

候公伟 向东 任竹梅 编著

金属材料 及其缺陷和 失效分析100例



机械工业出版社

金属材料及其缺陷和失效分析 100例

候公伟 向东 任竹梅 编著

36954 / 17



机械工业出版社

前 言

金属材料是机械、汽车制造行业的基本材料，本书将常用金属材料按碳钢、合金钢、铸铁、有色金属几部分汇集了各种材料的化学成份、机械性能及验收标准，并就多年积累的大量珍贵资料加以整理，以典型图片说明材料经常出现的缺陷及加工制造过程中经常发生的问题和使用中失效的原因，以便从事设计、工艺材料、检验的工作人员参考，从而使产品设计更加合理、工艺更加先进，达到提高产品质量，提高社会效益的目的。

本书是根据作者多年的实践经验及积累的资料，并参考和引用了一些材料手册的有关资料及试验室同志的试验报告编写的，并承蒙北京钢铁学院宋维锡教授指点。在编写过程中得到北京汽车摩托车制造公司的大力支持，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，难免有错误和不妥之处，望批评指正。

编者

目 录

一、 优质碳素结构钢	1
(一) 优质碳素结构钢薄钢板	1
(二) 深冲压用冷轧薄钢板和钢带	3
(三) 20 号钢	6
(四) 35 号钢	8
(五) 40 号钢	11
(六) 45 号钢	13
二、 合金钢	17
(一) 20Cr	17
(二) 20CrMnTi	19
(三) 40Cr	25
(四) 40MnB	26
(五) 65Mn	30
(六) 60Si2Mn	31
(七) GCr15	34
三、 铸铁	38
四、 有色金属	46
(一) 铜合金	46
(二) 锡基轴承合金	49

一、优质碳素结构钢

(一) 优质碳素结构钢薄钢板

技术条件 (摘自 GB710—88)

本标准适用于汽车工业、航空工业以及其它部门使用的，厚度等于或小于 4mm 的热轧和冷轧的优质碳素结构钢薄钢板。

1. 化学成分 (%)

牌号	C	Si	Mn	酸溶 Al	P	S
08F	0.05~0.11	<0.03	0.25~0.50		<0.040	<0.040
08	0.05~0.12	0.17~0.37	0.35~0.65		<0.035	<0.040
08Al	0.05~0.12	0.17~0.37	0.35~0.65		<0.035	<0.040
25	0.22~0.30	0.17~0.37	0.50~0.80		<0.040	<0.040

2. 机械性能

牌 号	拉 延 级 别								
	Z	S 和 P		Z	S	P	Z	S	P
	抗拉强度 σ_b N/mm ² (kgf/mm ²)		伸长率 δ_{10} (%) 不小于						
			冷轧板			热轧板			
08F	275~365 (28~37)	275~380 (28~39)	34	32	30	30	29	27	
08	275~390 (28~40)	275~410 (28~42)	32	30	28	28	27	25	
08Al		382~539 (40~55)		24	23		23	22	

3. 晶粒度

轧 制 状 态	牌号和拉延级别										
	Z					S					
	08F	10F	08	08Al	10	08F	08	08Al	10F	10	15F
铁素体晶粒级别按(GB6394 系列图片 I)											
冷轧	6、7、8		6、7、8、9			5、6、7、8、9					
热轧	5、6、7、8		5、6、7、8、9			5、6、7、8、9、10					

4. 游离渗碳体:

08F、08、08A1、10F 和 10 钢的钢板和钢带允许有游离碳化铁组织存在。冷轧、热轨 Z 级钢板级别范围为 0、1、2、3 级。

5. 带状组织

15F、15、15A1、20F、20 钢的 Z 级带状组织级别范围为 1、2、3 级。

图次	名称	组织及说明
1	钢板(08A1)	游离渗碳体, A 列 4 级
2	转向导管(08)	氰化淬火后在装配时断裂(断裂部分在舌根处)
3	转向导管(08)	氰化淬火在使用时断裂(断裂部位在导管的中部)
4	转向导管(08)	<p>图 2、3 的金相组织零件表层有 0.15mm 氰化层表层与心部有明显的分界线无过渡层, 碳氮浓度梯度太陡, 表面与心部结合不好, 在氰化层下 0.30~0.40mm 范围内晶粒度为 4~5 级在向里面晶粒度为 7~8 级。由于表层氰化层与心部结合的不牢以及氰化层下面又有一段强度低的粗晶区, 因此造成导管在装配时的断裂</p> <p>此导管氰化淬火温度为 820℃ 在此温度晶粒不致长大, 因此可知在氰化前钢板表面有约 0.5mm 左右的粗晶区</p>
5	汽车大灯(08)	在冲压成形时断裂
6	汽车大灯(08)	<p>图 6 的显微组织从断口处取样分析发现钢板中的游离渗碳体数量较多, 并沿铁素体晶界呈网状分布, 因此造成汽车大灯在冲压时开裂</p> <p>游离渗碳体按标准评为 B 列 5 级</p>
7	导电圈(08)	此零件用料为冷轧薄板经冲压成型后, 再进行气体氰化淬火处理, 该件在装配时发生开裂, 经金相检查发现表面的粗针状马氏体, 心部为粗大的铁素体晶粒及部分上贝氏体
8	导电圈(08)	为图 7 的心部组织放大 500× 的情况, 由于上贝氏体的组织韧性很差, 所以造成装配时该件的破裂
9	BJ122 下摆臂热轧 08A1	该件采用热轧板 4mm 厚, 冲压成型后, 装车行驶中断裂, 该图为断口部位
10	BJ122 下摆臂	图 9 的显微组织, 从断口附近取样, 发现有严重的脆性及塑性夹杂物, 集中分布相当标准 4 级, 它破坏了金属的连续性, 造成分层, 从而降低了钢板的塑性和强度, 因而造成了钢板的早期损坏

(续)

图次	名称	组织及说明
11	08Al 热轧板	进厂原材料检查, 在冷弯试验时, 弯心直径等于板厚 (a) 时, 弯曲处断裂, 断口有分层
12	08Al 热轧板	图 11 的金相组织, 断口处有粗大的塑性夹杂, 是造成分层的原因
13	08Al 热轧板	图 11 的金相组织, 不但夹杂严重, 同时链状游离渗碳体也较严重, 相当标准 A 列 5 级
14	轮辋 08Al 热轧板	该件采用 4mm 厚的热轧板, 在冷滚成形时开裂
15	轮辋 08Al 热轧板	图 14 的金相组织, 为珠光体及铁素体, 经化验, 含碳量偏高, 为 0.18%。由于含碳量高, 因此成形性能较差, 在冷滚时开裂
16	发动机支架 25 钢	该材料为热轧钢板, 下料后经过 680℃ 退火, 在冲压时开裂
17	发动机支架 25 钢	图 16 件经金相检查, 该件的塑性夹杂较严重, 相当标准细小者 4 级
18	发动机支架 25 钢	经过浸蚀, 该件的带状组织也较严重, 相当标准 4 级。由于带状组织和夹杂物均超过技术要求, 所以在冲压时, 引起开裂
19	BJ212 轮辋 08Al 热轧板	该件为 4mm 的热轧板, 在冲制轮辋经过冷成形时开裂
20	BJ212 轮辋 08Al 热轧板	图 19 的金相组织为铁素体+游离渗碳体。游离渗碳体按照标准评为 4.5 级, 超过了技术要求, 使钢的塑性降低, 因而在冷滚成形时发生了开裂

(二) 深冲压用冷轧薄钢板和钢带

08 号钢在冶炼时用铝脱氧, 此时含铝量为 0.02~0.07% 这种钢号为 08Al。08Al 冷轧薄板用于汽车, 拖拉机等工业上形状复杂的深冲压零件, 如发动机盖、汽门室罩、油底壳等。

技术条件 (摘自 GB5213—85)

1. 化学成分 %

C	Si	Mn	酸溶 Al	P	S
<0.08	痕迹	<0.40	0.02~0.07	<0.02	<0.03

2. 机械性能 (厚度不大于 2mm 的钢板、钢带)

拉延 级别	公称 厚度	屈服点 σ_s		抗拉强度 σ_b		伸长率 $\delta_{10}\%$ 不小于
		kgf/mm ²	(N/mm ²)	kgf/mm ²	(N/mm ²)	
		不大于				
ZF	全部	20	(196)	26~33	(255~324)	44
HF	全部	21	(206)	26~34	(255~334)	42
F	> 1.2	22	(216)	26~35	(255~343)	39
	1.2	22	(216)	26~35	(255~343)	42
	< 1.2	24	(235)	26~35	(255~343)	42

3. 杯突试验

厚度不大于 2mm 钢板和钢带, 其冲压深度值应符合下表规定。

公称 厚度	冲 压 深 度 不 小 于		
	ZF	HF	F
0.5	9.5	9.3	9.1
0.6	9.8	9.6	9.4
0.7	10.3	10.1	9.9
0.8	10.6	10.5	10.3
0.9	10.8	10.7	10.5
1.0	11.2	10.8	10.7
1.1	11.3	11.0	10.9
1.2	11.5	11.2	11.1
1.3	11.7	11.3	11.3
1.4	11.8	11.4	11.4
1.5	12.0	11.6	11.5
1.6		11.8	11.7
1.7		12.0	11.9
1.8		12.1	12.0
1.9		12.2	12.1
2.0		12.3	12.2

4. 晶粒度

ZF、HF 级的晶粒度应符合 YB27—77 中的 6、7、8 级或饼形晶粒为合格级。F 级 6、7、8、9 级为合格级。

5. 游离渗碳体

游离渗碳体不得超过 YB31—64 中的 2 级。

图次	名 称	组 织 及 说 明
21	小油底壳冷轧 08Al	采用冷轧深冲薄板、冲压时开裂
22	小油底壳冷轧 08Al	上图的显微组织中有多量的游离渗碳体存在并沿晶界分布大于标准 B 列 5 级是造成开裂原因
23	BJ212 汽门室罩冷轧 08Al	该体采用冷轧深冲薄板、在冲压时开裂
24	BJ212 汽门室罩	上图的显微组织、游离渗碳体过多且形态不好大于标准 B 列 5 级。这种组织既硬且脆，在冲压过程中阻碍金属基体塑性变形，降低了材料的塑性，导致零件开裂
25	盖子冷轧 08Al	采用冷轧深冲薄板在冲压时开裂
26	盖子冷轧 08Al	上图的显微组织为铁素体及沿晶界分布的珠光体，网状珠光体的存在降低了材料的塑性，导致在冲压时开裂
27	08Al 深冲薄板	图 25 钢板显微组织中存在大量夹渣
28	08Al 深冲薄板	图 25 的原材料做 R 值试验，拉力试样有明显的屈服平台。在试样表面出现形变折皱，所测 R 值很低， $\bar{R} = 0.85$
29	08Al 深冲薄板	板材的 R 值与织构有密切关系。由试验证明，板材的有利织构度高， \bar{R} 值也高，本图片是用金相腐蚀坑法测定板材的织构，其结果有利织构度太低，在 30% 左右，所以 R 值也低。由图可以看出几何图形 \triangle 、 \square 对应 $\{111\}$ 晶面族。为有利织构面， \square 对应 $\{100\}$ 晶面族， \triangle 对应 $\{122\}$ 晶面族， \square 、 \triangle 两种几何图形都为不利织构面，不利织构是影响，冲压成型的一个主要因素
30	门外板 08Al 深冲板	在冲制门外板时，出现折皱和开裂，取原材料做拉力试验时，也出现屈服平台，当有屈服现象的钢板冲压时，由于变形不均，而产生的折皱影响冲制件表面外观质量，难以用油漆遮盖，是冲压制品的一种表面缺陷

(续)

图次	名 称	组 织 及 说 明
31	门外板 08A1 深冲板	图 30 经金相检查该材料的游离渗碳体相当标准 4 级, 是冲裂的主要原因
32	门外板 08A1 深冲板	图 30 因为冲压形成与板材结构有关, 因此测定了该件的组织, 其结果有利织构度为 30% 左右, 由此可知, R 值也是很低的, 这批零件 30% 以上出现折皱和开裂, 所以, 游离渗碳体和组织是影响质量的主要原因
33	BJ212 发动机顶盖日本板 SPEN-SD	该件在冲压成形时, 成品率达 100%
34	BJ212 发动机顶盖日本板 SPEN-SD	将上图进行组织测定, 有利织构达 58% 左右, 由图中的几何形状可以看出, Δ 对应的 {111} 晶面族数量多, 因此成率也高
35	前围板 08A1 深冲板	在冲制前围板时发生开裂
36	前围板 08A1 深冲板	在上图开裂处取样检查的金相组织, 发现晶粒极不均匀, 板表面 0.40mm 范围晶粒大于 1 级, 心部 7~8 级, 由于晶粒大小差别悬殊, 因此造成冲裂

(三) 20 号 钢

20 号钢的强度比 15 号钢稍高, 很少淬火。这种钢用于不经受很大应力而要求很大韧性的各种机械零件。还可用于表面硬度要求高, 而心部强度要求不大的渗碳零件与氮化零件, 如轴套、链条的滚子、轴以及不重要的齿轮、链轮等。这种钢焊接性极高, 无回火脆性。

技术要求 (摘自 GB699—88)

1. 化学成分: %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
0.17~0.24	0.17~0.37	0.35~0.65	<0.035	<0.035	<0.25	<0.25

2. 热处理

项 目	退火	正火	高温回火	淬火	回火	渗碳
加热温度 $^{\circ}\text{C}$	880~900	890~920	680~720	860~900	170~200	900~920
冷却	—	空气	空气	油冷	—	—
心部硬度 HB	—	156	—	—	160~180	—
表面硬度 HRC	—	—	—	—	56~62	—

(续)

项 目	淬火	回火	氰化	淬火	回火
加热温度℃	780~800	140~180	840~850	840~850	140~180
冷却	水冷	空气	—	水或油	空气
心部硬度 HB	—	160~190	—	—	160~190
表面硬度 HRC	—	58~63	—	—	58~62

3. 机械性能

屈服点 σ_s	抗拉强度 σ_b	伸长率 δ_5	收缩率 ψ
N/mm ² (kgf/mm ²)		%	
不 小 于			
245(25)	410(42)	25	55

4. 酸浸低倍组织应符合下表规定

低倍组织类型	一般疏松	中心疏松	偏析
级(不大于)	3.0	3.0	3.0

5. 非金属夹杂物

夹杂物类型	脆性夹杂物	塑性夹杂物	两者之和
级(不大于)	3.0	3.0	5.5

图次	名 称	组 织 及 说 明
37	圆钢	经热酸侵蚀后, 钢材表面有纵向裂纹
38	圆钢	严重的带状组织, 相当于 YB31—64 带状组织评级标准中的 5 级。由图可见铁素体与珠光体呈条带状分布, 它使钢材呈现各向异性, 显著降低了钢材冷热加工性能。一般的, 带状组织可以通过正火消除。由严重磷偏析引起的带状组织需用高温扩散退火及正火消除
39	销子	过热的魏氏组织, 由于加热温度过高形成粗晶奥氏体, 在冷却时, 游离铁素体除沿晶界析出外, 还有一部分铁素体从晶界伸向晶粒内部或在晶粒内部独自析出所形成的组织即为魏氏组织
40	销子	经 $870 \pm 10^\circ\text{C}$ 正火后, 消除了魏氏组织, 得到了较均匀的铁素体及珠光体等轴晶粒
41	曲柄销	$920 \sim 930^\circ\text{C}$ 气体渗碳 7~8h, 由于渗碳工艺不正确, 碳浓度梯度过陡, 无过渡层, 渗层与心部结

(续)

图次	名称	组织及说明
41	曲柄销	合得不好, 从渗层至心部硬度变化突然, 在交界处形成较大残余拉应力, 易产生裂纹和硬化层的剥落
42	曲柄销	920~930℃ 气体渗碳 7~8h, 由于渗碳工艺正确得到正常过渡层, 碳浓度梯度较平缓有利于渗层与心部结合的更加牢固, 碳浓度沿渗层深度均匀下降, 使渗碳层至心部过渡层中硬度分布合理, 可避免淬火开裂和在工作状态下不致产生剥落

(四) 35 号 钢

35 号钢的性能与 30 号钢相似, 有好的塑性和适当的强度, 广泛用来制造各种锻件和热压件, 冷拉和冷顶锻钢材, 无缝钢管、机械制造中的零件。如曲轴、转轴、轴销、杠杆、连杆、横梁、星轮、圆盘、套筒、轮圈、钩环、垫圈以及螺钉、螺母等。这种钢大多在正火状态和调质状态下使用, 一般不作焊接; 在锅炉制造中也用作温度 $<425^{\circ}\text{C}$ 的螺栓和 $<450^{\circ}\text{C}$ 的螺母。

技术条件 (摘自 GB699—88)

1. 化学成分 %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
0.32~0.40	0.17~0.37	0.50~0.80	<0.040	<0.040	<0.25	<0.25

2. 热处理

项目	退火	正火	高温回火	淬火	回火
加热温度 $^{\circ}\text{C}$	840~890	840~890	680~720	850~890	随需要而定
冷却	炉冷	空冷	空冷	水冷、油冷	空冷

3. 机械性能

屈服点 σ_s	抗拉强度 σ_b	伸长率 δ_5	收缩率 ψ	冲击值 a_K J/cm ² (kgf·m/cm ²)
N/mm ² (kgf/mm ²)		%		
不 小 于				(kgf·m/cm ²)
315(32)	530(54)	20	45	$>69(7)$

4. 酸浸低倍组织应符合下表

低倍组织类型	一般疏松	中心疏松	偏析
级 不大于	3.0	3.0	3.0

5. 非金属夹杂物

夹杂物类型	脆性夹杂物	塑性夹杂物	两者之和
级 不大于	3.0	3.0	5.5

6. 脱碳层

钢材用途	允许总脱碳层深度不大于
高频淬火用钢	1.0%D
冷顶锻及冷拔坯料用钢	1.5%D

ML 35

ML35 属于冷墩钢。冷墩钢的标准 GB6478—86 适用于直径 6~40mm 供冷墩件用的优质碳素钢及合金结构钢热轧钢材（冷拉坯料），其中 ML35 的化学成分及机械性能应符合以下规定：

1. 化学成分 %

C	Mn	Cr	Si	S	P
0.32~0.40	<0.60	—	<0.20	<0.040	<0.035

2. 机械性能

加热到较 Ac_3 临界点高 30~50℃ 的温度，保温时间不少于 30min 空冷。

屈服点 σ_s	抗拉强度 σ_b	伸长率 δ_5	收缩率 ψ	布氏硬度 HB	
N/mm ²	(kgf/mm ²)	%		热轧	退火
不 小 于		小于或等于			
315(32)	530(54)	20	45	187	179

图次	名称	组织及说明
43	小六角螺栓(35 ^号)	螺栓经淬火后发现表面有纵向裂纹，裂纹深度为 3.10mm
44	小六角螺栓(35 ^号)	图 43 的横截面显微组织，裂纹两侧无脱碳层。从粗大的马氏体可以看出螺栓系由于淬火温度过高而产生了淬火裂纹，因此应当降低淬火温度来防止淬火裂纹的产生。

(续)

图次	名 称	组 织 及 说 明
45	六角螺栓(ML35)	螺栓经冷墩铣六角后, 螺栓头部与杆部有纵向裂纹
46	六角螺栓(ML35)	图 45 螺栓经检查发现组织中存在大量的硫化物夹杂, 其数量已超过“钢中非金属夹杂物级别图”的 4 级, 因此在冷墩时引起开裂
47	调整螺栓(ML35)	螺栓经冷墩淬火后发现头部有纵向裂纹, 裂纹深度为 0.60mm
48	调整螺栓(ML35)	图 47 的显微组织, 裂纹两侧有脱碳层, 说明在淬火前裂纹已经存在, 即在螺栓冷墩时产生的裂纹, 在淬火加热时造成裂纹两侧的脱碳
49	调整螺栓(ML35)	同上, 放大倍数不同。根据以上分析应调整冷墩工艺, 避免冷墩时的开裂
50	φ9.7mm 冷拔圆钢(ML35)	经热酸浸蚀后表面的划痕
51	φ9.7mm 冷拔圆钢(ML35)	与图 50 同一材料经热酸浸蚀后发现方形偏析和缩孔残余
52	偏心螺栓	与图 50 同一材料经冷墩成形后, 热酸浸蚀后螺栓头部发现有沿偏析开裂的现象
53	偏析螺栓	图 52 的螺栓头部有与轴线成 45° 的裂纹, 在螺栓杆部有纵向裂纹
54	偏心螺栓 六角螺栓	与图 50 同一材料经冷墩→滚丝→调质处理后的螺栓经热酸浸蚀后, 螺栓头部清楚可见偏析及缩孔残余
55	偏心螺栓	将图 54 螺栓沿中心线纵向剖开, 经热酸浸蚀后发现缩孔残余贯穿整个螺栓, 并清楚可见缩孔残余随螺栓冷墩时变形的情况
56	偏心螺栓	图 54 螺栓纵剖面轴心附近有大量的非金属夹杂物
57	偏心螺栓	图 54 螺栓纵剖面在热酸浸蚀后颜色不一致, 说明材料的化学成分不均匀有偏析现象
58	偏心螺栓	图 57 中深颜色部位的组织, 由于此处含碳量较浅色处为高, 因此组织中珠光体相对量比浅色处为多。经图象分析仪分析铁素体所占面积为总面积的 35.9%
59	偏心螺栓	图 57 中浅色部位的组织, 由于此处含碳量较深色处少。因此组织中珠光体相对量较深色处少。经

(续)

图次	名 称	组 织 及 说 明
59	偏心螺栓	图象分析仪分析铁素体所占面积为总面积 72.8%
60	偏心螺栓	图 54 螺栓在调质处理时, 由于冷墩裂纹在淬火时引起的应力集中, 造成沿冷墩裂纹延伸的淬火裂纹
61	偏心螺栓	所用材料为图 50 的 $\phi 9.7\text{mm}$ 冷拔圆钢, 由于原材料中存在严重缺陷 (如图 50~60 所示) 大大降低了材料的塑性, 造成材料在冷拔时的开裂, 图中所示为螺栓沿中心线的纵剖面上的缩孔残余及冷拔“V”形裂纹
62	偏心螺栓	所用材料为图 50 的 $\phi 9.7\text{mm}$ 冷拔圆钢, 由于经冷墩→车偏心→滚丝→调质处理后螺栓中出现了如图 61 中的“V”形裂纹, 因此大大减少了螺栓的有效截面积, 导致了螺栓在装配时沿“V”形裂纹的危险截面的开裂, 形成了子弹头形式的断口
63	偏心螺栓	同 62
64	刹车拉杆	在弯弯时, 用气焊加热, 由于加热时, 温度过高, 表面过烧, 图中所示为过烧裂纹
65	螺栓	该件在装车后试车时刚一刹车就发生断裂, 图为螺栓断口
66	螺栓	图 65 的螺栓心部金相组织为马氏体, 该件的技术条件为氰化淬火后, 表面硬度为 HRC48~60, 心部为 HRC16~38, 而该螺栓心部硬度为 HRC48~50, 大大超过了技术要求, 严重降低了心部的韧性, 造成了刹车时的脆断

(五) 40 号 钢

40 号钢具有较高的强度。用这种钢制造的零件一般经过淬火及回火。这种钢可焊接, 但焊前须预热至 150°C 。钢的加工性良好, 冷变形时塑性中等, 用以制造机器的运动零件, 如辘子, 轴, 曲柄销, 传动轴, 活塞杆, 连杆, 圆盘等。

技术要求 (摘自 GB699—88)

1. 化学成分 %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
0.37~0.45	0.17~0.37	0.50~0.80	<0.040	<0.040	<0.25	<0.25

2. 热处理

项目	退火	高温回火	正火	淬火	回火
加热温度℃	840~870	680~720	840~890	830~880	220~260 随需要而定
冷却	炉冷	空气	空气	水或油冷	空气

3. 机械性能

屈服点 σ_s	抗拉强度 σ_b	伸长率 δ_5	收缩率 ψ	冲击值 a_K J/cm ² (kgf·m/cm ²)
N/mm ² (kgf/mm ²)		%		
不 小 于				
335(34)	570(58)	19	45	>59(6)

4. 低倍检验

按 GB226—77 检查钢的低倍组织，并按 GB1979—80 结构钢低倍缺陷标准级别图评级。

5. 非金属夹杂物

按 YB25—77 测定。

图次	名 称	组 织 及 说 明
67	圆钢	φ60 圆钢经过盐酸热侵蚀后，钢的表面出现皮下气泡
68	圆钢	由于原材料有裂纹，在热顶锻时开裂
69	圆钢	φ45 圆钢经过盐酸热侵蚀后，钢的表面呈多条裂纹，最深处达 2.0mm
70	圆钢	φ45 圆钢显微组织经检查存在严重带状组织按标准评为 4 级
71	垫圈	该件经淬火开裂
72	垫圈	图 72 的显微组织经 860℃ 淬火水冷，由于淬火温度过高及冷却不当造成开裂，因此应当降低淬火温度以减少开裂倾向
73	球形支承	该件在锻造时产生裂纹，此照片为该件热盐酸侵蚀后的状况
74	球形支承	图 73 球形支承的金相组织 由于加热炉中曾加热过铜件，而后加热球形支承时，加热温度超过 1000℃，使炉中残留的铜屑熔化、沿奥氏体晶界渗入锻件，而在奥氏体晶界上的富铜相熔点较低，在锻件加热时形成熔融状态，因此引起球形支承锻造时的热脆现象，表面出现多条

(续)

图次	名称	组织及说明
74	球形支承	裂纹。图为裂纹处的金相组织珠光体+铁素体+铜+氧化亚铁

(六) 45 号 钢

这种钢用于制造强度要求较高的零件。通常是在调质或正火状态下使用。为了使钢具有必要的韧性，并消除其残余应力应将淬火后的钢回火成索氏体。在水中淬火时有形成淬火裂纹的倾向，形状复杂的零件应在热水或油中淬火。用以制造蒸汽透平机的叶轮压缩机、泵的运动零件，在制造齿轮、轴、活塞销等零件时，45号钢可以代替渗碳钢，但零件要经高频或火焰表面淬火。

这种钢可以焊接，但焊前须经预热，焊后须经退火处理。

技术条件 (摘自 GB699—88)

1. 化学成分 %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	<0.40	<0.040	<0.25	<0.25

2. 热处理

项目	退火	正火	高温回火	淬火	回火
加热温度℃	820~840	830~880	630~720	780~860	230~620 随需要而定
冷却	炉冷	空气	空气	油或水冷	空气、水冷

3. 机械性能

屈服点 σ_s	抗拉强度 σ_b	伸长率 δ_5	收缩率 ψ	冲击值 a_K J/cm ² (kgf·m/cm ²)
N/mm ² (kgf/mm ²)		%		
不 小 于				
355(36)	600(61)	16	40	49(5)

4. 酸浸低倍组织应符合下表

低倍组织类型	一般疏松	中心疏松	偏析
级(不大于)	3.0	3.0	3.0