

中华人民共和国国家标准

齿轮胶合承载能力试验方法

GB/T 13672—92

Standard test method for scuffing
load capacity of gears

1 主题内容与适用范围

本标准规定了测定试验齿轮副的胶合承载能力的试验方法。

本标准适用于有油润滑的齿轮副,在无良好润滑油膜或虽有良好油膜而因齿面载荷和滑动速度引起齿面高温导致润滑油膜破裂所造成的胶合损伤(热胶合)试验。

本标准不适用于因齿面粗糙、润滑无保障及因试验齿轮加工精度过低而造成较大偏载等原因,所造成的从一开始使齿面金属局部直接接触而产生冷胶合的场合。

2 引用标准

- GB 1356 渐开线圆柱齿轮基本齿廓
- GB 1922 溶剂油
- GB/T 2821 齿轮几何要素代号
- GB/T 3374 齿轮基本术语
- GB 3481 齿轮轮齿损伤的术语、特征和原因
- GB 6413 渐开线圆柱齿轮胶合承载能力计算方法
- GB 10095 渐开线圆柱齿轮精度

3 代号

本标准中主要参数的代号、意义及单位见表1。

表1 主要代号

代号	意义	单位
H_{1-2}	加载杆的重量	kg
K	砝码吊盘的重量	kg
W_{1-9}	砝码的重量	kg
T_H	加载杆自重产生的转矩	N·m
T_1	作用于小试验齿轮上的名义转矩	N·m
σ_H	计算接触应力	N/mm ²
σ_{H_0}	齿顶圆上的接触应力	N/mm ²
F_n	试验齿轮的齿面法向力	N
J	各载荷级运转结束时试验齿轮传递的总功	MJ

续表 1

代号	意义	单位
a'	名义中心距	mm
b	齿宽	mm
m	模数	mm
z_1	小试验齿轮齿数	
z_2	大试验齿轮齿数	
α	齿形角	(°)
α'	啮合角	(°)
x_1	小试验齿轮变位系数	
x_2	大试验齿轮变位系数	
d_b	基圆直径	mm
d	分度圆直径	mm
d'	节圆直径	mm
d_s	顶圆直径	mm
n_1	小齿轮转速	r/min
v	节圆线速度	m/s
$v_{s,max}$	最大滑动速度	m/s
g_{s_1}	小齿轮齿顶啮合长度	mm
g_{s_2}	大齿轮齿顶啮合长度	mm
R_a	齿面粗糙度	μm

4 试验方法提要

将试验齿轮装进试验齿轮箱中,加入试验润滑油,使试验齿轮处于油浴润滑状态,对齿面载荷逐级加载,每加一级载荷试验齿轮恒速运转 15min。从第 4 级载荷开始,控制初始油温,但是允许油温在每级载荷运转试验中自由上升。每一级载荷运转结束后,对小试验齿轮齿面进行检查和评定,同时记录和绘制齿面上出现的损伤形貌。

5 试验设备与器材

5.1 齿轮试验机

本标准指定 CL-100 齿轮试验机为进行本试验的标准试验机,试验机的主要技术性能见附录 A(补充件)。试验机的校验见附录 B(补充件)。

注:CL-100 齿轮试验机相当于德国的 FZG 齿轮试验机。FZG 齿轮试验机是目前国际上评定齿轮(或润滑油)的胶合承载能力最常用的齿轮试验机。

5.2 试验齿轮

5.2.1 试验时,使用几何参数符合附录 C(补充件)要求的试验齿轮,试验齿轮的精度为 5 级,齿面经磨削加工后的齿面粗糙度 R_a 在 $0.32\sim 0.63\mu\text{m}$ 之间,齿面磨纹形式为 MAAG 交叉磨纹。同一次试验用的试验齿轮必须同批加工完成,并须在试验前对其加工精度和齿面粗糙度进行复检。

5.2.2 当进行不同材质的齿轮副胶合承载能力对比试验时,除对比的两对试验齿轮分别按需要选定材质外,两对试验齿轮的加工工艺及热处理工艺应一致,其表面硬度差不得大于 3HRC,轮齿心部硬度差不得大于 10HRC。

5.2.3 当进行不同热处理工艺或表面处理方法的齿轮副胶合承载能力对比试验时,除对比的两对试验齿轮分别按需要确定热处理工艺或表面处理方法外,两对试验齿轮的材质应为同一炉号且加工工艺应完全一致。

5.2.4 当进行不同齿形(即刀具压力角、变位系数、修形方法与修形量等不同)的齿轮副胶合承载能力对比试验时,除对比的两对试验齿轮分别按需要设计齿形外,两对试验齿轮的材质、加工工艺及热处理工艺应符合 5.2.2 条和 5.2.3 条中关于材质、加工工艺及热处理工艺的规定。

5.2.5 当进行不同油品的齿轮副胶合承载能力对比试验时,试验齿轮应采用相同的材质、加工工艺及热处理工艺。

5.2.6 当试验目的和试验条件相同时,每对试验齿轮可以使用两次,即同一轮齿的左、右两个齿面各使用一次。但对于仲裁试验,一对试验齿轮只能使用一次。

5.3 润滑油

试验用润滑油应与齿轮箱设计文件中的规定用油一致或由试验者自行选择一合适的润滑油,当进行不同材质的齿轮副胶合承载能力对比试验时,应选用不含极压添加剂的润滑油作为试验用油,以排除其对试验结果的影响(当专门研究极压添加剂对齿轮抗胶合性能的影响除外)。

5.4 计时装置和转数计。

5.5 恒温箱(或加热油盆与电炉)。

5.6 溶剂油

清洗用的溶剂油应符合 GB 1922 中的 NY-190 的要求,或用未经使用的汽油代替。

6 试验方法

6.1 正常试验法

正常试验法是指试验齿轮为“A”型试验齿轮、齿轮节圆线速度为 8.3m/s、初始油温为 $90 \pm 3^\circ\text{C}$ 条件下的试验。本标准以代号 A/8.3/90 表示,其试验条件按表 2 所列数据进行调整和控制。

表 2 正常试验法的试验条件

项 目	试 验 条 件
电动机转速	约 1 450r/min
每一载荷级运转时间	15min(电动机累计转数为 $21\,900 \pm 100$ 转)
主动试验齿轮	小试验齿轮
润滑方式	油浴润滑
试验加油量	约 1.25L(或至轴心线)
第 1 级载荷初始油温	环境温度
第 4 级载荷及以后载荷级的初始油温	$90 \pm 3^\circ\text{C}$ (必须严格控制)

正常试验法用于测定某种材料的齿轮副(包括所用润滑油)的胶合承载能力级别和在使用不同材质、不同热处理工艺或表面处理方法及不同油品时的齿轮副胶合承载能力对比试验。

从第 4 级载荷开始,试验齿轮箱中润滑油的初始油温由加热器和毫伏计控制。在低载荷级时,通过加热器保持润滑油温度不低于 $90 \pm 3^\circ\text{C}$,而在高载荷级时,当润滑油温度超过 93°C 时,则应关闭加热器,允许油温自由上升。

6.2 特殊试验法

特殊试验法是根据实际情况和需要,改变试验条件而进行的齿轮胶合承载能力试验,主要有以下三种形式:

a. 改变试验的初始油温。如 A/8.3/60、A/8.3/110 和 A/8.3/140。代号中的 A 表示“A”型试验齿轮, 齿轮节圆线速度为 8.3m/s, 初始油温分别为 60, 110, 140℃。

b. 改变试验齿轮的节圆线速度。试验条件为 A/16.6/90。代号中的 A 表示“A”型试验齿轮, 齿轮节圆线速度为 16.6m/s, 初始油温为 90 ± 3 ℃。

当采用这种形式进行试验时, 每一载荷级的运转时间为 7.5min。

c. 不同齿形的齿轮副胶合承载能力对比试验。其试验齿轮符合 5.2.4 条的规定。

7 齿面损伤形式及胶合失效载荷级的判定

7.1 试验齿轮齿面形貌变化及其损伤形式

每级载荷运转结束后, 齿面上出现的损伤形式可根据表 3 及图 1~7 来评定。当用目测法检查齿面时, 观察距离为 250mm, 评定其与原始齿面的变化。

表 3 齿面形貌变化及其损伤形式

齿面形貌及损伤形式	齿面损伤情况与特征
轻微磨损	目测直接观察出比新齿面光滑。特征: 齿面磨纹逐渐光滑, 粗糙度逐渐减小
轻微胶合	在齿面的滑动方向出现细微线痕。特征: 细微线痕不一定都延伸到齿顶, 齿面粗糙度无改变
中等胶合	中等胶合沿齿面的滑动方向呈线状或带状, 有轻、中、深程度之分。特征: 擦伤的沟槽延伸到齿顶, 齿面粗糙度比原始交叉磨纹增大
破坏性胶合	破坏性胶合呈线状、带状、大面积或全齿面胶合。特征: 胶合处形貌发暗, 粗糙度比原始的交叉磨纹大而深, 原始交叉磨纹消失

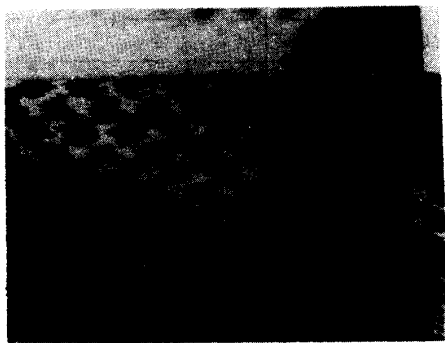


图 1 原始齿面

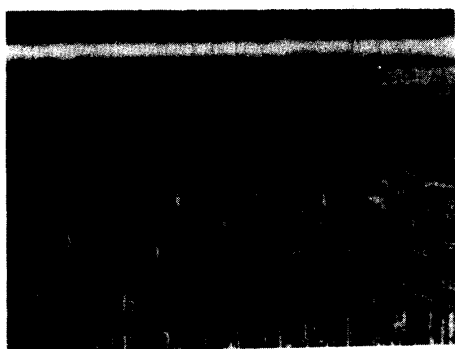


图 2 轻微胶合



图 3 中等胶合带

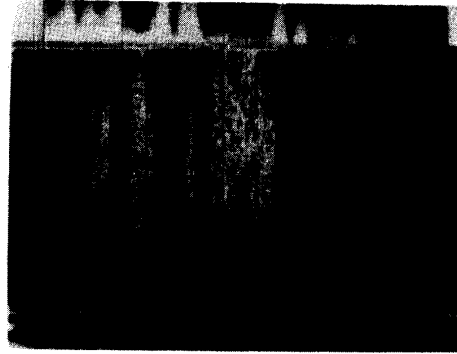


图 4 中等胶合带与破坏性胶合带

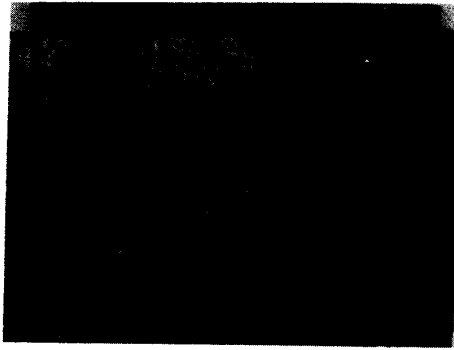


图 5 大面积破坏性胶合

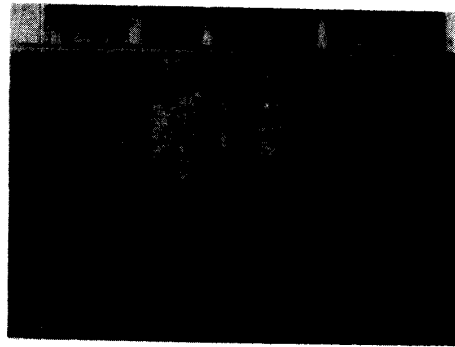


图 6 全齿面中等胶合与破坏性胶合

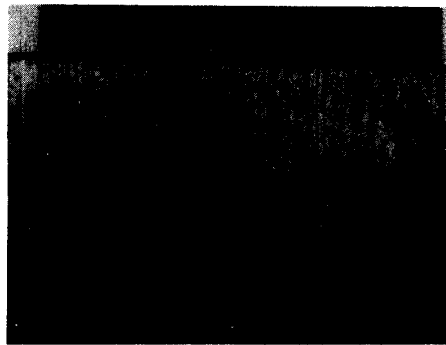


图 7 全齿面破坏性胶合

7.2 胶合失效载荷级的判定

齿轮的胶合承载能力以胶合失效载荷级评定。胶合失效载荷级是指从轻微磨损进入中等胶合和破坏性胶合的载荷级。

在给定的载荷级运转后(例如10级),若小试验齿轮齿面上出现中等胶合或破坏性胶合损伤(图3~7所示),且其16个齿面上的中等胶合和破坏性胶合相加总和的宽度等于或大于一个齿面宽度,则该级(10级)就作为胶合失效载荷级。

8 试验步骤

8.1 清洗试验齿轮箱及试验齿轮

8.1.1 用溶剂油清洗并吹干一对未经使用的试验齿轮。

8.1.2 目测检查试验齿轮,其齿面不得有腐蚀、锈蚀或任何其他形式的损伤。

8.1.3 试验前,用未经使用溶剂油彻底冲洗试验齿轮箱两次。清洗时溶剂油要加至轴线以上,然后用手慢慢地转动试验机,以便排出轴承中残留的润滑油。清洗后,排放溶剂油,然后吹干试验齿轮箱。

8.2 安装试验齿轮

8.2.1 将试验齿轮放入恒温箱中,加热至60~80℃;或把试验齿轮放在装有试验用润滑油的油盆中,用电炉对润滑油加热至60~80℃,加热过程中搅动油盆中的润滑油。

8.2.2 按附录A中的图A1和图A3所示,将小试验齿轮装在刚性轴7上,大试验齿轮装在弹性轴4上。

8.3 关闭润滑油排放阀,将试验用润滑油加入试验齿轮箱内,使液面至轴心线处。

8.4 插上加热器插头,装好试验齿轮箱顶盖。

8.5 按表2中规定的试验条件,并按表4施加第1级载荷,拔出加载联轴器的防转销钉,记下扭矩测量联轴器的刻度尺读数,盖上试验机防护罩。加载时,使加载杆与水平面的夹角保持在±15°以内,然后启动电动机,接通加热器电源,运转15min。

8.6 关闭电动机,然后施加第2级载荷,按表2中规定的试验条件运转15min,第3级载荷也是如此。每级载荷运转后要记录油温、转矩和电动机总转数,其记录表见附录D(参考件)。

8.7 从第4级载荷开始,初始油温应控制在90±3℃。

8.8 从第4级载荷开始,每级载荷试验结束后,打开试验齿轮箱顶盖,在良好的照明条件下,直接目测齿面的损伤情况,如出现中等胶合和破坏性胶合(见图3~7),记录齿面损伤的位置和尺寸。

8.9 按7.2条的规定检查后,齿面若未达到胶合失效载荷级,继续按表4的规定进行下一级载荷试验。

8.10 在规定的运转时间里,当油温超过93℃时,在进行下一级载荷试验前,应使润滑油温度冷却至90±3℃。

8.11 齿面载荷逐级加载,试验一直进行到齿面胶合失效为止。如试验做到第12级载荷,齿面仍未胶合失效,可不再进行试验,并在试验报告中注明:“胶合失效载荷级超过12级”。

8.12 当齿面开始出现胶合时,将会发现试验机噪声增加,试验齿轮箱内开始冒白烟等现象,在试验机运转和试验齿轮润滑正常的情况下,不能停机检查齿面胶合情况,必须等规定的运转时间试验完后才能停机检查。

8.13 试验结束后,必须先卸载荷后卸齿轮。

8.14 对胶合失效齿轮进行照相以记录齿面损伤情况。

8.15 非常事件处理。

8.15.1 试验进行中若由于设备或仪表故障而停机时,在修复后允许按原试验条件继续试验。

8.15.2 试验早期,当载荷级还很低时,可能由于某些不正常的原因而出现初期胶合现象,此时允许继续加载,直到齿面出现胶合失效为止。

8.15.3 试验中当因故失去某一环节时,如在某级载荷运转时漏测某些数据,则试验的其他环节仍然有

效。

表 4 载荷级

载荷级	小试验齿轮上的名义转矩 T_1	试验齿轮的齿面法向力 F_n	计算接触应力 σ_H	各级载荷结束时完成的总功 J	加载联轴器上的载荷 (H 、 K 和 W 数值见制造厂的使用说明书)
	N·m	N	N/mm ²	MJ	kg
1	3.33	99.10	146	0.69	H_1
2	13.70	407.00	295	3.49	H_2
3	35.30	1 044.00	474	10.64	H_2+K
4	60.80	1 800.00	621	23.10	H_2+K+W_1
5	94.10	2 786.00	773	42.40	$H_2+K+W_1+W_2$
6	135.30	4 007.00	927	70.20	$H_2+K+W_1+W_2+W_3$
7	183.40	5 435.00	1 080	107.80	$H_2+K+W_1+\dots+W_4$
8	239.30	7 080.00	1 232	156.80	$H_2+K+W_1+\dots+W_5$
9	302.00	8 949.00	1 386	218.70	$H_2+K+W_1+\dots+W_6$
10	372.60	11 029.00	1 538	295.20	$H_2+K+W_1+\dots+W_7$
11	450.10	13 343.00	1 691	387.60	$H_2+K+W_1+\dots+W_8$
12	534.50	15 826.00	1 841	497.30	$H_2+K+W_1+\dots+W_9$

9 试验报告

试验报告中应有下述内容：

- a. 试验方法:GB/T 13672-92;
- b. 试验条件;
- c. 试验机型号及编号;
- d. 试验齿轮的材料、热处理、表面处理及机械加工等原始检验单;
- e. 试验齿轮编号及工作面(左齿面或右齿面);
- f. 试验用润滑油种类及牌号;
- g. 试验结果:××级胶合失效;
- h. 胶合失效齿面记录;
- i. 报告人姓名及职称,
审核人姓名及职称;
- j. 试验日期;
- k. 试验单位。

附录 A
CL-100 齿轮试验机的主要技术性能
(补充件)

A1 CL-100 齿轮试验机为杠杆加载封闭功率流式齿轮试验机,其中心距为 91.5 mm,封闭动力传动系统图如图 A1 所示。

A2 试验机包括一个驱动齿轮箱和一个试验齿轮箱,通过两根扭力轴将其联接。刚性轴上装有一刚性加载联轴器(见图 A2)。小试验齿轮上的名义转矩 T_1 等于加载杆自重产生的转矩 T_H 与砝码产生的转矩的总和。

A3 试验齿轮箱内有一盘管加热器用以加热润滑油。在靠近小试验齿轮的箱体一侧装有温度传感器,可按预选温度对加热器进行控制。

A4 试验机有一台转速约为 1 450r/min(2 900r/min)、功率为 5.5kW(7.5kW)的双速交流电动机来驱动。

A5 试验齿轮的转向应符合图 A3 的要求。

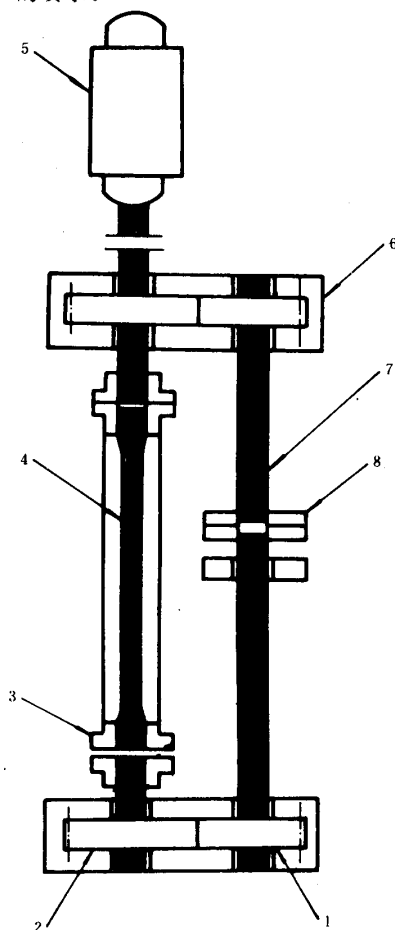


图 A1 试验机封闭动力传动系统图

1—小试验齿轮;2—大试验齿轮;3—扭矩测量联轴器;4—弹性轴;
5—驱动电机;6—驱动齿轮箱;7—刚性轴;8—加载联轴器

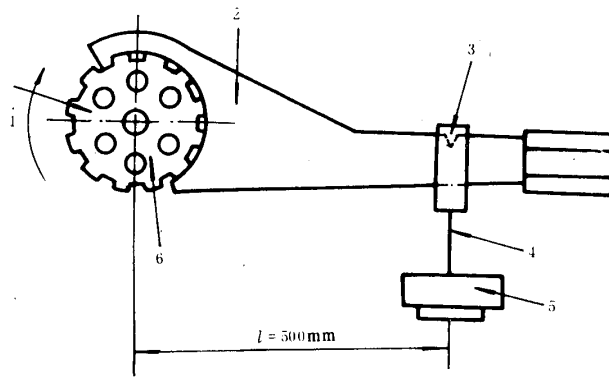


图 A2 加载示意图

- 1 小试验齿轮上的名义转矩 T_1 ; 2 加载杆; 3 砝码吊盘刀口;
4 砝码吊盘; 5 砝码; 6 加载联轴器

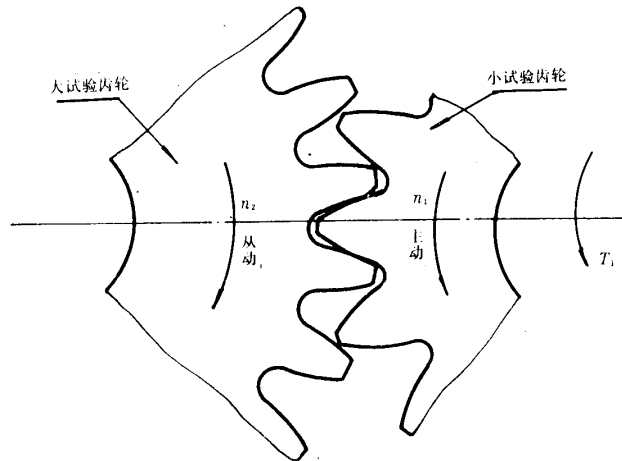


图 A3 试验齿轮的安装和转向(从试验齿轮箱端向电动机观察)

附录 B
CL-100 齿轮试验机的校验
(补充件)

B1 未经使用的齿轮试验机除进行常规检验外,还应用两对随机所带的标准齿轮和参考油进行四次考机运转试验,满足胶合失效载荷级为 10 级,重复测定的试验结果之差应不大于 1 级的试验机为进行本试验的标准试验机。

B2 齿轮试验机在使用一年或进行 40 次试验后,须用参考油进行校验。校验时,应用一对标准齿轮的两个承载面进行重复考机运转试验,其胶合失效载荷级为 10 级,重复测定的试验结果之差应不大于 1 级。

B3 对于一台未经使用的齿轮试验机,除进行上述校验外,如有必要,还可进行熏黑齿面承载部分的检查,以综合检查载荷是否沿整个齿宽均匀分布,为试验结果提供可靠的依据。

B3.1 该项检查需要以下几种器材:

- a. 一对未经使用的试验齿轮。
- b. 一个固定齿轮的支座(见图 B1),支座由支座块和手柄两部分组成。支座块的尺寸为 10mm×30mm×51mm,其材料硬度比齿面硬度稍低,如黄铜。
- c. 一支蜡烛。
- d. 透明胶纸(宽度为 12mm)。
- e. 一根木棒。

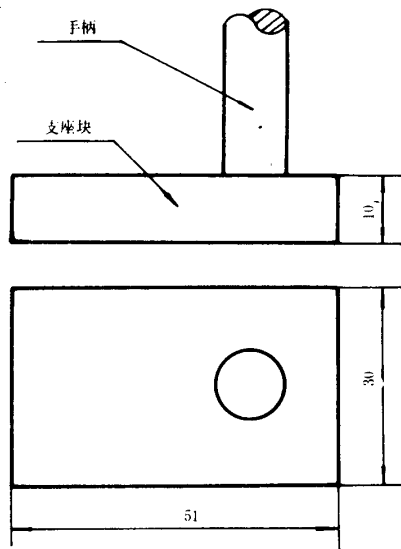


图 B1 固定齿轮支座

B3.2 齿面承载部分的检查

B3.2.1 用未经使用的溶剂油或汽油清洗两试验齿轮,使齿面完全无油(齿轮箱体内部也应完全无油)并用干净的棉纱或布块擦干齿面。

B3.2.2 沿大齿轮周围均布的几个齿面上,用点燃蜡烛产生的煤烟把这几个齿的工作面熏上均匀而又薄的煤烟层。

B3.2.3 把两试验齿轮安装到试验齿轮箱中,注意保护煤烟层,并装上轴承及箱体侧盖。

B3.2.4 在加载联轴器上反向施加一低载荷,拧紧一个加载联轴器上的螺钉,使齿轮的非工作面接

触。

B3.2.5 转动小齿轮,使某一熏黑的齿面处于单齿啮合的位置,在小齿轮与齿轮箱壁之间安装固定齿轮支座(见图 B2),以固定小齿轮。

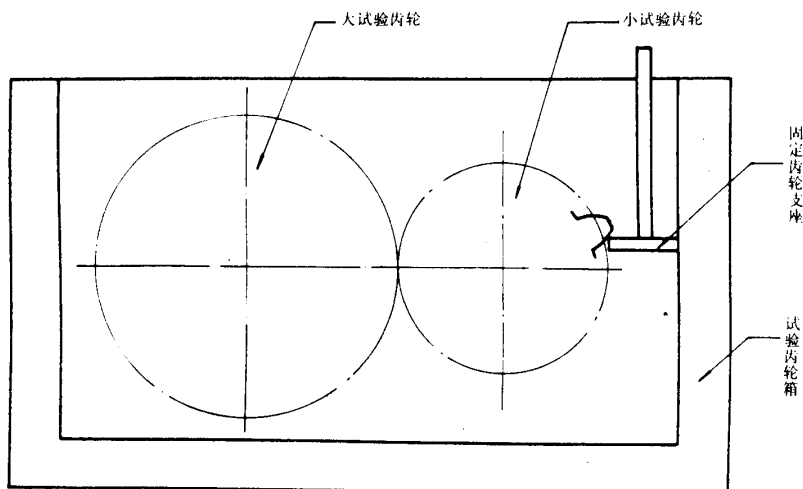


图 B2 检查齿轮承载部分的装置

B3.2.6 把加载杆放到加载联轴器上,并把重量为 5.2kg 的砝码加到砝码托盘上。

B3.2.7 缓慢地松开被拧紧的加载联轴器螺钉,对工作齿面逐渐加载。

B3.2.8 检查加载联轴器螺钉,此时,所有的加载联轴器的螺钉都应处于松动状态。

B3.2.9 将加载杆连同砝码托盘一起稍稍向上抬起,再缓慢地下降对齿面加载。

B3.2.10 移开加载杆,并反向施加一低载荷于加载联轴器上,然后拧紧一加载联轴器的螺钉,移去固定齿轮支座。

B3.2.11 用木棒将透明胶纸贴到该熏黑齿面上,然后揭下胶带纸,并立即将其贴到记录纸上。

B3.2.12 对其余熏黑齿面,重复 B3.2.4~B3.2.11 条的步骤。

B3.2.13 对于良好的试验机,接触线应沿整个齿宽且平行于齿顶。

B3.2.14 当目测接触线不平行于齿顶或不贯穿整个齿宽,则表明有偏载现象,需分别从试验机和试验齿轮两个方面来检查,其原因主要有以下几条:

- a. 轴承和箱体孔配合不好;
- b. 轴承、轴和键本身有缺陷;
- c. 试验齿轮箱的装配精度不够,特别是两轴线的平行度和倾斜度的影响;
- d. 齿轮加工精度不够,若由于齿轮加工误差引起偏载,则该批加工的齿轮不符合试验要求,不能用他们来进行试验。

附录 C

“A”型试验齿轮的参数

(补充件)

C1 试验齿轮的基本齿廓应符合 GB1356 的规定。

C2 “A”型试验齿轮的参数应符合表 C1 的规定。

表 C1 “A”型试验齿轮的参数

名称	符号	数值	单位
齿宽	b	20	mm
齿数 小齿轮 大齿轮	z_1	16	
	z_2	24	
模数	m	4.5	mm
齿形角	α	20	(°)
啮合角	α'	22°26'20"	(°)
变位系数 小齿轮 大齿轮	x_1	0.853 2	
	x_2	-0.5	
节圆直径 小齿轮 大齿轮	d'_1	73.2	mm
	d'_2	109.8	
顶圆直径 小齿轮 大齿轮	d_{a1}	88.50	mm
	d_{a2}	112.32	
节圆线速度	v	0.003 83 n_1	m/s
小齿轮齿顶啮合长度	g_{a1}	14.550	mm
大齿轮齿顶啮合长度	g_{a2}	3.104	mm
最大滑动速度 小齿轮 大齿轮	$v_{s \max 1}$	0.66 v	m/s
	$v_{s \max 2}$	0.14 v	
齿顶圆上的接触应力 小齿轮 大齿轮	$\sigma_{H_{a1}}$	18.7 $\sqrt{F_n}$	N/mm ²
	$\sigma_{H_{a2}}$	15.5 $\sqrt{F_n}$	
齿面粗糙度	R_a	0.32~0.63	μm

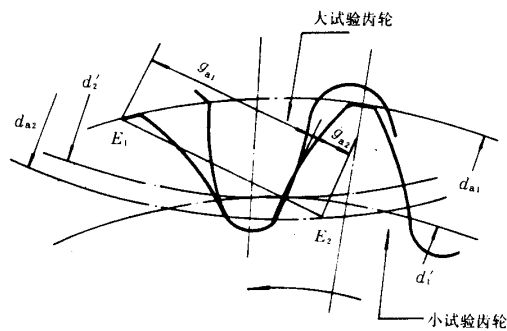


图 C1 “A”型试验齿轮齿形图(符号见表 C1)

附录 D
CL-100 齿轮试验机胶合试验记录
(参考件)

D1 CL-100 齿轮试验机胶合试验记录应符合表 D1 的要求。

表 D1 齿轮胶合承载能力试验记录表

试验编号:	试验方法:	试验条件:	试验机型号:			
齿轮编号:	齿轮类型:	齿轮工作面(左齿面或右齿面):	齿轮材料及热处理:			
齿面硬度:	润滑油种类及牌号:	重复次数:	环境温度:			
载 荷 级	扭矩盘刻度 mm		试验油温 C		15min 内电 动机累积转数	齿面损伤情况记录、描绘或照相
	开始	终止	开始	终止		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
胶合失效载荷级						

操作人:

审核人:

年 月 日

附加说明:

本标准由中华人民共和国机械电子工业部提出。

本标准由全国齿轮标准化技术委员会归口。

本标准由机械电子工业部郑州机械研究所负责起草。

本标准起草人:戚文正、吴晓铃、孟惠荣、余梦生、王松年。