

# 汽车零部件金相分析

赵德寅 王大伦 编著

机械工业出版社

# 汽车零件金相分析

赵德寅 王大伦 编著



机械工业出版社

24 463

9.15

本书系统地叙述了汽车零件的金相组织检验。较全面地介绍和分析了汽车零件在制造和使用过程中常见的损坏形式，以及与其金相组织之间的联系。书中举有大量典型实例，收集近 500 幅图片。

本书供从事材料试验、金相分析的检验人员、技术人员以及热加工工艺人员参考。也可供大专院校有关专业的师生阅读。

## 汽车零件金相分析

赵德寅 王大伦 编著

责任编辑 丁文华

\*

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  $850 \times 1168^{1/32}$  · 印张  $9^{7/8}$  · 字数 259 千字

1985 年 7 月北京第一版·1985 年 7 月北京第一次印刷

印数 0,001—5,600 · 定价 2.50 元

\*

科技新书目: 99-90

统一书号: 15033·5678

汽  
车  
零  
件  
金  
相  
分  
析

机  
械  
工  
业  
出  
版  
社

## 前 言

汽车工业在国民经济中占有重要地位。随着工农业生产的发展，汽车产量在不断地增加。保证汽车具有优良性能；提高汽车使用寿命是制造者的首要任务。影响汽车性能和寿命的因素很多，汽车零件的质量就是其中的一个重要环节。

汽车零件在生产过程中，往往由于设计疏忽、材料缺陷、或加工工艺不当等原因，造成产品质量低劣，产生废次零件，导致使用时的早期破损，甚至发生严重事故。因此，研究汽车零件产生的缺陷和损坏原因，采取预防及改进措施，是一项十分重要的课题。

在生产实践中，通常是以零件的金相组织来保证产品的热处理质量，稳定产品的生产工艺，生产合格产品。同时也通过金相分析的方法，根据零部件的损坏形态，原材料的结构缺陷，判定破损的性质，分析失效的原因。

本书编写的目的是，通过对零件的金相检验，控制产品在加工过程中的质量；依据废品的金相分析，探讨产品在制造和使用中发生的各种损坏与材料质量、加工工艺以及使用维护的关系。以期对材料试验、质量检验和生产工艺人员有所裨益。

本书是根据作者多年来与同志一道从事金相分析的实践经验编写的。书中列举的废品与失效实例是作者在实际工作中遇到的，并且比较有代表性。但由于作者水平所限，书中一定存在缺点和谬误，恳请广大读者批评指正。

本书在编写过程中，得到第一汽车制造厂的领导及同志们们的热情帮助和支持，谭善锷同志为第六章，彭德奎与荆元文同志为第七章提供了许多资料，并承蒙卢光照教授予以全面审阅。书中引用和参考了许多工厂、学校及科研单位的有关资料与图片，尤其是第一汽车制造厂多年的生产实践。在此表示深切的谢意。

作 者

一九八三年

# 目 录

第一章 汽车用钢的缺陷及其影响	1
一、钢材的表面质量	1
1. 折叠	1
2. 划痕	2
3. 发纹	5
4. 冷拔裂纹	7
二、钢的低倍组织	8
1. 偏析	9
2. 缩孔残余	11
三、非金属夹杂物	14
1. 钢中常见的非金属夹杂物	14
2. 夹渣	19
四、钢的晶粒度	21
五、钢的显微组织	24
1. 珠光体形态	24
2. 粒状贝氏体组织	25
3. 钢材的表面脱碳	28
4. 带状组织	30
参考文献	32
第二章 汽车渗碳零件	34
一、概述	34
1. 汽车齿轮的工作条件	34
2. 汽车齿轮的受力情况	35
二、汽车齿轮金相组织的检验与控制	35
1. 渗碳齿轮金相组织的检验	35
2. 渗碳齿轮热处理质量的控制	37
三、碳氮共渗齿轮金相组织的检验与控制	48

## IV

1. 碳氮共渗齿轮的金相检验 .....	48
2. 碳氮共渗齿轮热处理质量的控制 .....	49
四、汽车齿轮在生产过程中产生的废品 .....	54
1. 剪切下料 .....	54
2. 锻造 .....	56
3. 切削加工 .....	60
4. 渗碳淬火 .....	63
5. 喷丸与磨削 .....	68
6. 选材与投料 .....	71
五、汽车齿轮在使用过程中常见的损坏形式 .....	75
1. 麻点剥落 .....	76
2. 深层剥落 .....	78
3. 疲劳断裂 .....	80
4. 脆性断裂 .....	81
5. 磨损与胶合 .....	82
6. 齿端磨损 .....	85
7. 齿端崩损 .....	86
参考文献 .....	91
第三章 汽车调质零件 .....	92
一、概述 .....	92
1. 汽车结构中的调质零件 .....	92
2. 汽车结构中典型调质零件的工作情况 .....	92
3. 调质用钢的选择 .....	94
二、汽车调质零件的金相组织 .....	98
1. 汽车连杆的金相组织检验 .....	98
2. 汽车半轴热处理质量控制 .....	99
3. 汽车钢板弹簧金相组织检验 .....	100
三、汽车调质零件生产过程中产生的废品 .....	102
1. 锻造过热 .....	102
2. 硼脆 .....	106
3. 铜裂 .....	109
4. 淬裂 .....	111

5. 折叠·····	115
6. 石墨化脆性·····	118
7. 脱碳·····	119
四、汽车调质零件典型失效分析·····	122
1. 轴类·····	124
2. 连杆·····	127
3. 弹簧·····	132
参考文献·····	139
<b>第四章 汽车感应加热淬火零件</b> ·····	<b>140</b>
一、概述·····	140
二、感应加热淬火的特点·····	140
三、产品质量检验方法·····	143
1. 断口法·····	143
2. 表面冷蚀检验·····	143
3. 宏观硬化层检验·····	143
4. 硬度检验·····	145
5. 显微组织检验·····	146
四、汽车感应加热淬火零件的金相组织检验标准·····	148
1. 标准中的技术要求·····	148
2. 显微组织分级评定方法·····	149
3. 感应加热淬火硬化层深度的测量·····	150
五、影响感应加热淬火零件质量的几个因素·····	152
1. 原材料脱碳层·····	152
2. 钢材化学成分·····	152
3. 淬火前的原始组织·····	152
4. 工艺参数的调整·····	156
六、典型零件分析·····	160
1. 发动机曲轴·····	160
2. 变速箱二轴·····	163
3. 球头销·····	165
参考文献·····	168
<b>第五章 汽车冷锻零件</b> ·····	<b>169</b>

## VI

一、概述 .....	169
1. 汽车结构中的冷锻零件 .....	169
2. 冷锻零件的生产工艺 .....	170
3. 汽车螺栓受力情况 .....	171
二、冷锻零件生产过程中的金相检验 .....	173
1. 冷锻用钢的原始组织 .....	173
2. 冷锻用钢的脱碳层 .....	175
3. 冷锻零件的再结晶组织 .....	175
4. 中碳钢和中碳合金钢调质处理后的金相组织 .....	175
5. 螺栓脱碳层测定方法 .....	176
三、低碳马氏体高强度螺栓的金相组织 .....	177
1. 低碳马氏体高强度螺栓的性能 .....	177
2. 低碳马氏体高强度螺栓的金相检验 .....	179
四、冷锻零件的废品分析 .....	180
1. 冷拔开裂 .....	180
2. 冷锻开裂 .....	182
3. 冷锻掉头 .....	185
4. 螺栓头部切边开裂 .....	188
5. 搓丝、滚丝工艺造成的缺陷 .....	189
6. 螺栓的脱碳与增碳 .....	190
7. 螺栓被拉长变形 .....	193
8. 螺栓的氢脆 .....	195
参考文献 .....	197
第六章 汽车冷冲压零件 .....	198
一、概述 .....	198
二、冷冲压用钢的金相组织检验 .....	199
1. 晶粒度检验 .....	199
2. 三次渗碳体检验 .....	199
3. 带状组织检验 .....	200
4. 魏氏组织检验 .....	201
三、冷冲压零件冷冲开裂原因分析 .....	201
1. 钢板金相组织的影响 .....	201



2. 钢板化学成分的影响	215
3. 钢板表面质量的影响	218
4. 钢板夹层	221
四、冷冲压零件表面滑移线	223
参考文献	225
第七章 汽车铸铁零件	226
一、概述	226
1. 汽车用灰口铸铁的技术要求	226
2. 汽车用可锻铸铁的技术条件	227
二、铸铁的典型组织与性能	227
1. 石墨形态	227
2. 影响石墨化的主要因素	231
3. 磷共晶组织	232
4. 铸铁中的夹杂物	234
5. 铸铁中的共晶团	238
三、活塞环的组织与性能	239
1. 活塞环的显微组织	240
2. 几种石墨形态活塞环的性能	244
四、典型废品零件分析	244
1. 球铁外壳台架试验结果分析	244
2. 可锻铸铁钢板支架断裂原因分析	248
参考文献	250
第八章 金相分析实践	251
一、断口分析	251
1. 断口分析方式	251
2. 断口分析要点和断口清洗	252
3. 宏观断口的特征	253
4. 电子显微镜下断口的形貌	258
5. 由断口分析可能得到的结论	262
二、显微组织形貌的识别	263
1. 铸态中的形貌	263
2. 经压力加工的组织形貌	265

## Ⅷ

3. 固态相变组织	265
4. 过烧组织	278
三、裂纹的形貌	278
1. 冶金因素造成的裂纹	278
2. 压力加工不当造成折叠裂纹	279
3. 过烧裂纹	280
4. 拔制工艺不当造成的裂纹	280
5. 钢的淬火裂纹	281
6. 磨削裂纹	282
7. 疲劳裂纹	283
四、合金钢中碳化物分析	286
1. 碳化物的鉴别	286
2. 碳化物的影响	287
参考文献	288
附录	289
附图 1 冷墩及自动机床用钢金相组织检验标准——中碳合金 钢评级图片	289
附图 2 冷墩及自动机床用钢金相组织检验标准——带状组织 评级图片	292
附图 3 汽车连杆及连杆盖金相组织标准	294
附图 4 汽车钢板弹簧金相组织评级图	298
附图 5 10、15钢再结晶处理金相组织评级图片	301
附图 6 汽车连杆螺栓金相组织检验标准	302
附图 7 15MnVB钢螺栓金相组织检验标准	305
附图 8 灰口铸铁石墨形态	308

## 第一章 汽车用钢的缺陷及其影响

产品质量的优劣是很多生产环节的综合反映。它不仅与生产过程中的各道加工工序密切相关，而且与原材料的冶金质量有着不可分割的联系。

汽车生产是大量、流水式作业。如果材料存在着某种缺陷，那么必将反映到生产的各个环节之中，甚至影响汽车生产的顺利进行。

为了稳定生产工艺，提高产品质量，降低生产成本，必须对原材料进行严格检验，以防止质量不符合要求的钢材投入生产。要保证钢材的质量，只有严格执行各种钢材技术条件的规定。

目前鉴定钢材质量的技术条件，一般采用冶金部颁发的各项标准。但由于汽车生产的某些特殊性，对于有些钢材也相应地规定了补充技术条件。

在汽车生产中，因为钢材存在某些缺陷而造成废品的事例是屡见不鲜的。因此，正确地鉴别钢材中存在的各种缺陷，了解它们的危害性，是十分必要的。

### 一、钢材的表面质量

钢材表面质量的优劣直接关系到产品废品率的高低。因此，对钢材表面质量的要求是很严格的。在各类钢的技术条件中明确规定，钢材表面不得有肉眼可见的裂纹、结疤、折叠及夹杂物，至于个别细小的划痕、压痕、发纹也不得超过一定的深度。但是实际使用的钢材却往往存在着某些表面缺陷，使零件在加工过程中造成大量废品，影响生产正常进行。现将常见的钢材表面缺陷及其危害作一简要叙述。

#### 1. 折叠

折叠是钢材表面常见的一种缺陷。宏观检验时即可发现，在钢材表面有沿轧制方向的折痕，其边缘弯曲不齐，有时折痕处尚存在一些氧化皮。折痕一般较长，有的可贯穿整根钢材，有的在钢材两侧呈对称分布（图1-1）。

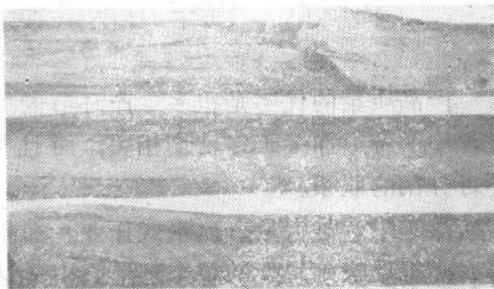


图1-1 钢材表面上的折迭

在折叠处横向取样观察，可发现折叠多与表面呈一定的斜角向里深入。折迭中间存在大量的氧化物（图1-2），并且一般都有脱碳现象（图1-3），在折迭的根部往往还可发现沿着锻、轧方向的塑性变形（图1-4）。

钢材表面如果存在折迭，是不允许投产使用的。否则将造成大批废品。

## 2. 划痕

划痕是在钢材表面上沿着轧制方向具有一定宽度和深度的直线状缺陷。它是由于钢材在轧制或冷拔过程中，表面金属的流动受到孔型或某种机械阻碍而产生的。通常是由轧辊或模具内孔的



图1-2 折叠中间的氧化物 未腐蚀 100×



图1-3 折迭处的脱碳 $\ominus$  100 $\times$

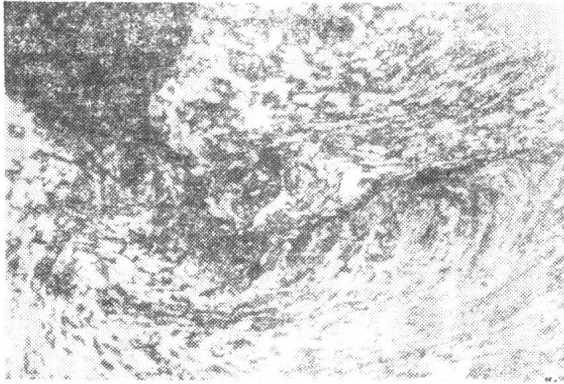


图1-4 折迭尾部的塑性变形 100 $\times$

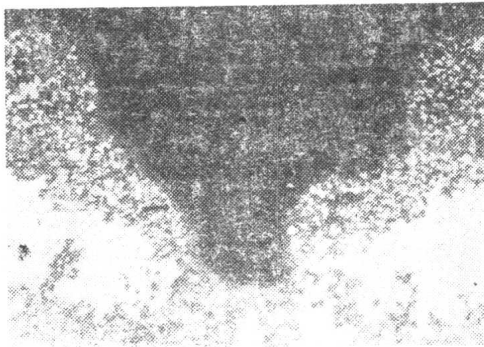


图1-5 钢材表面划痕特征 50 $\times$

$\ominus$  本书所有光学金相照片除注明者外，均用硝酸酒精溶液侵蚀。

毛刺、斑疤造成的。

这种缺陷在显微镜下观察时可以发现，划痕的根部具有一定的圆弧，划痕两侧平整，其宽度基本一致，且垂直于钢材表面（图1-5）。在低温下形成的划痕，可看到根部有轻微的变形，附近没有脱碳和氧化现象。

划痕对板材、冷拔材的影响是比较严重的。往往是造成这些材料报废，或在加工过程中造成开裂的主要原因。

曾有一批热轧薄板，在进行原材料检验时发现，钢板某些部位的表面存在粗大晶粒，约为2~3级，甚者可达1级（图1-6）。

为分析产生粗大晶粒的原因及其存在的规律性，特将大张钢材表面磨光。再用10%的过硫酸铵水溶液腐蚀，即可发现钢板表面的粗大晶粒呈带状分布，而且同时可以看到这些粗晶粒带与钢板表面的划痕区域相互对应。即是一条划痕下面有一条粗晶粒带，数条划痕相接近时，就连成了一个粗晶粒区（图1-7）。

显然，粗大晶粒的产生与钢板表面的划痕是有密切关系的。我们认为，钢板表面划痕是热轧后在输送滚道上产生的。划痕处的金属变形量恰好在该钢材的临界变形度范围之内，而钢板产生

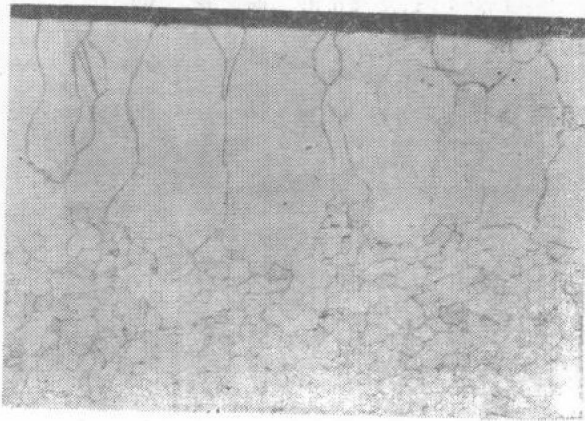


图1-6 钢板表面的粗晶粒 100×

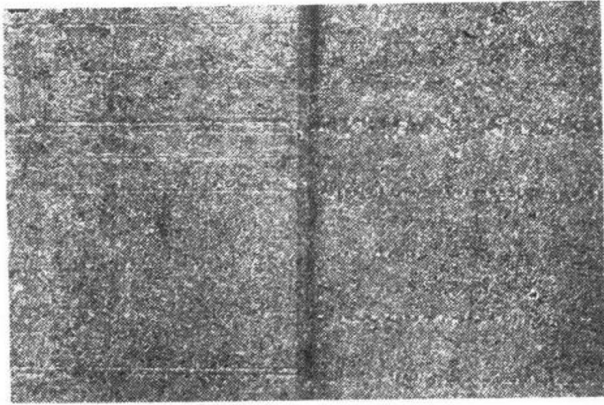


图1-7 钢板表面划痕与相应的粗晶粒带

划痕时的温度，当在再结晶温度以上。这样划痕处的金属通过发生再结晶与晶粒长大，产生粗大晶粒，并沿着划痕方向分布。可见钢板表面的划痕是产生粗大晶粒的根本原因，致使该批钢板报废。

### 3. 发纹

发纹多出现在钢材的表面，但在钢材的内部也会存在。发纹往往需要采用磁粉探伤或者热酸浸，才能清晰地显示出来。

发纹是由于钢中的夹杂物、气泡或疏松等缺陷，在热加工过程中沿锻、轧方向延伸而形成的细小纹缕。它顺着钢材的纤维方向，长短不一，细如发丝，两头较尖，而且较浅。往往在发纹中可以发现夹杂物。发纹的周围无氧化、脱碳现象。

车削塔形试样进行热酸浸试验是检查发纹的一种可靠方法。这种方法可以检验出钢材在整个横截面上发纹分布的情况。检验发纹时必须把真假发纹区别开来。因为在经过热酸浸的塔形试样上，可能出现很多沿轧制方向的条纹。其中有的不是发纹，而是因钢材流线中的一些低熔点组成物在热酸浸时剥落造成的。这些条纹多靠近钢材的中心部分。用放大镜观察，条纹较宽、深度很浅。

若将钢材切取横向试样，经热酸浸后即可发现发纹呈圆形孔洞，比较光滑，并无分叉。有的孔洞存在夹杂物，有的孔洞内无异物（图 1-8 箭头所指）。

钢材表面的发纹是冷镦钢材的致命缺陷。在冷镦开裂的零件中，多数是由于钢材表面存在发纹造成的。

汽车中的一些螺栓、螺母均是经过冷镦成形的。在冷镦过程中，材料要受到很大程度的压缩，表面

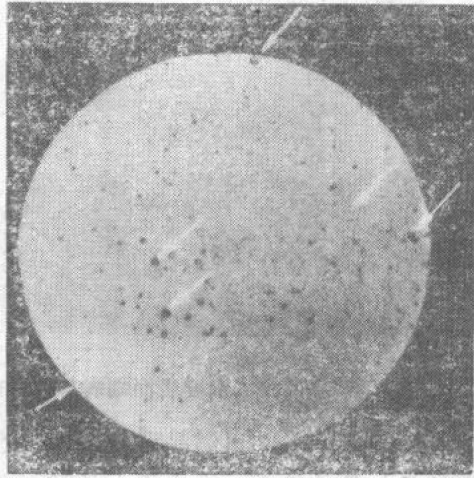


图 1-8 热酸浸后钢材横断面上的发纹形态

存在较大的周向拉应力。如果材料表面存在着发纹，那么在冷镦成形时，发纹处势必引起应力集中而造成开裂。

图 1-9 为汽车用的几种螺栓，因材料表面存在发纹，导致端部开裂。这种裂口通常呈直线状。经热酸浸后，即可发现在裂口附近杆部沿裂口的延伸方向上有断续、细小的发纹。

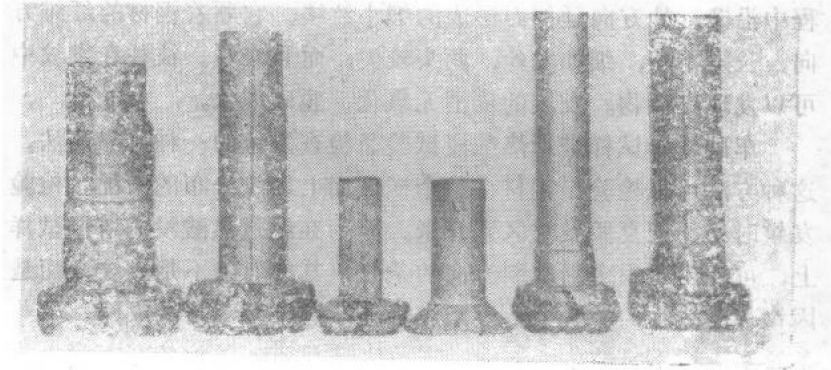


图 1-9 几种螺栓冷镦成形时端头开裂



#### 4. 冷拔裂纹

冷拔裂纹是指钢材在冷拔过程中，在钢材表面产生的横向裂纹（图 1-10）。裂纹附近经常伴有塑性变形。

如果沿钢材的拔制方向切取纵向试样，进行金相观察时即可发现，各裂纹之间的距离大致相等。其形状基

本相似，且与被拔制的表面有一定的斜角（图 1-11）。同时由于冷拔，钢材表面产生了明显的塑性变形。

汽车中的一些螺栓、轴、销以及螺旋弹簧均是采用冷拔的碳素结构钢或合金结构钢制造的。如果钢材表面存在冷拔裂纹，必将导致零件在生产过程中报废，或者使用时早期损坏。

图 1-12 为汽车的气阀弹簧，仅行驶了万余公里后即发生早期断裂。宏观检查：断口平直，弹簧表面有横向裂纹。在断裂处切取试样进行金相观察，则见断口附近有裂纹存在，且呈一斜角。弹簧的表面是一层白亮层，硬度约为 HRC60。该层为加工硬化层。次层是产生了塑性变形的屈氏-索氏体组织（图 1-13）。从组织图片中可明显地看到，表面裂纹的拐角正位于表面硬化层与心部组

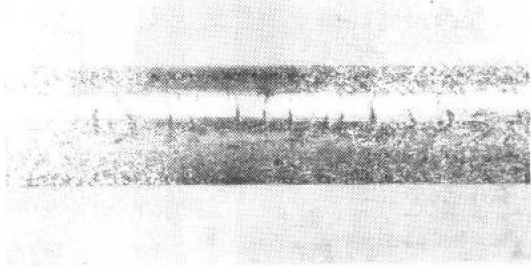


图 1-10 钢材表面的冷拔裂纹

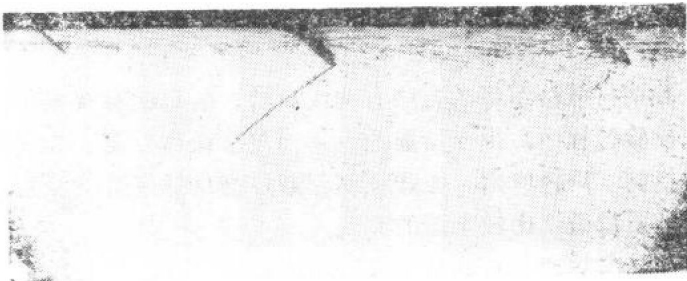


图 1-11 冷拔裂纹的形态