

# JB

## 中华人民共和国机械行业标准

JB/T 5664 - 1991

---

### 重载齿轮 失效判据

1991-08-14 发布

1992-07-01 实施

---

中华人民共和国机械电子工业部 发布

重载齿轮 失效判据

1 主题内容与适用范围

本标准规定了圆周速度  $v < 20\text{m/s}$  的重载（用于传递动力）齿轮的磨损、点蚀、剥落、胶合、塑变、折断与裂纹的失效判据。

本标准主要用于判别经运转并已出现损伤的重载齿轮是否达到失效的程度，及时预防重大事故，准备备件。也可用于产品可靠性评定。

本标准不适于做为可靠度、振动或噪声有特殊要求的重载齿轮的失效判据，也不适于做为重载齿轮制造和台架试验合格与否的判据。

2 引用标准

- GB 3480 渐开线圆柱齿轮的承载能力计算
- GB 3481 齿轮轮齿损伤的术语、特征和原因
- GB 6404 齿轮装置噪声声功率级测定方法
- GB 8543 验收试验中齿轮装置机械振动的测定
- GB 10095 渐开线圆柱齿轮 精度

3 失效的形式与判据

3.1 重载齿轮的分类

重载齿轮的分类及说明见表 1。

表 1

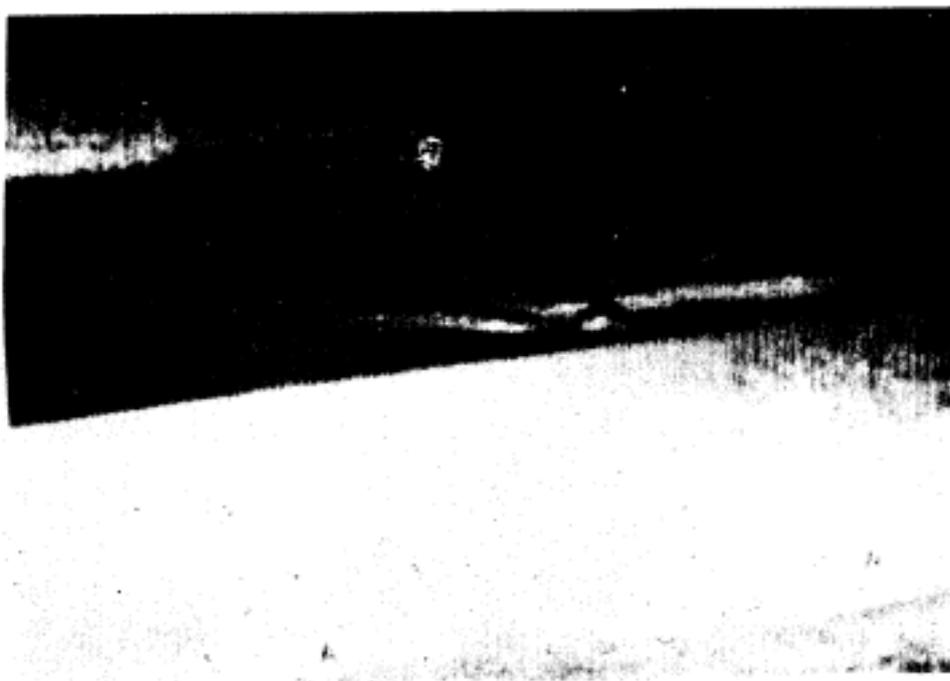
重载齿轮分类		说 明
代 号	类 别	
	一 般 设 备	齿轮失效仅引起单台设备停产。如开式传动齿轮，矿山破碎机齿轮等
	重 要 设 备	齿轮失效引起机组、生产线或全厂停产，设备损坏。如球磨、烧结、冶金、化工、轻工机械齿轮等
	高安全要求设备	齿轮失效引起设备、人身事故。如起重设备、载人电梯齿轮等

3.2 齿面磨损失效

3.2.1 磨损的形式

正常磨损 齿面在啮合传动中不可避免的缓慢磨损。

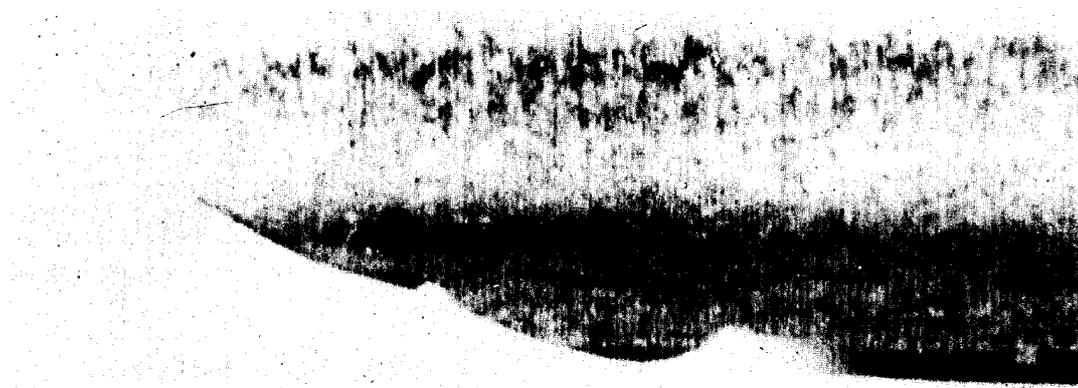
不正常磨损 包括磨粒磨损（见图 1）；过渡磨损（见图 2）；腐蚀磨损（见图 3）等。



a 磨粒磨损

A-A 为节线区

由于外部硬颗粒落入啮合齿面，导致齿面呈均匀的磨损条痕



b 磨粒磨损

由于润滑油中的磨料导致齿面呈现磨损条痕

图 1



图2 过渡磨损

齿根、齿顶渗碳层已磨掉，齿面出现台阶，齿厚减薄



图3 腐蚀磨损

化学腐蚀（箭头所示处）

3.2.2 磨损失效的判据

a. 无论何种磨损 或数种磨损同时出现的磨损 其齿根两侧磨损量之和  $S(\text{mm})$ 与齿轮模数  $m_n(\text{mm})$  的百分比值  $M$  ( $M = S/m_n$ )达到或超过表 2 所列指标，则该齿轮应被判为失效。

表 2 %

重载齿轮分类	$M$	
	$v < 10 \text{ m/s}$	$v \text{ 10} \sim 20 \text{ m/s}$
	40	30
	30	20
	15	10

b. 按 GB 3480 中齿轮弯曲强度计算方法及实测的磨损后齿轮的各项参数，计算齿轮磨损后的弯曲强度，若

$$S_F < [S_{F \min}] \dots \dots \dots (1)$$

该轮齿应被判为失效。

式中： $S_F$  ——磨损后轮齿弯曲强度计算安全系数；

$[S_{F \min}]$ ——本标准规定的判别齿轮失效的最小齿根弯曲强度安全系数，见表 3。

表 3

重载齿轮分类			
$[S_{Fmin}]$	1	1.2	1.4

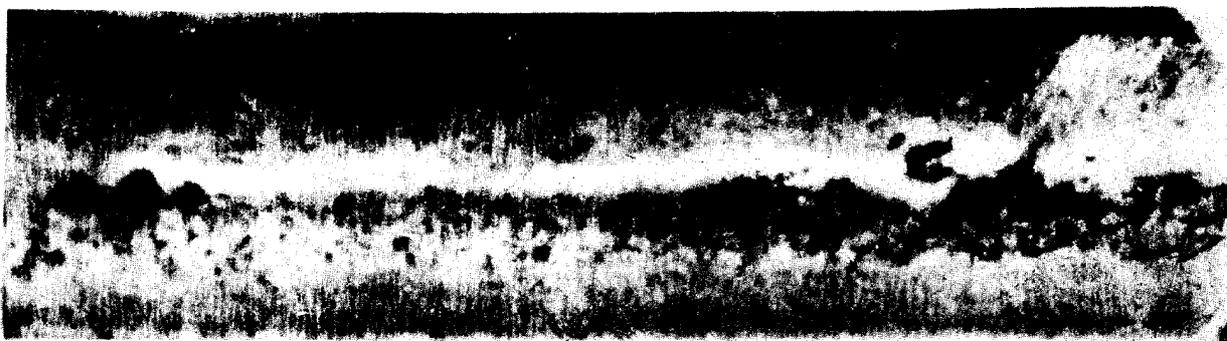
a、b 两种判别方法等效，优先采用 a 法。

### 3.3 齿面点蚀失效

#### 3.3.1 点蚀的形式

初期点蚀 负荷运转初期出现的点蚀，经跑合后点蚀可收敛，不再呈线性发展。

扩展性点蚀 齿轮接触应力始终超过接触疲劳极限，点蚀不断扩展，磨损加剧，振动和噪声增大，最后导致齿轮失效（见图 4）。



a 齿面点蚀失效



b 点蚀块的宏观断口形貌，断裂源在箭头所示处

图 4

#### 3.3.2 点蚀失效的判据

a. 齿面点蚀面积与轮齿工作齿面面积的比率  $\leq 10\%$ ，20% 以上点蚀的坑最大尺寸与模数值的比率  $\leq 0.2$ ，20% 以上的点蚀坑的最大深度与模数值的比率  $\leq 0.2$ ，第 I 类重载齿轮点蚀达到或超过表 4 中两组指标的任一组，第 II、III 类重载齿轮点蚀达到或超过表 4 中的各自一组指标，该齿轮应被判为失效。

表 4

%

重载齿轮分类				
			$v < 10 \text{ m/s}$	$v \quad 10 \sim 20 \text{ m/s}$
	55	20	30	20
	40	40	35	30
	50	30	25	20
	50	20	15	10

注：点蚀坑深度包括微裂深度和齿面磨损厚度。

当点蚀坑深达到表中值，其他指标尚未达到表中值，应建立该齿轮的档案，跟踪观测。

点蚀面积的测量仿照 GB 10095 测量齿面接触斑点的方法进行。

b. 根据实测齿面未点蚀的当量齿宽  $b$ ，按下列简化式计算齿面接触应力  $\sigma_H$ ：

$$\sigma_H = \frac{686}{d_{w1}} \sqrt{\frac{T_1(i+1)}{b'i}} \quad \text{N/mm}^2 \dots \dots \dots (2)$$

式中： $d_{w1}$ ——小齿轮节圆直径，mm；

$T_1$ ——小齿轮轴输入工作转矩，N·mm；

$i$ ——传动比， $i = \text{大齿轮齿数 } z_2 / \text{小齿轮齿数 } z_1$ ；

$b$ ——实测未点蚀的当量齿宽，mm。

$$b = \frac{(1-\alpha)S}{h} \dots \dots \dots (3)$$

——齿面点蚀面积与工作齿面面积的比率；

$S$ ——轮齿工作齿面面积，mm<sup>2</sup>；

$h$ ——轮齿工作齿高，mm；

当  $\sigma_H > [\sigma_H]$  时，该齿轮应被判为失效。

$[\sigma_H]$ ——齿面许用接触应力，N/mm<sup>2</sup>

$$[\sigma_H] = 2 \times \text{HB} \quad \text{N/mm}^2 \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{或 } [\sigma_H] = 18 \times \text{HRC} \quad \text{N/mm}^2 \dots \dots \dots (5)$$

HB——调质齿轮的齿面实测布氏硬度；

HRC——硬化齿轮的齿面实测洛氏硬度。

a、b 两种判别方法之一判定为失效，则该齿轮应被判为失效。

### 3.4 齿面剥落失效

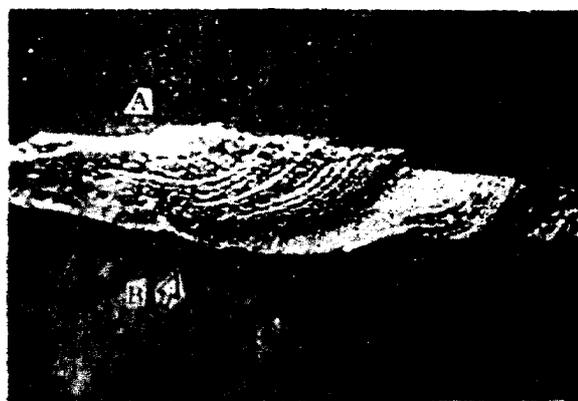
#### 3.4.1 剥落的形式

剥落是指齿面上的材料成片剥离的一种轮齿损伤。剥落坑的形状不规则，一般较为浅平，而且比点蚀坑大（见图 5）。



a 剥落

表淬，齿面 45HRC，箭头所示为剥落坑



b 硬齿剥落断口的宏观形貌

A—断裂源 B—切断区

图 5

### 3.4.2 齿面剥落失效的判据

与齿面点蚀失效的判据相同。

### 3.5 齿面胶合失效

#### 3.5.1 胶合的形式

胶合是相啮合齿面的金属，在一定压力下直接接触发生粘着，同时随着齿面的相对运动，使金属从齿面上撕落而引起的一种严重粘着磨损现象（见图 6）。



a 磨损、塑变、胶合



b 破坏性胶合

图 6

#### 3.5.2 胶合失效的判据

齿面胶合面积与工作齿面面积的比率 及胶合沟痕的深度与模数的比率 ，达到或超过表 5 规定

的指标，则该齿轮应被判为失效。

表 5

%

重载齿轮分类	$v < 10 \text{ m/s}$		$v \text{ 10} \sim 20 \text{ m/s}$	
、	30	15	20	10
	20	10		

### 3.6 轮齿塑变失效

#### 3.6.1 塑变的形式

**热塑变** 润滑不良，轮齿工作温度过高，部分齿或全齿塑性变形（见图 7）。

**压陷** 由于坚硬异物进入啮合或偏载，工作齿面出现局部凹陷，非工作齿面凸起（见图 8）。



a 热塑变—鳞皱



b 热塑变

图 7



图 8 压痕

### 3.6.2 轮齿塑变失效的判据

轮齿塑变造成齿面的峰或谷比理论齿形高于或低于该齿轮模数的 20%，该齿轮应被判为失效。

### 3.7 轮齿折断、裂纹失效

#### 3.7.1 折断、裂纹的形式

**过载折断、裂纹** 齿轮承受严重过载、冲击或异物进入啮合而引起瞬时折断、裂纹（见图 9）。

**偏载折断、裂纹** 偏载引起局部过载，其折断、裂纹主要是折角（见图 10）。

**疲劳折断、裂纹** 循环应力超过齿轮弯曲疲劳极限，一般在齿根的受拉侧应力集中处出现裂纹，不断扩展导致轮齿折断或裂纹（见图 11）。

此外，还有严重磨损、点蚀、剥落、胶合及制造缺陷等引起的与齿根圆角截面无关的随机断齿（见图 12）。

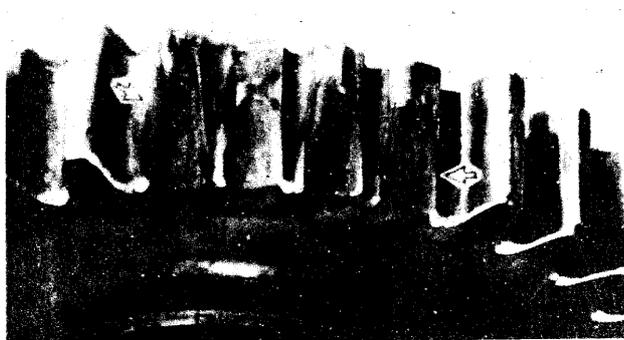


图 9 过载断齿

起重机齿轮  $m=8\text{mm}$ ，45 钢调质，由于突然过载，造成多个轮齿从根部裂断



图 10 偏载断齿



a 双向弯曲疲劳断齿（表淬齿轮）



b 疲劳断裂

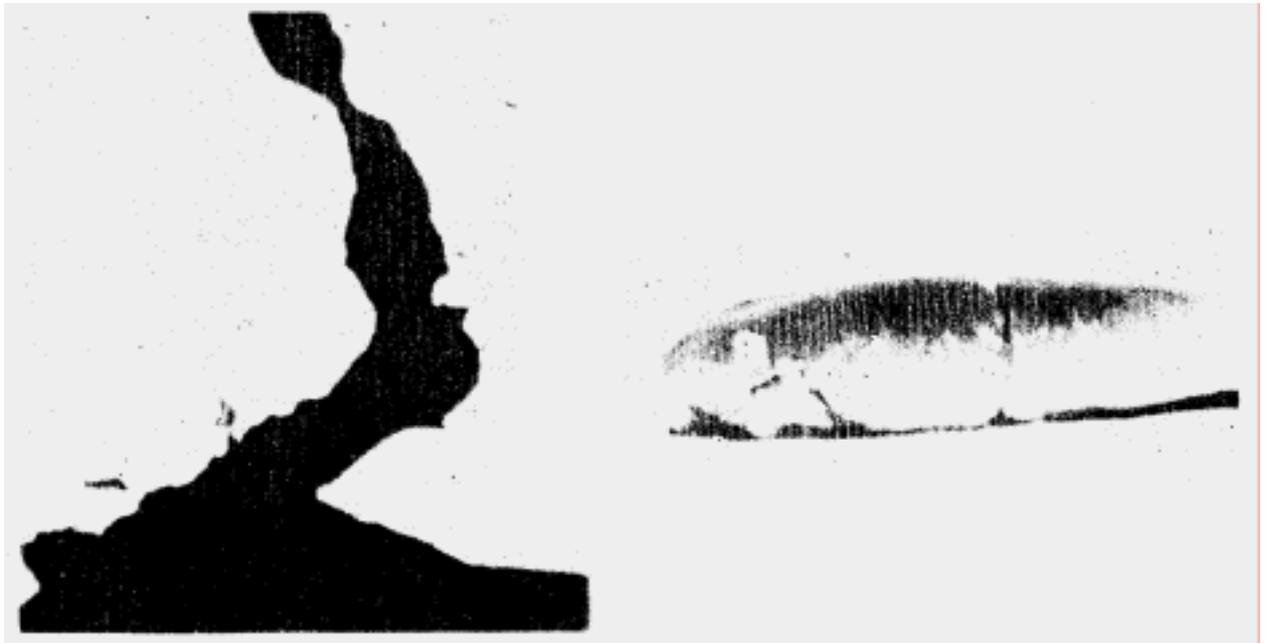


c 轮齿轮缘疲劳断裂

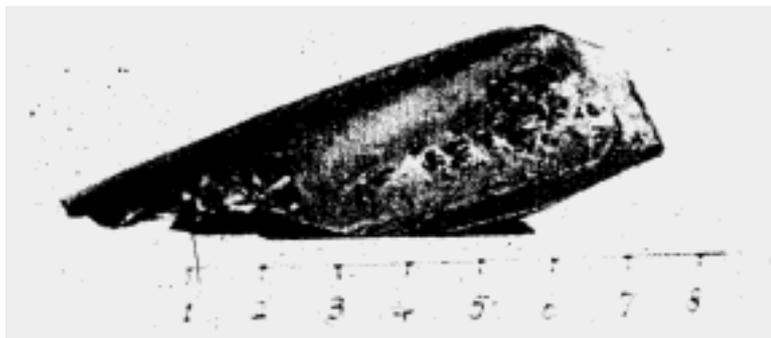
图 11



a 随机断裂  
断裂源起点蚀处



b 随机断裂  
断裂源起氧化物夹杂处



c 随机断裂  
偏载 塑变 点蚀 断齿失效

图 12

3.7.2 折断、裂纹失效的判据

轮齿折断或裂纹达到或超过表 6 中所列指标之一，该齿轮应被判为失效。

表 6

重载齿轮分类	折 断	裂 纹
、	齿宽的 1/4	齿宽的 1/6
	齿宽的 1/5	齿宽的 1/8

注：、类斜齿、双斜齿齿轮轮齿折断或裂纹发生在齿高中线以上，折断指标可增为 齿宽的 1/3、裂纹可增为 齿宽的 1/4。轮齿的裂纹部分应设法除掉，制止发展。

附录 A

重载齿轮传动噪声和振动的监测

(参考件)

A1 齿轮任一种形式的损伤，均引起传动噪声和振动的变化，齿轮传动噪声和振动的剧增是齿轮严重损伤的表征。

A2 重载齿轮不论何种形式的损伤，如果其传动的功噪比  $N_d$  小于启用时功噪比 10dB 时，应检查齿轮的损伤，并按相应的失效判据，判定齿轮失效与否。

$$N_d = 10 \lg \left( \frac{P}{N} \right) \text{ dB} \dots\dots\dots (A1)$$

式中： $P$ ——齿轮副传递功率，W；

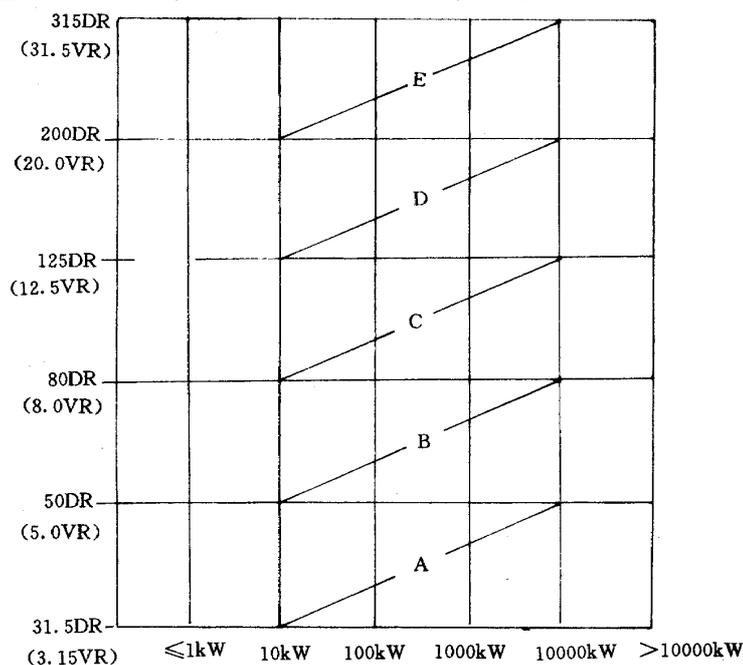
$N$ ——齿轮副传动的噪声声功率。

$$N = 10^{L_{PA}/10} N_0 \text{ W} \dots\dots\dots (A2)$$

$N_0$ ——基准声功率， $N_0 = 10^{-12}$ ，W；

$L_{PA}$ ——齿轮副传动的声功率级，dB(A)，按 GB 6404 测量。

A3 不论何种形式的损伤，测定齿轮箱体的振动速度（速度评价值） $v_R$  值达到或超过启用时测量的  $v_R$  值的 1.6 倍时，应检查齿轮的损伤，并按相应的失效判据，判定齿轮失效与否。



传递功率

质量等级	说明
A	海军舰船的齿轮装置等
B	高速 (>3600 r/min) 齿轮装置
C	工业、商船的齿轮装置等
D	低速球磨机的齿轮装置等
E	重载齿轮失效判据

图 A1

附录 B

重载齿轮失效的检查方法

(参考件)

**B1** 本检测方法适用现场在用、或已用出现损伤的重载齿轮，以采取无损宏观检测方法为主。在必要时和有条件时，采取金相、显微分析检测方法。

**B2** 检测的轮齿应是损伤最严重的轮齿，而且有一个轮齿的损伤检测结果达到失效指标，即可做为判定失效的充分判据。

**B3 轮齿磨损的测量**

**B3.1** 采用精度 0.02mm 以上的齿厚游标卡尺，以齿顶定位，测量齿根磨损前的厚度  $S$ 、磨损后的厚度  $S'$  及高度  $h$ ，见图 B1。磨损量  $S$  按式 (B1) 计算：

$$S = S - S' \quad \text{mm} \dots \dots \dots (B1)$$

采用样板测量  $r$ 。

**B3.2** 采用精度 0.02mm 以上的游标卡尺，从齿轮端测量  $S$ 、 $S'$ 、 $h$ ，见图 B2。

$$S = S - S' \quad \text{mm} \dots \dots \dots (B2)$$

**B3.3** 按测量不同齿高的厚度，描绘磨损后的齿形。

**B4 轮齿点蚀、剥落、胶合擦伤、烧伤面积和深度的检测**

**B4.1 面积的测量**

**B4.1.1** 用复膜法或照相将齿面的损伤状况取下，在轮廓投影仪或放大镜下计量损伤面积。

**B4.1.2** 直接在齿面上用游标卡尺或直尺测量损伤面积。

**B4.2 深度的测量**

一般用深度游标卡尺直接测量。当点蚀或剥落坑底有微裂或溃碎不能直接测量到坑底实际深度时，可用刮刀或手电钻平顶钻头清除溃碎和微裂层后，再用深度游标卡尺直接测量深度。当有点蚀又有磨损时，点蚀坑深度应加上磨损量。

**B4.3 齿面产生剥落的轮齿硬度检验**

对齿面已产生严重剥落的齿轮，可在轮齿端面用手砂轮磨去硬化层，抛光后用 4% 的硝酸酒精腐蚀，检验显微组织并测量硬化层深度。

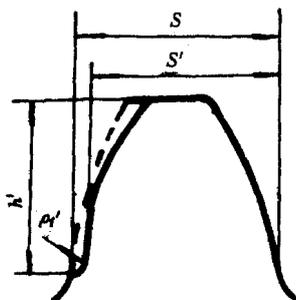


图 B1

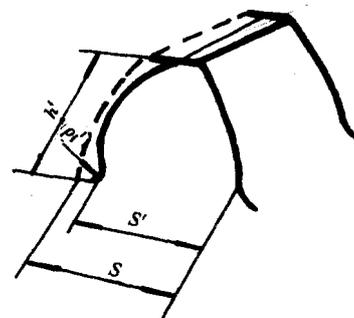


图 B2

**B5 齿轮塑变的测量**

测量离齿顶不同高度的齿厚，描绘出塑变后的齿形，并与理论齿形对比，以确定塑变的大小。测量的方法、工具与测量轮齿磨损相同。

**B6** 噪声功率的测定按 GB 6404 进行。

**B7** 振动位移峰-峰值与振动速度值的测定按 GB 8543 进行。

---

附加说明：

本标准由机械电子工业部西安重型机械研究所提出并归口。

本标准由机械电子工业部西安重型机械研究所、洛阳矿山机器厂、重载齿轮失效分析与预防专业委员会秘书处负责起草。

本标准起草人王培纛、庞均、杨光壁、何晓舟、韩歌平、徐鸿钧。

中 华 人 民 共 和 国  
机 械 行 业 标 准  
重 载 齿 轮 失 效 判 据  
JB/T 5664 - 1991

\*

机 械 科 学 研 究 院 出 版 发 行  
机 械 科 学 研 究 院 印 刷  
( 北 京 首 体 南 路 2 号 邮 编 100044 )

\*

开 本 880 × 1230 1/16 印 张  $1\frac{1}{8}$  字 数 26,000  
1991 年 12 月 第 一 版 1991 年 12 月 第 一 次 印 刷  
印 数 00.001 - 1000 定 价 1.80 元  
编 号 0109

机 械 工 业 标 准 服 务 网 : <http://www.JB.ac.cn>