



中华人民共和国国家标准

GB/T 11354—2005
代替 GB/T 11354—1989

钢铁零件 渗氮层深度测定和 金相组织检验

Determination of nitrided case depth and metallographic microstructure
examination for steel and iron parts

2005-07-21 发布

2006-01-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

前 言

本标准是对 GB/T 11354—1989《钢铁零件 渗氮层深度测定和金相组织检验》标准的修订,其主要内容包括以下 5 个方面:

- 渗氮前原始组织的检验(分 5 个级别);
- 渗氮层深度测定(硬度法和金相法);
- 渗氮层脆性的检验(分 5 个级别);
- 渗氮层疏松的检验(分 5 个级别);
- 渗氮扩散层中脉状氮化物的检验(分 5 个级别)。

根据 GB/T 1.1—2000《标准化工作导则 第 1 部分:标准的结构和编写规则》的要求,本标准在结构、编排格式、文字表述上都作了相应修改。如:

- 增加了目次、前言;
- 在编排格式方面,简化了首页格式并调整了其他内容的格式;
- 将“主题内容与适用范围”改为“范围”;将“引用标准”改为“规范性引用文件”;
- 在“规范性引用文件”中增加了“GB/T 7232 金属热处理工艺术语”;
- 在“术语和定义”中增加了相关术语的英文名称;
- 在每章的内容里增加了一级条目的标题;
- 增加附录 B,提供与标准级别有关的性能数据表格。

本标准代替 GB/T 11354—1989《钢铁零件 渗氮层深度测定和金相组织检验》。

本标准的附录 A、附录 B 为资料性附录。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国热处理标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:北京机电研究所。

本标准主要起草人:胡小丽、林丽华、李 俏、马 兰、邵周俊。

钢铁零件 渗氮层深度测定和 金相组织检验

1 范围

本标准规定了钢铁零件表面渗氮层深度的测定方法和渗氮前后金相组织的检验方法和技术要求。

本标准适用于气体渗氮、离子渗氮、氮碳共渗处理后的钢铁零件表面渗氮层深度、脆性、疏松及脉状氮化物的测定与评定。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 7232 金属热处理工艺术语

GB/T 9450 钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核(ISO 2639:2002,MOD)

GB/T 9451 钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定(ISO 4970:1979 MOD)

3 术语和定义

本标准采用了 GB/T 7232 标准中的有关术语。下列术语和定义适用于本标准。

3.1

原始组织 prior metallographic structure (original structure)

指工件在渗氮处理前所具有的金相组织。

3.2

渗氮层脆性 brittleness of nitrided case

指渗氮件表面在一定的试验力作用下，维氏硬度压痕边角碎裂的程度。

3.3

渗氮层疏松 porosity of nitrided case

指渗氮件表面化合物内微孔的密集程度。

3.4

脉状氮化物 nervation and wave like nitride

指渗氮件扩散层中与表面平行走向的脉浪状氮化物。

4 原始组织的检验

对不同服役条件的渗氮零件和不同的渗氮钢材，在渗氮前可采取不同的预先热处理获得相应的原始组织。

4.1 渗氮前原始组织级别分级

对调质钢渗氮前原始组织级别按索氏体中游离铁素体数量分为 5 级，见表 1 和图 1。

4.2 原始组织的检测方法及要求

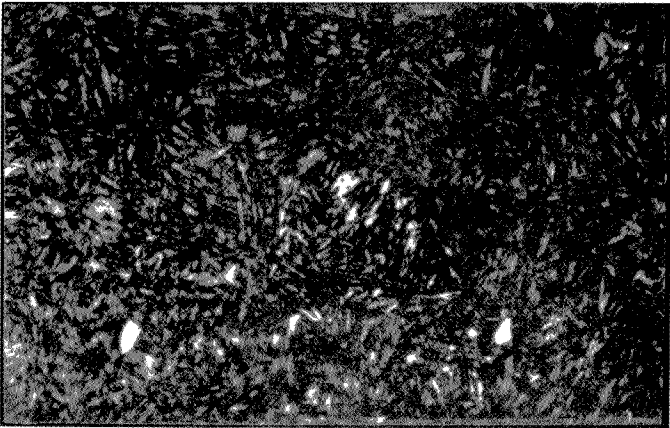
原始组织在渗氮处理以前进行检验(对大工件可在表面 2 mm 深度范围内检查)，在显微镜下放大

500 倍,参照原始组织级别图进行评定,一般零件 1~3 级为合格,重要零件 1~2 级为合格。

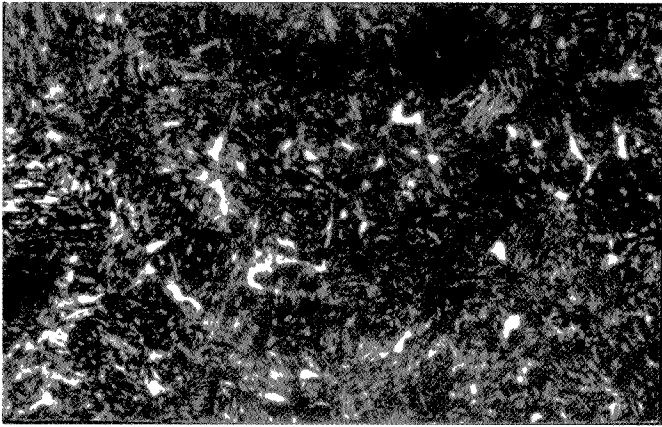
渗氮工件的工作面不允许有脱碳层或粗大的索氏体组织。

表 1 渗氮前原始组织级别及说明

级 别	渗氮前原始组织级别说明	图 号
1	均匀细针状索氏体,游离铁素体量极少	1a)
2	均匀细针状索氏体,游离铁素体量<5%	1b)
3	细针状索氏体,游离铁素体量<15%	1c)
4	细针状索氏体,游离铁素体量<25%	1d)
5	索氏体(正火),游离铁素体量>25%	1e)

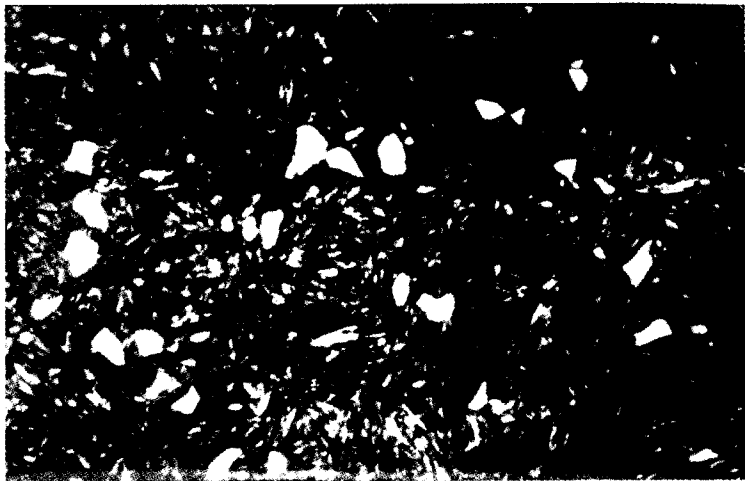


a) 1 级

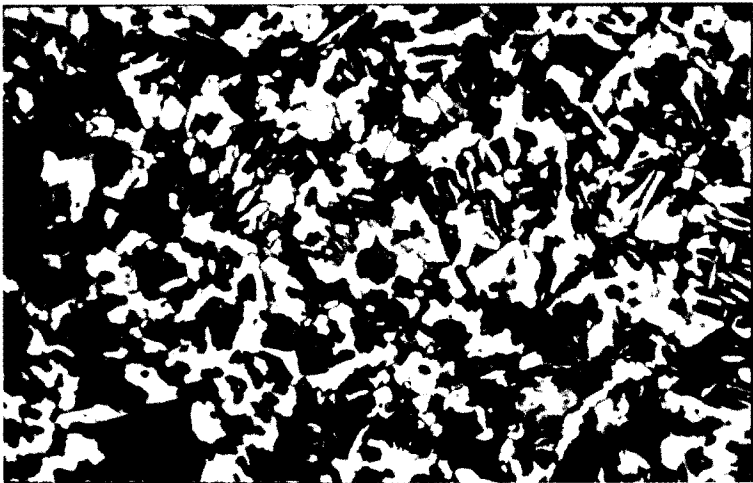


b) 2 级

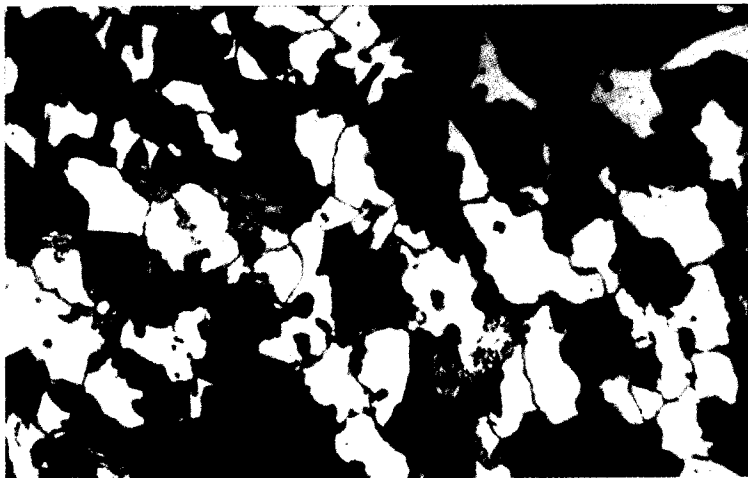
图 1 渗氮前原始组织级别图
(4%硝酸乙醇溶液侵蚀) × 500



c) 3 级



d) 4 级



e) 5 级

图 1 (续)

5 试样条件

5.1 试样的切取

试样应从渗氮零件上切取,也可用与零件的材料、处理条件、加工精度相同,并经同炉渗氮处理的试样。

5.2 检测部位的要求

检验部位应有代表性,试样应垂直于渗氮层表面切取,在磨制和抛光过程中,检测表面不允许过热,边缘不允许倒角和剥落。

5.3 检查渗氮层脆性的试样要求

检查渗氮层脆性的试样表面粗糙度要求 $Ra \leq 0.25 \mu m \sim 0.63 \mu m$,但不允许把化合物层磨掉。

6 渗氮层深度的测定方法

6.1 硬度法

本标准采用维氏硬度,试验力规定为 $2.94 \text{ N}(0.3 \text{ kgf})$,从试样表面测至比基体维氏硬度值高 50HV 处的垂直距离为渗氮层深度。

在距离表面 3 倍渗氮层深度处测得的硬度值(至少取 3 点平均)作为实测的基体硬度值。

对于渗氮层硬度变化很平缓的钢件(如碳钢或低碳低合金钢制件),其渗氮层深度可从试样表面沿垂直方向测至比基体维氏硬度值高 30HV 处。

当渗氮层的深度与压痕尺寸不适合时,可由有关各方协商,采用 $1.96 \text{ N}(0.2 \text{ kgf}) \sim 19.6 \text{ N}(2 \text{ kgf})$ 范围内的试验力,但在 HV 后需注明:如 $\text{HV}0.2$,表示用 $1.96 \text{ N}(0.2 \text{ kgf})$ 试验力。

渗氮层深度用拉丁字母 D_N 表示,以毫米计,取小数点后两位。例如 $0.25D_N(300\text{HV}0.5)$,表示界限硬度为 300HV ,试验力为 $4.903 \text{ N}(0.5 \text{ kgf})$ 时,渗氮层深度为 0.25 mm 。

6.2 测量步骤和结果

测量步骤和结果应符合 GB/T 9450 和 GB/T 9451 标准的要求。

6.3 金相法

在放大 100 倍或 200 倍的显微镜下,按图 2~图 6 所示进行测量,从试样表面沿垂直方向测至与基体组织有明显的分界处的距离,即为渗氮层深度。

6.4 仲裁

有争议时,以硬度法为仲裁方法。

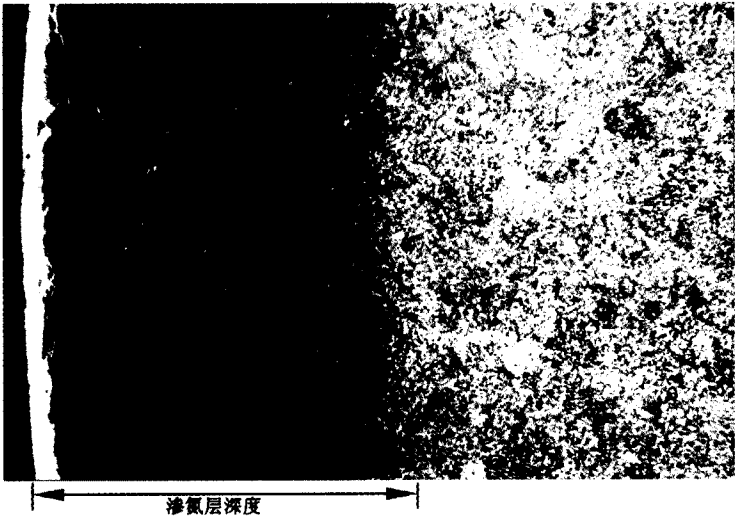


图 2 38CrMoAl 钢气体渗氮(4%硝酸乙醇溶液侵蚀) $\times 100$



图 3 40Cr 钢离子渗氮 (硒酸+盐酸+乙醇溶液侵蚀) ×100

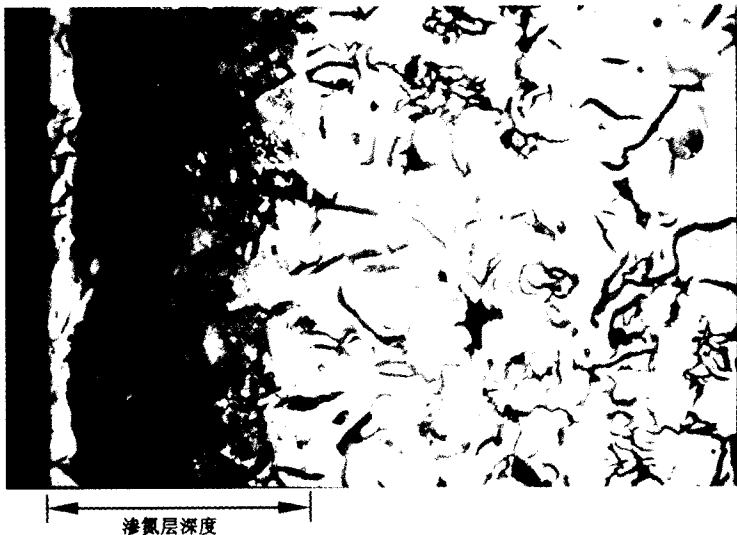


图 4 HT250 灰铸铁氮碳共渗 (硒酸+盐酸+乙醇溶液侵蚀) ×200

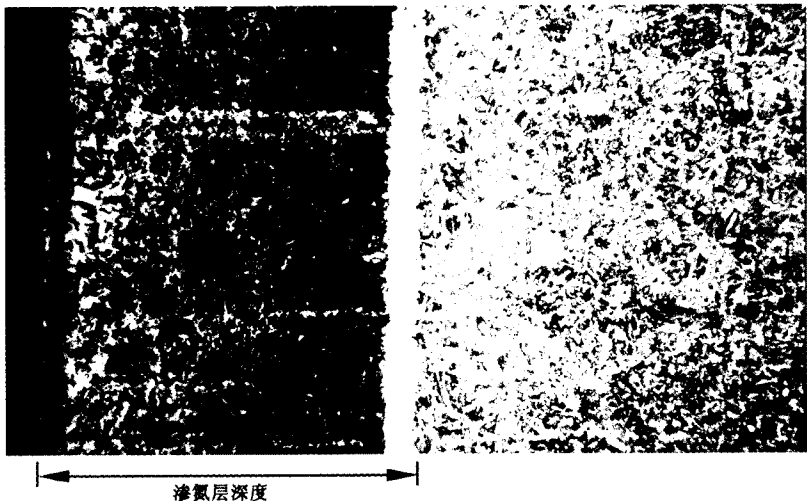


图 5 38CrMoAl 钢气体渗氮后加热到 800℃ 保温 1.5 min/mm 淬火
(4%硝酸乙醇溶液侵蚀) ×100

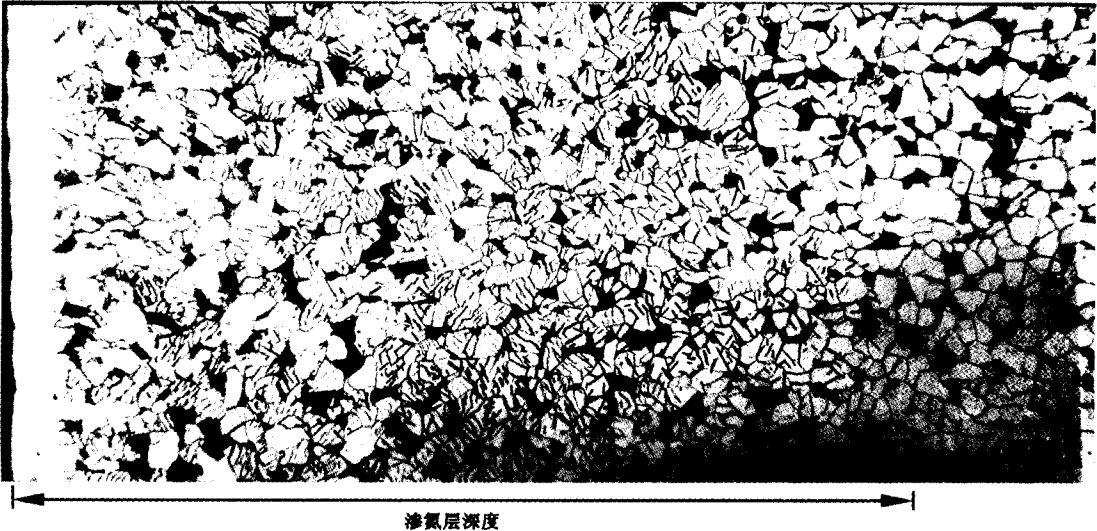


图 6 20 钢氮碳共渗后 300℃ 回火 1 h (4%硝酸乙醇溶液侵蚀) × 200

7 渗氮层脆性检验

7.1 渗氮层脆性级别分级

渗氮层脆性级别按维氏硬度压痕边角碎裂程度分为 5 级,具体分级标准见图 7 和表 2。

7.2 检测方法

检验渗氮层脆性,采用维氏硬度计,试验力规定用 98.07N(10 kgf),加载必须缓慢(在 5 s~9 s 内完成),加载后停留 5 s~10 s,然后去载荷。如有特殊情况,经有关各方协商,亦可采用 49.03 N(5 kgf)或 294.21 N(30 kgf)的试验力,但须按表 3 的值换算。

7.3 检测要求

维氏硬度压痕在放大倍数为 100 倍下进行检验(参照图 7 评定级别)。每件至少测 3 点,其中 2 点以上处于相同级别时,才能定级,否则,需重复测定 1 次。

7.4 渗氮件的渗氮层脆性要求

应在零件工作部位或随炉试样的表面检验渗氮层脆性。一般零件 1~3 级合格,重要零件 1~2 级为合格,对于渗氮后留有磨量的零件,也可在磨去加工余量后的表面上测定。

经气体渗氮的零件,必须进行脆性检验。

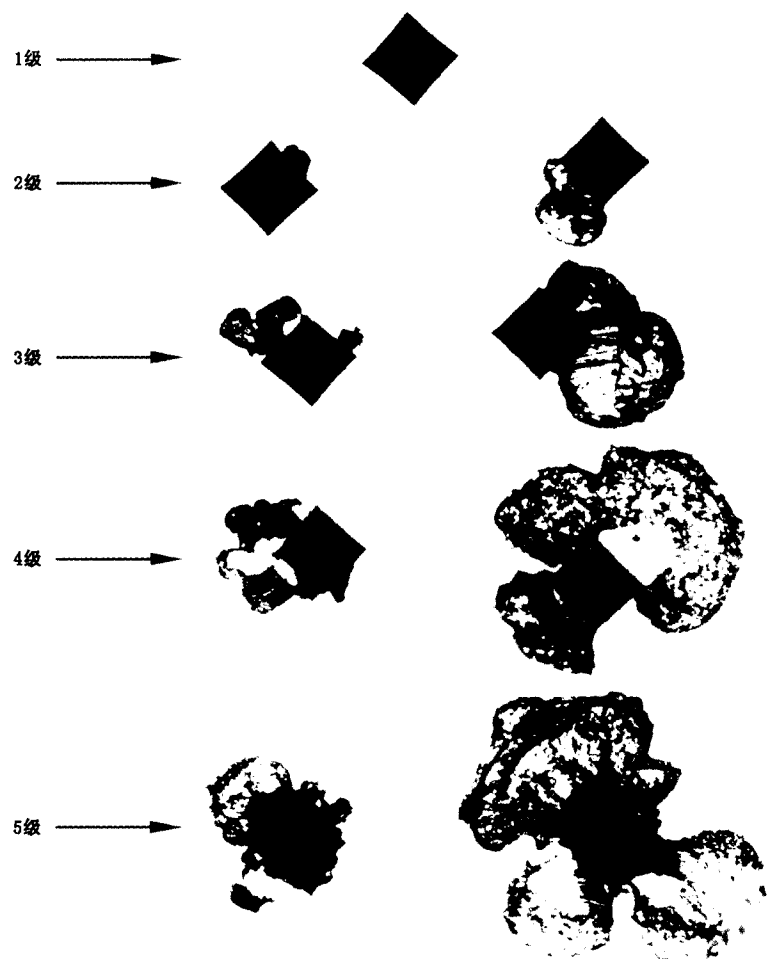


图 7 渗氮层脆性级别图(98.07 N(10kgf) 试验力) × 100

表 2 渗氮层脆性级别说明

级 别	渗氮层脆性级别说明	图 号
1	压痕边角完整无缺	7
2	压痕一边或一角碎裂	
3	压痕二边或二角碎裂	
4	压痕三边或三角碎裂	
5	压痕四边或四角碎裂	

表 3 压痕级别换算

单位:级别

试验力 N(kgf)	压 痕 级 别 换 算				
49.03(5)	1	2	3	4	4
98.07(10)	1	2	3	4	5
294.21(30)	2	3	4	5	5

8 渗氮层疏松检验

8.1 渗氮层疏松级别分级

渗氮层疏松级别按表面化合物层内微孔的形状、数量、密集程度分为 5 级,见图 8 和表 4。

8.2 渗氮层疏松的检测方法及技术要求

渗氮层疏松在显微镜下放大 500 倍检验。取其疏松最严重的部位,参照渗氮层疏松级别图进行评定,一般零件 1~3 级为合格,重要零件 1~2 级为合格。

经氮碳共渗处理的零件,必须进行疏松检验。

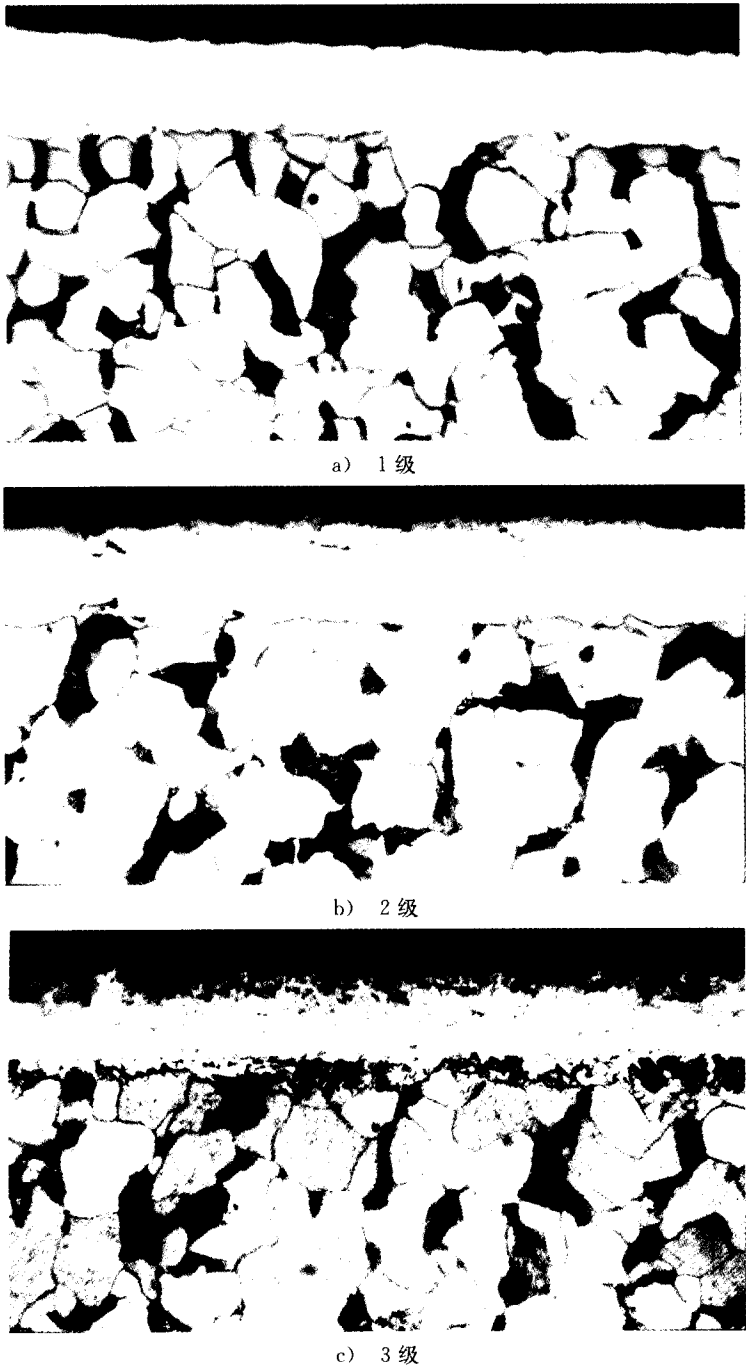
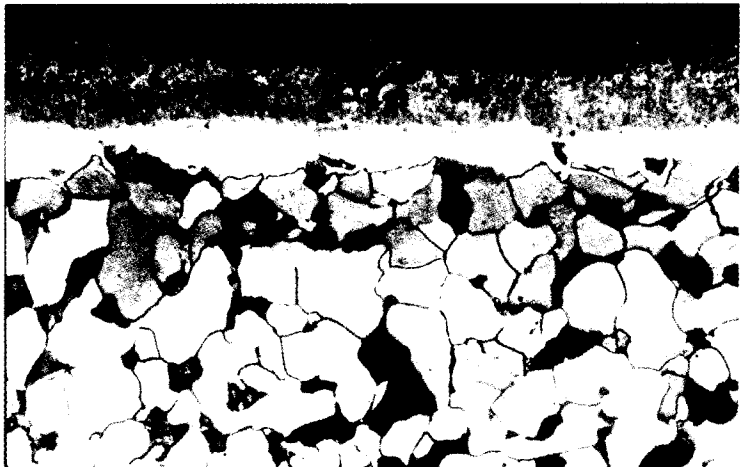
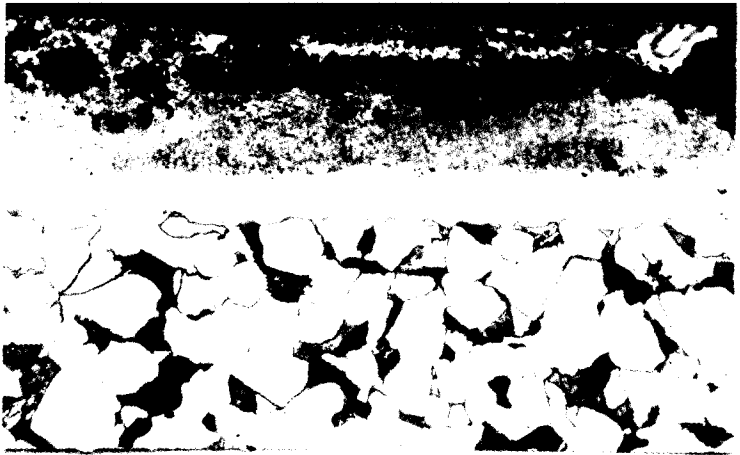


图 8 渗氮层疏松级别图
(2%硝酸乙醇溶液侵蚀) × 500



d) 4 级



e) 5 级

图 8 (续)

表 4 渗氮层疏松级别说明

级 别	渗氮层疏松级别说明	图 号
1	化合物层致密,表面无微孔	8a)
2	化合物层较致密,表面有少量细点状微孔	8b)
3	化合物层微孔密集成点状孔隙,由表及里逐渐减少	8c)
4	微孔占化合物层 2/3 以上厚度,部分微孔聚集分布	8d)
5	微孔占化合物层 3/4 以上厚度,部分呈孔洞密集分布	8e)

9 渗氮层中氮化物检验

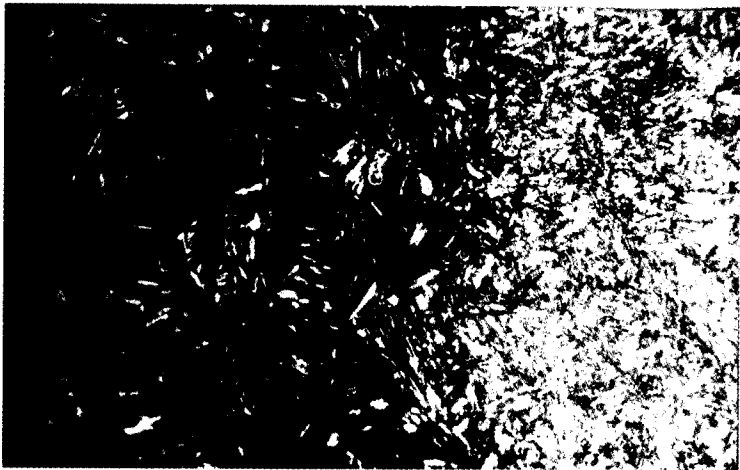
9.1 渗氮层中氮化物级别分级

渗氮层中氮化物级别按扩散层中氮化物的形态、数量和分布情况分为 5 级,见图 9 和表 5。

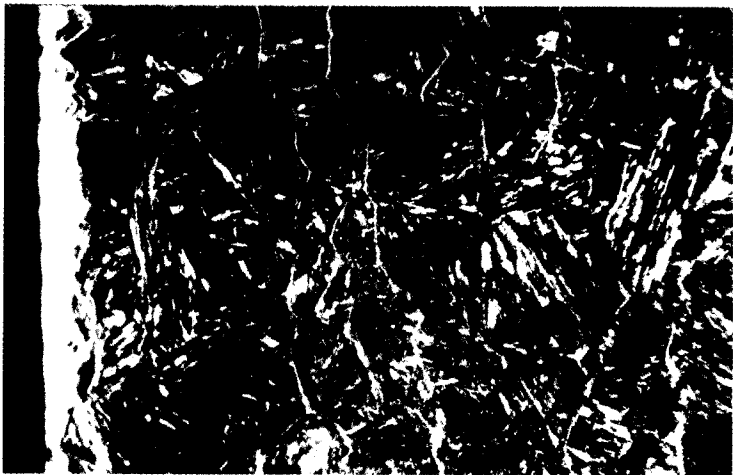
9.2 检测方法及要求

扩散层中氮化物在显微镜下放大 500 倍进行检验,取其组织最差的部位,参照渗氮层氮化物级别图进行评定。一般零件 1~3 级为合格,重要零件 1~2 级为合格。

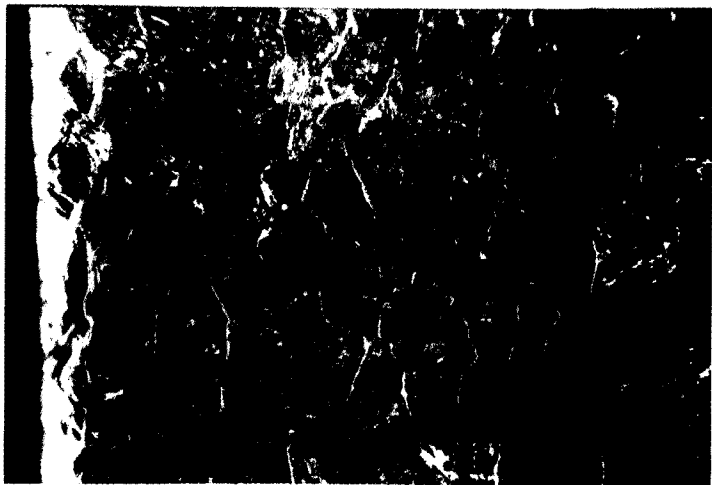
经气体渗氮或离子渗氮处理的零件必须进行氮化物检验。



a) 1 级

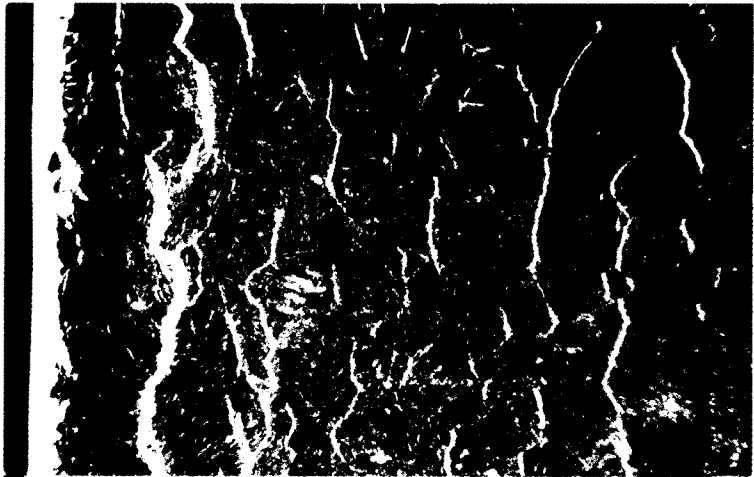


b) 2 级

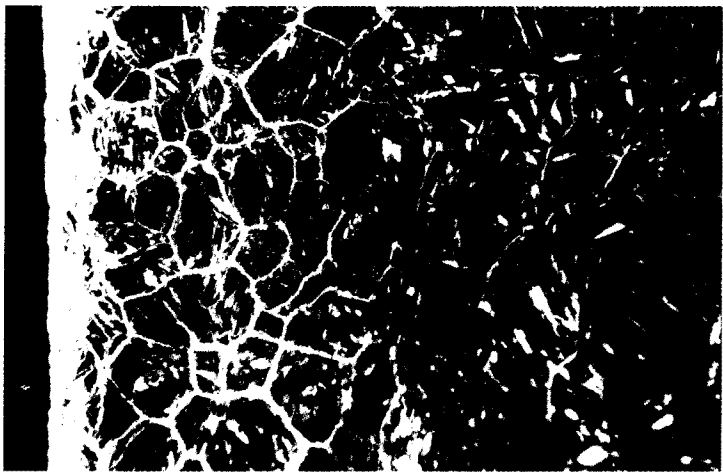


c) 3 级

图 9 渗氮层中氮化物级别图
(4%硝酸乙醇溶液侵蚀) ×500



d) 4 级



e) 5 级

图 9 (续)

表 5 氮化物级别说明

级 别	氮化物级别说明	图 号
1	扩散层中有极少量呈脉状分布的氮化物	9a)
2	扩散层中有少量呈脉状分布的氮化物	9b)
3	扩散层中有较多呈脉状分布的氮化物	9c)
4	扩散层中有较严重脉状和少量断续网状分布的氮化物	9d)
5	扩散层中有连续网状分布的氮化物	9e)

10 检验报告

检验报告应包括下列内容：

- a) 零件号、零件名称、材料及渗氮工艺；
- b) 零件检验部位或试样与编号及检验数量；
- c) 检验方法；
- d) 检验结果；
- e) 检验日期及检验者签名。

附 录 A
(资料性附录)
推荐的侵蚀剂

表 A.1 为推荐的侵蚀剂。

表 A.1 推荐的侵蚀剂

序号	名称	配方	使用方法	适用范围
1	硝酸乙醇溶液	HNO ₃ 2 mL~4mL C ₂ H ₅ OH 100 mL	侵蚀	20 (回火态)、20Cr、45 (正火)、38CrMoAl、3Cr2W8 等钢
2	苦味酸饱和水溶液 + 洗涤剂	C ₆ H ₂ (NO ₂) ₃ OH 饱和水溶液 100 mL C ₁₂ H ₂₅ C ₆ H ₅ SO ₃ Na 2 滴~3 滴	室温侵蚀	20CrMnTi (正火)、40Cr、38CrMoAl 等钢
3	氯化铜 + 氯化镁 + 硫酸铜 + 盐酸 + 乙醇溶液	CuCl ₂ 2.5 g MgCl ₂ 10 g CuSO ₄ 1.25 g HCl 2 mL C ₂ H ₅ OH 100 mL	室温侵蚀 或擦蚀	20(油冷)、45、40Cr、38CrMoAl 等钢
4	三氯化铁 + 混合酸水溶液 + 洗涤剂	FeCl ₃ 1 g C ₆ H ₂ (NO ₂) ₃ OH 0.5 g HCl 5 mL~10 mL H ₂ O 100 mL C ₁₂ H ₂₅ C ₆ H ₅ SO ₃ Na 2 滴~3 滴	室温侵蚀 或擦蚀	38CrMoAl、25Cr2MoV、40Cr、15Cr11MoV 等钢
5	硫酸铜 + 盐酸 + 水或乙醇溶液	CuSO ₄ 4 g HCl 20 mL H ₂ O 20 mL 或 C ₂ H ₅ OH 100 mL	室温侵蚀 或擦蚀	45、40Cr、38CrMoV 等钢 (白亮层易被腐蚀)
6	三氯酸溶液	CuCl ₂ · 2NH ₄ Cl · H ₂ O 0.5 g FeCl ₃ 6 g HCl 2.5 mL H ₂ O 75 mL	室温擦蚀	38CrMoAl、30Cr2MoV、1Cr18Ni9Ti、15Cr11MoV 等钢 (白亮层易被腐蚀)
7	硒酸或亚硒酸乙醇溶液	H ₂ SeO ₄ 3 mL 或 H ₂ SeO ₃ 5 g HCl 10 mL 或 20 mL C ₂ H ₅ OH 100 mL	侵蚀	40Cr、38CrMoAl 钢及各种球墨铸铁和灰铸铁等

附 录 B
(资料性附录)
部分试验数据

B.1 表 B.1 为不同原始组织渗氮层脆性比较。

表 B.1 不同原始组织渗氮层脆性比较

试样号	开裂载荷 F/kN	平均 F/kN	开裂畸变量/mm	平均畸变量/mm	显微组织特征
11	18.30	19.21	1.03	0.98	铁素体含量 3.8%
	19.40		0.95		
	19.40		0.95		
	19.76		1.01		
12	19.30	18.21	0.95	0.88	铁素体含量 2.0%
	18.84		0.92		
	17.94		0.83		
	16.41		0.81		
13	19.00	17.85	0.95	0.90	铁素体含量 7.5%
	18.84		0.94		
	16.26		0.84		
	17.32		0.88		
14	16.41	16.94	0.79	0.83	铁素体含量 34.3%
	17.93		0.88		
	16.87		0.87		
	16.56		0.81		
15	15.35	15.04	0.84	0.82	铁素体含量 32.5%
	16.72		0.86		
	13.98		0.81		
	14.13		0.78		
16	11.85	10.74	0.73	0.66	铁素体含量 50%
	11.09		0.66		
	10.33		0.62		
	9.72		0.63		
17	11.24	10.93	0.69	0.67	铁素体含量 45%
	11.24		0.70		
	10.79		0.63		
	10.48		0.66		
18	19.00	18.80	0.91	0.94	正常索氏体
	18.24		0.95		
	18.69		0.95		
	19.30		0.94		
19	16.41	17.02	0.82	0.83	稍过热索氏体
	17.93		0.89		
	16.41		0.82		
	17.32		0.81		
20	17.48	18.18	0.83	0.86	过热粗针状索氏体
	18.54		0.91		
	18.54		0.86		

B.2 表 B.2 为金相法与硬度法之间的关系。

表 B.2 金相法与硬度法之间的关系

试验钢种	工 艺	心部硬度/HV0.1	渗氮层与心部交界处		心部与交界处硬度差值 ΔHV0.1
			深度/mm	硬度/HV0.1	
20 碳钢	离子渗氮	169	1.00	177	8
45 碳钢	离子渗氮	251	0.50	281	30
45 碳钢	氮碳共渗	230	0.30	256	26
40Cr	催渗	251	0.45	290	39
25Cr2MoV	催渗	268	0.40	304	36
42CrMo	离子渗氮	215	0.55	256	41
42CrMo	气体渗氮	262	0.55	304	42
34CrNiMo	离子渗氮	290	0.55	328	38
34CrNiMo	气体渗氮	281	0.55	311	30
38CrMoAl	离子渗氮	268	0.45	304	36
38CrMoAl	气体渗氮	256	0.50	290	34
15Cr11MoV	催渗	268	0.33	300	32

B.3 表 B.3 为磨损试验规范与结果。

表 B.3 磨损试验规范与结果

疏松级别	试样编号	转速/ r/min	压力/ N(kgf)	润滑剂	磨损时间/ min	力矩/ cm·N (cm·kgf)	磨痕深度/ μm	显微硬度/ HV0.05
1	11 组	200	49.0(5)	N15 号机油 (10 号机油)	5	9.8 (1)	1	460~480
2	机二						1.5~2.0	289~271
3	5 组						3	260~271
4	8 组						6	120~148.3
5	6 组						10.5	63.2~65.2

B.4 表 B.4 为不同渗氮工艺处理的光滑和缺口试样的疲劳强度。

表 B.4 38CrMoAl 钢经不同渗氮工艺处理的光滑和缺口试样的疲劳强度 单位: MPa

试样 类型	渗 氮 工 艺							
	原材料 (调质)	(480~500)℃ ×20 h 渗氮 热分解氮	(520~540)℃ ×4 h 渗氮 热分解氮	(520~540)℃ ×20 h 渗氮 热分解氮	(520℃×8h+ 560℃×12 h) 渗氮热分解氮	(560~580)℃ ×20 h 渗氮 热分解氮	(600~620)℃ ×8 h 渗氮 热分解氮	(520~540)℃ ×20 h 渗氮热 分解氮+氢稀释
光滑	388.3 (39.6) ^b	506.0 (51.6)	494.3 (50.4)	517.8 (52.8)	506.0 (51.6)	517.8 (52.8)	506.0 (51.6)	517.8 (52.8)
缺口 ^a	272.1 (27.8)			603.1 (61.5)		598.2 (61.0)	598.2 (61.0)	603.1 (61.5)

^a 缺口试样缺口处圆角半径 $r=0.75$ mm, 应力集中系数 $K_t=1.63$, 按疲劳试样的标准尺寸加工的。

^b 括号中的数据为单位为 kgf/mm^2 时的 σ_{-1} 值。

B.5 表 B.5 为 38CrMoAl 钢不同渗氮工艺试样表面脆性的综合分析。

表 B.5 38CrMoAl 钢不同渗氮工艺试样渗氮层脆性的综合分析

渗氮工艺	化合物层 硬度/ HV0.1	化合物层 相组成	离子探针 测氮浓度 (N ⁺ /Fe ⁺ 强度比)	出现第一条裂纹时		维氏硬度压痕 碎裂情况
				F/N(kgf)	δ/ mm	
890℃×20 min 淬油, 670℃×2 h 回火后渗氮处理: 520℃×20 h+560℃×20 h, 氮分解率 35%~40%	1004~1098	Fe ₃ N+γ'	1.5×10 ⁻²	19122.9 (1950)	0.731	压痕边角完整 不脆 1级
890℃×20 min 淬油, 670℃×2 h 回火后渗氮处理: 520℃×40 h, 氮分解率 28%~35%	882~1098	Fe ₃ N+γ'	1.8×10 ⁻²	18132.4 (1849)	0.684	压痕一边碎裂 略脆 2级
930℃×20 min 淬油, 670℃×2 h 回火后渗氮处理: 520℃×20 h+560℃×20 h, 氮分解率 35%~40%	1132	Fe ₃ N+γ'	2.17×10 ⁻²	17485.2 (1783)	0.663	压痕二边碎裂 较脆 3级
930℃×20 min 淬油, 670℃×2 h 回火后渗氮处理: 520℃×40 h, 氮分解率 28%~35%	1046~1098	Fe ₃ N+γ'	—	17112.5 (1745)	0.650	压痕二边碎裂 较脆 3级
890℃×20 min 淬油, 670℃×2 h 回火后渗氮处理: (500~505)℃×72 h, 氮分解率 18%~25%	1132	ε+γ'	2.6×10 ⁻²	13769.0 (1405)	0.538	压痕三边碎裂 很脆 4级
1050℃×20 min 淬油, 670℃×2 h 回火后渗氮处理: (500~505)℃×72 h, 氮分解率 18%~25%	1206	ε+γ'	—	14562.8 (1485)	0.553	压痕三边碎裂 很脆 4级
890℃×20 min 炉冷, 退火脱碳, 渗氮处理: (500~505)℃×72 h, 氮分解率 18%~25%	1132	ε+γ'	2.85×10 ⁻²	7825.7 (798)	0.364	压痕四边碎裂 极脆 5级
890℃×20 min 炉冷, 退火脱碳, 渗氮处理: 520℃×40 h, 氮分解率 28%~35%	1132	ε+γ'	—	极脆	0	压痕四边碎裂 极脆 5级

注: 上述数据均为 4 个试样的平均值。