

金相检验实例

(修订本)

陶达天 编著



机械工业出版社

本书简要地介绍了金相废品和失效分析的一般步骤，重点讲述了在生产实践中有关的金相检验分析实例，包括钢的原材料、锻造、热处理、磨削和拖拉机上的两个重要零件（后桥半轴、主动齿轮）和对焊刀具在生产和使用中所发现的缺陷及失效的金相检验。

本书可供从事金相检验人员和热处理工人及技术人员参考。

金相检验实例

(修订本)

陶达天 编著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门内大街25号）

（北京市书刊出版业营业许可証出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₃₂·印张 9¹/₈·字数 201 千字

1983 年 1 月北京第二版·1983 年 1 月北京第二次印刷

印数 20,001—30,000·定价 0.95 元

*

统一书号：15033·4255



前 言

机械零件在热处理前、后和装机使用中，有时因质量问题而报废和提前破损，造成了不应有的损失和浪费。通过金相检验的方法，来分析其产生的原因，并采取相应的措施加以避免，就有助于提高产品质量和节约钢材，达到优质、高产、低消耗的目的。

作者根据多年来实际工作的体会，并学习别人的经验，就本单位生产过程中金相检验的一些具体问题，加以分类总结而写成本书。

本书内容包括：废品和失效分析的一般步骤、钢材宏观缺陷、锻造所产生的废品、热处理所产生的缺陷、磨削所产生的废品分析以及拖拉机上的两个重要零件（后桥半轴、主动圆锥齿轮）和对焊刀具缺陷的综合性的废品分析。对这些问题，均从金相检验角度加以叙述。

本书在 1975 年初版以来，受到很多读者的询问和帮助，根据需要，这次又进行了修改和补充。由于自己专业知识、文化水平所限，书中难免仍有缺点和错误，恳望读者批评指正。

本书承本单位领导的支持和同志们的帮助而写成。并承蒙南昌齿轮厂冯锐林同志和江西拖拉机厂涂竹斌同志进行修改和校审，又承其他兄弟单位提供很多宝贵资料（见后记），对此表示深切的谢意。

目 录

一、废品和失效分析的一般步骤	1
(一) 零件外表宏观检查	1
(二) 零件进行硬度检查	4
(三) 零件进行化学成分检查	5
(四) 金相试样的截取和磨制	6
(五) 金相检验	11
(六) 下结论	14
二、钢的宏观检验和缺陷分析	23
(一) 硫印试验	23
(二) 酸侵蚀试验	26
(三) 钢的宏观缺陷分析	30
三、锻造所产生的废品分析	69
(一) 因原材料的缺陷所产生的废品	69
(二) 因夹杂物所引起的废品	81
(三) 因操作不当所产生的废品	95
四、热处理所产生的缺陷分析	125
(一) 淬火开裂的分析	125
(二) 过热现象的分析	177
(三) 过烧现象的分析	194
(四) 硬度不足和淬火软点的分析	203
五、磨削所产生的废品分析	219
(一) 磨削裂纹的外观形状	219
(二) 磨削裂纹的识别	223
(三) 用热酸蚀来检验磨削裂纹	237

六、后桥半轴的失效分析	240
(一) 由热校直所造成的疲劳断裂	241
(二) 由表面或内部缺陷所造成的疲劳断裂	244
(三) 热处理工艺及操作不当而断裂	248
七、主动圆锥齿轮的失效分析	252
(一) 麻点	254
(二) 齿面压碎	257
(三) 崩齿	261
(四) 齿面磨损	267
(五) 齿轮的轴柄折断	273
八、刀具对焊缺陷分析	275
(一) 对焊温度过高	276
(二) 对焊时顶压力不足	277
(三) 焊缝中存在缺陷	278
(四) 淬火加热部位超过焊缝	279

一、废品和失效分析的一般步骤

在机械工厂中，零件在生产工序中出现废品，或在使用中提前失效，要进行分析的一般步骤，也可以说成是金相检验要注意并完成的事项。

当试验者接到委托者的来样时，首先要问清楚零件的来历，了解零件的技术要求，零件的材料、热处理工艺及在哪道工序后发现的弊病，经过调查掌握了情况后，一般地进行如下分析。

(一) 零件外表宏观检查

观察裂纹的外部情况，其分布的形状及大小，或折断后的断口表面情况（要避免沾污和碰毛断口）。根据裂纹或断口分布特征，可以决定该零件是属脆性断裂还是韧性断裂，以便提供下一步分析办法。如有条件，根据需要，还可以摄取零件外观缺陷特征的照片，以便更易说明问题和供委托者分析参考和备案。

例 $\phi 25$ 毫米钻头，使用中在高速钢与 45 号钢焊接的地方断裂，其断口上有三种颜色，即：1. 浅灰色；2. 生锈黄斑迹；3. 银白色（图 1-1）。

经显微检验断口，在浅灰色处附近尚有大量的空洞存在（图 1-2）；生锈黄斑处发现了焊接裂纹（图 1-3）；而银白色处为正常组织。

分析结果表明，钻头折断的原因为焊接质量不佳。

如果发现断口有油污和铁锈等现象，断口分析和照相有

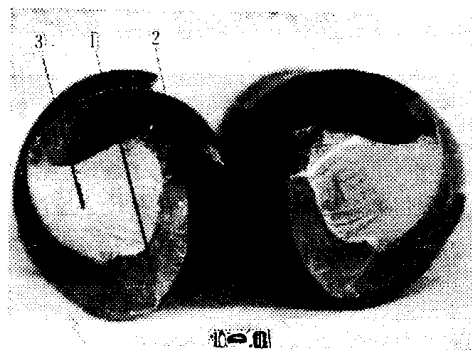


图1-1 钻头断口



图1-2 断口浅灰色附近的空洞 100×

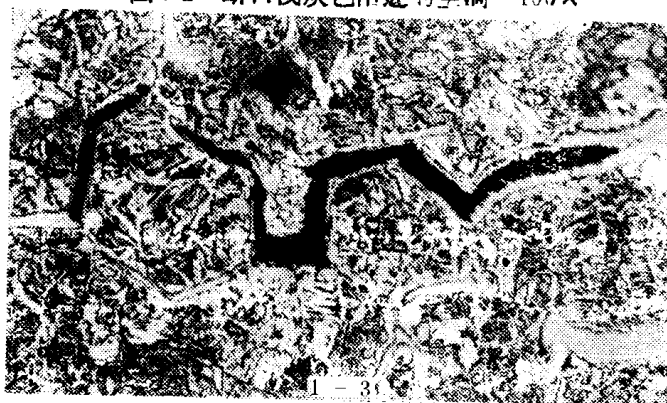


图1-3 生锈处的焊接裂纹 200×

困难时，可先用：丙酮、三氯甲烷、甲苯、二甲苯、乙醚等有机试剂清除油污后，再用温和的酸、碱溶液清除铁锈，其试剂配方如下：

- | | |
|-------|-------|
| 1. 铬酐 | 15% |
| 磷酸 | 8.5% |
| 水 | 76.5% |

处理温度：85~90℃

处理时间：2分钟以上

用途说明：能清除铁锈，对金属基体不腐蚀，适用于碳钢及合金钢断口。

- | | |
|---------|--------|
| 2. 氢氧化钠 | 20% |
| 高锰酸钾 | 10~15% |
| 水 | 65~75% |

处理温度：煮沸

处理时间：除尽为止

用途说明：能清除铁锈，对金属基体不腐蚀，适用于耐热钢和不锈钢的断口。

- | | |
|--------|--------|
| 3. 盐酸 | 500 毫升 |
| 六次甲基四胺 | 2 克 |
| 水 | 500 毫升 |

处理温度：室温

处理时间：1~15分钟

用途说明：适用于一切铁基合金。

例 曲轴断裂后，因拆机和保管不善，致使断口沾有油污和生锈现象，使断口模糊不清（图 1-4 a）。后经清除油污处理后，再用 1 号配方处理铁锈，就使疲劳断口的特征清晰可见（图 1-4 b）。

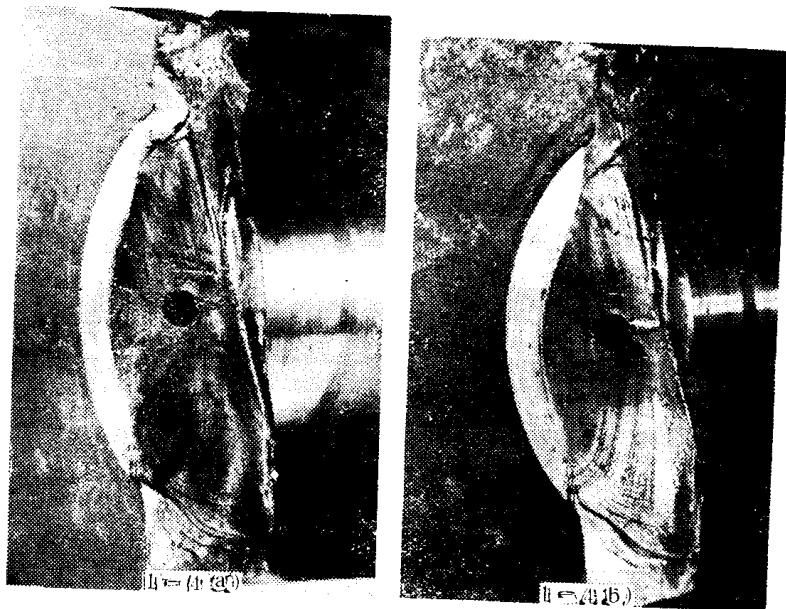


图1-4 曲轴疲劳断口 1× 7/10×

a) 未经处理断口 b) 经处理断口

总之，对废品分析来说，依靠肉眼和低倍放大检验来识别零件的损坏类型是十分重要的第一步。如果把宏观检验工作做好了，又掌握了可靠的损坏背景资料，这就给工件损坏分析工作打下了坚实的基础，使以后所进行的各项分析工作有了个良好的开端。

(二) 零件进行硬度检查

通过硬度检查，可以初步判断热处理的质量是否达到技术要求，这对金相检验提供了有利条件。

例 $\phi 68$ 毫米的铣刀，在使用时发现刀刃早期磨损（图1-5）。在铣刀表面打硬度为 HRC63~64。为什么硬度这么

高，在使用时不崩刀刃反而磨损呢？从铣刀切下一刀块，在其刃面打硬度，为HRC52~54。这样，推测铣刀刃的磨损，可能是由于表面脱碳所造成。因为铣刀端面已经过磨削加工，把脱碳层磨削掉了，在刀刃处未经磨削而保留了脱碳层。经显微测量脱碳层为0.15~0.25毫米(图1-6)，以致硬度降低，故在使用时刀刃易于磨损。通过硬度检查，对金相检验分析提供了佐证。

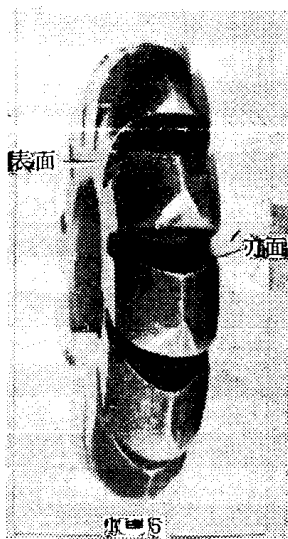


图1-5 铣刀刀刃磨损

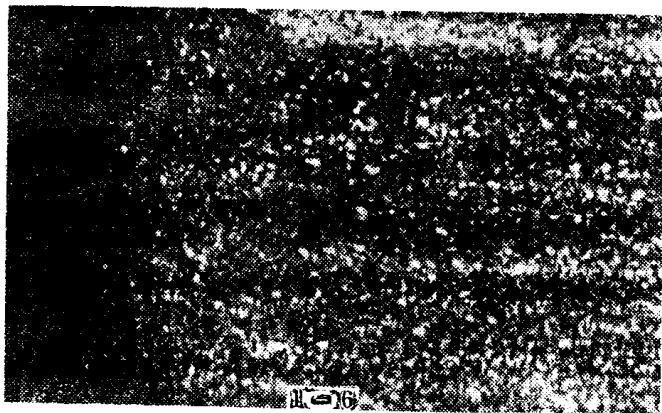


图1-6 铣刀的脱碳层 100×

(三) 零件进行化学成分检查

这可决定零件是否因钢号之误而引起损坏。最好先用看

谱镜进行定性分析或火花鉴别，即可初步得出材料误用的结论。其他分析就可以不必进行。若有必要，可进行化学（定量）分析。

例 有一个轴承，在使用中几个滚子被压成碎片或压裂（图 1-7）。用看谱镜检验其含铬量约 1% 左右，符合轴承钢含量。但当磨制金相试样时，发现火花不象轴承钢，其含碳量偏低。将滚子用高温盐炉加热正火后取样化验，含碳量为 0.38%，含铬量为 0.95%，确定材料为 40Cr 钢而非轴承钢。硬度也只有 HRC28~30。从金相检验中也证实了此滚子非轴承钢。故化学分析是金相检验中的重要手段。

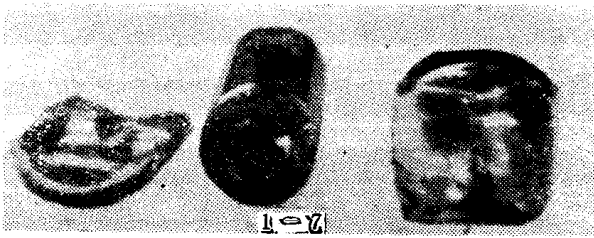


图 1-7 滚子被压碎和压裂情况

（四）金相试样的截取和磨制

选取试样，是金相检验中关键的一环，试样必须包括该零件破损的主要部位。如果零件的破损面很大，截取试样至少也要包括有代表性的部位。为便于磨制加工，而试样体积又以小为好。

例 某厂从国外进口一批 2.8 毫米“08F”热轧深冲压薄钢板 30 包，共 150 吨。钢板在冲压零件时，其表面产生桔皮或开裂。曾两次抽查三包钢板进行晶粒度检验，发现钢板断面边部晶粒度除少数较细外，大多数为 2~3 级，最粗晶

粒度达 1 级，不符合供货技术条件要求。

为了对索赔交涉提供充分的技术依据，如何正确截取金相试样是一个关键。据调查钢板表面质量欠佳，有（热）划痕。那么，这划痕与粗晶之间有无内在关系？经过多次试验，终于得出结论：在一定变形程度下，晶粒的方向性趋向一致，再度加热时则很容易发生晶粒相互溶解而形成粗大晶粒度。热轧的过程本身也就是变形和再结晶两个过程的综合（因划痕处正处于晶粒长大的临界变形处）。故粗晶与钢板表面的（热）划痕之间有着密切的伴生关系。如垂直划痕部位取样后，一半用砂纸磨光其外表面，用 10% 过硫酸铵水溶液腐蚀后，与另一半样品进行比较，即可发现，凡是钢板表面有划痕的部位都会出现粗晶带（图 1-8）；观察粗晶带断面其边部均为粗大晶粒（图 1-9）。

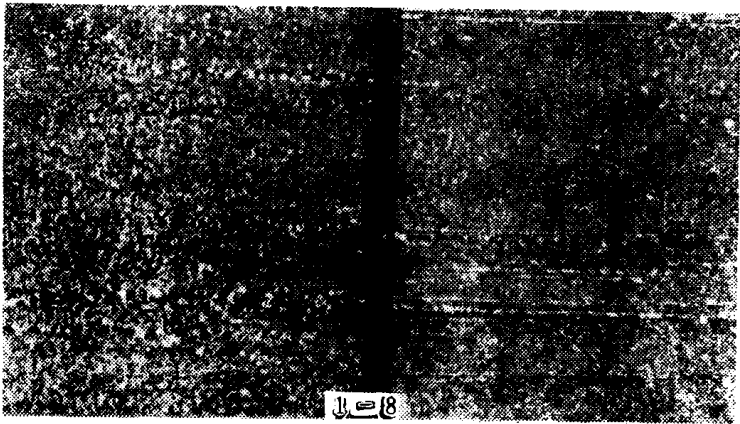


图1-8 热划痕与粗晶的关系 2×

事后，我外贸部向对方提出索赔要求，而对方派专家来华查看实物后进行金相检验，并要求在 30 包钢板中均取样检查。结果只看了在 10 包中 17 张钢板上取下的 34 块试样，均

为粗晶，对方人员只好承认“该批钢板表面出现粗晶，深度达0.3~0.4毫米，不符合标准规定，同意此批钢板贬值处理”。以上一例充分说明试样截取部位和方法的重要性。

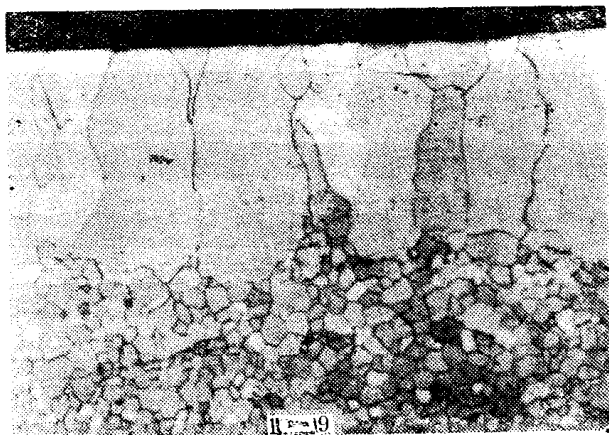
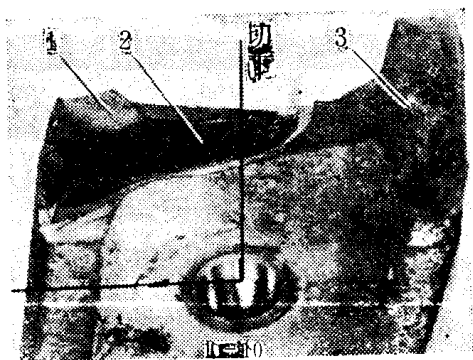


图1-9 钢板横断面上的粗大晶粒 100×

例 拖拉机的前梁在使用中断裂，断口如图1-10所示。从图中可以看出断口处有一块生锈黄斑，起着疲劳核心的作用（图1-10中箭头1所指处）；其他区域为逐渐破坏的疲劳断口（图1-10中箭头2所指处）和承受不了载荷而瞬时断裂的断口（图1-10中箭头3所指处）。那么，最关键的地方应



该检查疲劳核心黄斑处。对断口作了分析，只要将断口黄斑处切下（如图1-10中示意）即可。

磨制试样时，要根据试样断口的具体情况而定。在磨制这个试样时，不能从疲劳核心的正面磨制，而应该从疲劳核心的侧面（纵向）方向磨制。试样检查结果，疲劳核心处有脱碳层存在，如图 1-11 所示。图 1-11 是在磨去前梁表面脱碳层后所摄，前梁是 45 钢锻造后经正火处理。如果试样磨面从疲劳核心正面磨制，那么，在砂轮机上平整磨面时，易将疲劳核心处的脱碳层磨掉。

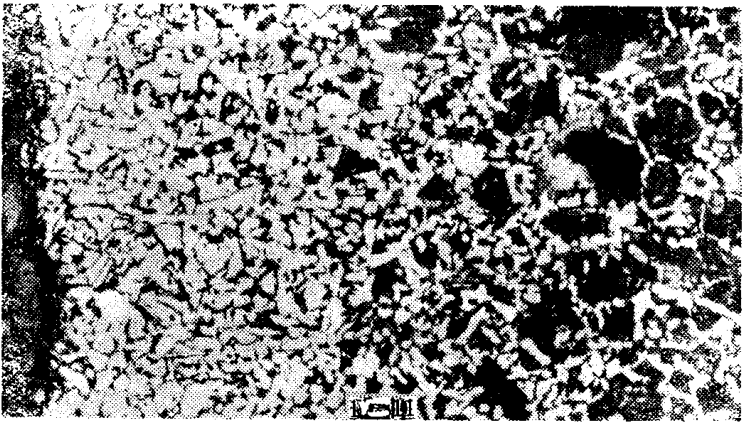


图1-11 疲劳核心处的脱碳层 100×

但象图 4-86 升举轴的疲劳断口，试样磨面是从断口的正面磨制，在疲劳核心处发现有一条断续的淬火裂纹（图 4-87）。若我们从断口的纵向方向逐层磨制观察，甚至把疲劳核心（即有淬火裂纹处）全部磨去为止，始终只发现一条很短（1~2 毫米）的裂纹口，根本无法识别是否是淬火裂纹。所以，磨制试样必须根据不同情况，作具体分析，做到有的放矢。这里所举两个实例，同样是疲劳断口，但磨制方向却不一样，否则给分析带来困难或得出错误的结论。

此外，在废品分析时，如有必要，可在零件的未损坏部

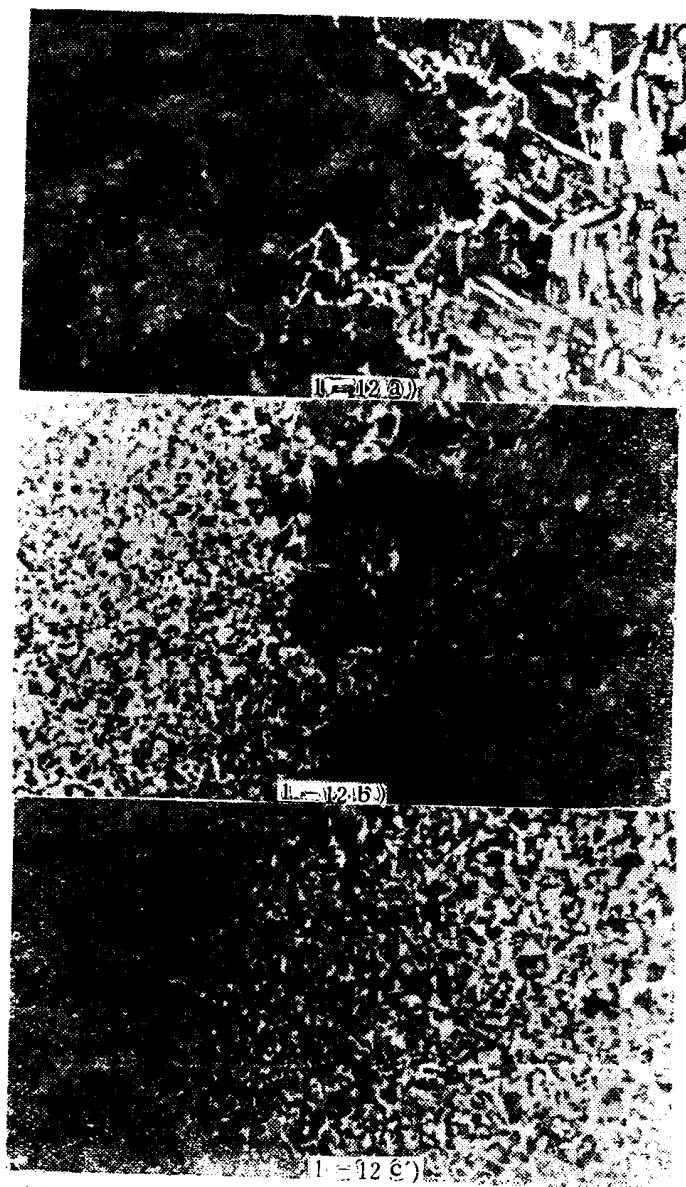


图1-12 摇臂轴（20钢）的渗碳层过渡区组织 70×
a) 轴断口处 b) 轴中间部位 c) 轴另一头部

分取样检查，以资比较。

例 曾有一根在使用中断裂的摇臂轴（全长 411 毫米，直径 16 毫米，内孔 8 毫米）进行金相检查，发现摇臂轴的两头和中间的渗碳层质量差异很大（图 1-12 a、b、c）。这种情况，对金相检验工作者来讲，在解决实际生产中的质量问题时，是有现实意义的。

（五）金相检验

试样经磨制、抛光和清洗后，在未腐蚀之前，应检查裂纹形状和夹杂物分布的情况。在观察显微裂纹时，往往能从裂纹尖端（尾部）的分布特征，得出最有价值的线索。因为裂纹尖端受环境介质的影响小，容易识别裂纹的形态，以判断其成因。同时应检查试样夹杂物分布的情况，以判断零件是否因夹杂物过量而造成损坏。

例 齿轮轴在使用中断裂，断口如图 1-13 所示。鉴定结果为硫化物过量（图 1-14）所致。

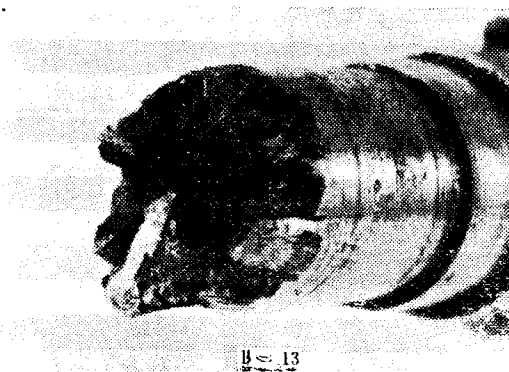


图 1-13 齿轮轴断口 1× 8/10×