图示重軌的橫向断面，其腰部有一条黑色裂縫。經取样作化学分析及微观檢驗，发现裂縫处有較严重的碳、硫、磷偏析及大量非金属夹杂物聚集。此黑色裂縫系鑄錠中的缩孔在热軋过程中被軋扁而成。</p>
I-13	残余缩孔	中碳鋼 (C 0.59%; Mn 0.75%; Si 0.108%; S 0.057%; P 0.010%)	热軋	<p>图示中碳鋼魚尾板截面上的硫印試驗結果。試样的中心部分有残余缩孔及硫偏析存在。</p>

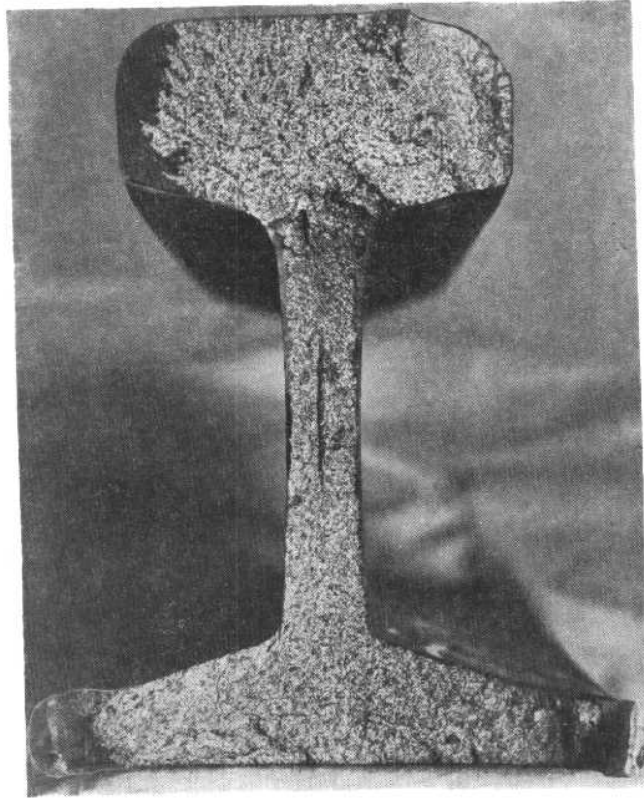


图 1-12 纵向断面

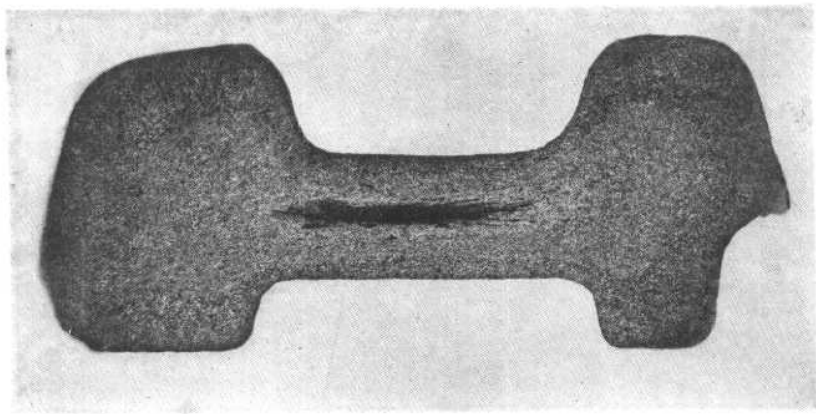


图 1-13 横截面 硫印 1×

I. 縮 孔 [13]