

乘用车转向器齿条

1 范围

本文件规定了乘用车转向器齿条的技术要求和试验、测试方法。

本文件适用于乘用车转向器齿条（其中机械性能和热处理部分适用于中碳和中合金结构钢）。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 228.1 金属材料 室温拉伸试验方法

GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法

GB/T 5617 钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定

GB 10096 齿条精度

QC/T 529-2013 汽车液压动力转向器技术条件与试验方法

QC/T 573-1999 汽车清洁度工作导则 人、物和环境

QC/T 972-2014 汽车电控液压助力转向器总成技术要求和试验方法

QC/T 1081-2017 汽车电动助力转向装置

QC/T 29096-2014 汽车转向器总成台架试验方法

QC/T 29097-2014 汽车转向器总成技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

边缘硬度 edge hardness

硬度计在靠近试样的边缘进行检测的硬度。

注：该位置考虑检测时试样受力时的稳定性、试样外表面的矫直影响深度和硬度计的压头大小等影响因素，一般选在压痕外边缘距离外表面2mm左右的位置。

3.2

1/4D 硬度 a quarter of D hardness

半径一半处位置的硬度。

3.3

硬度 surface hardness

齿条材料圆柱体表面位置直接检测的硬度。

注：当转向机厂家对表面硬度比较关注时，可以选择检测该位置硬度。但由于该处检测硬度时，压痕是曲面的，硬度值是够准确的。应依据材料曲率半径按硬度检测标准进行补偿。

3.4

全截面硬度 full section hardness

包含中心、1/4D 和边缘三个位置的硬度规定范围。

3.5

齿条硬度均匀性 uniform hardness of rack

齿条横截面同圆周硬度的散差大小和同支齿条头、中、尾不同截面同圆周位置硬度的散差大小。

3.6

齿条应力变形 rack stress deformation

转向齿条在后续制齿、高频淬火等加工时，由于零件中残余应力的释放而导致的弯曲变形。

3.7

铣扁测试 flat milling test

模拟制齿齿槽形状，在被测试件上铣出长条形缺口进而检测残余应力大小和方向的方法。

3.8

切缝测试 cutting slot test

指在被检测残余应力的零件上，截取试样并通过按规定开取狭缝，使残余应力释放。以便检测由于应力导致的变形程度和方向的测试方法。

3.9

丝杆有效工作导程长度 active thread range of ball screw

指丝杠球螺母球道所覆盖到的丝杠工作区间的长度。

3.10

硬度散差 scattered hardness differen

指实物产品硬度在检测规定位置和范围实际值的分散范围大小。

4 技术要求

4.1 一般要求

4.1.1 乘用车转向器齿条应按照规定程序及设计规范、图纸和工艺要求进行制造、验证和确认。

4.1.2 乘用车转向器齿条从总体结构上包括两侧螺纹端、铣齿段、滚珠丝杠或光杆等部分。

4.1.3 乘用车转向器齿条在设计过程中应进行潜在失效模式分析和相应的强度核算。

4.1.4 乘用车转向器齿条材料可以选用调质和非调质钢材料。调质材料应考虑材料的淬透性，并且其热处理规范应与材料种类和加工交货状态相适应。

4.1.5 本部分各项要求客户有要求的按客户要求，没有要求的按本标准执行。

4.2 尺寸精度和形位公差

4.2.1 齿部精度和齿形偏差

4.2.1.1 齿部精度和齿形偏差要求的主要项目见表1和表2。

4.2.2 杆部精度

杆部精度要求的主要项目见表3。

表1 齿条齿部主要项目精度要求

序号	齿部精度项目	项目参数和精度要求
1	模数 (Z)	一般取值在 1.5~2.5 之间，具体按设计要求
2	法向压力角 (α)	$20^\circ \pm 30'$ 或 $25^\circ \pm 30'$
3	螺旋角 (β)	左或右斜 $\beta^\circ \pm 5'$, ($0 \sim 15$) $^\circ$
4	机加工精度等级	8 级，执行标准 GB 10096
5	齿距偏差 (F _{pf})	± 0.02 mm
6	跨棒距	± 0.1 mm
7	跨径差	2 个相邻齿变化量 ≤ 0.025 mm, 整齿变动量 ≤ 0.045 mm

注：变节距齿条按客户要求。

表 2 齿条滚珠丝杠主要项目精度要求

序号	精度项目	精度子项	参数	说明
1	丝杠滚槽精度	丝杠导程	推荐数值为 6 mm、7 mm、8 mm、10 mm	-
		平均导程误差（丝杠有效工作导程长度范围内）	± 0.003 mm	-
		导程误差波动（丝杠有效工作导程长度范围内）	< 0.02 mm	指的是在丝杠有效工作导程长度范围内导程误差最大值与最小值之差，见图 1
		丝杠滚槽跨球直径公差	± 0.05 mm	丝杠滚槽跨球直径定义见图 2
2	粗糙度	丝杠滚槽粗糙度	$\leq Ra0.25$ （垂直于导程方向）	-
3	丝杠精度	跳动	< 0.25 mm	指的是完整齿条（含齿部和丝杠部）整体跳动
		圆柱度	< 0.02 mm	指的是在丝杠有效工作导程长度范围内的圆柱度，圆柱度定义见图 2

注：以上滚珠丝杠参数为只考虑单一丝杠产品时的常见推荐参考值。在转向系统中，滚珠丝杠总成性能还与球螺母、换向器、滚珠等其它零件的集成相关，在实际应用中，还需根据总成性能要求和加工工艺进行最终确认。

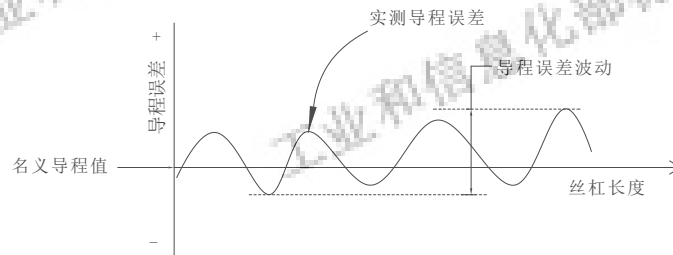


图 1 丝杠导程滚槽误差波动示意图

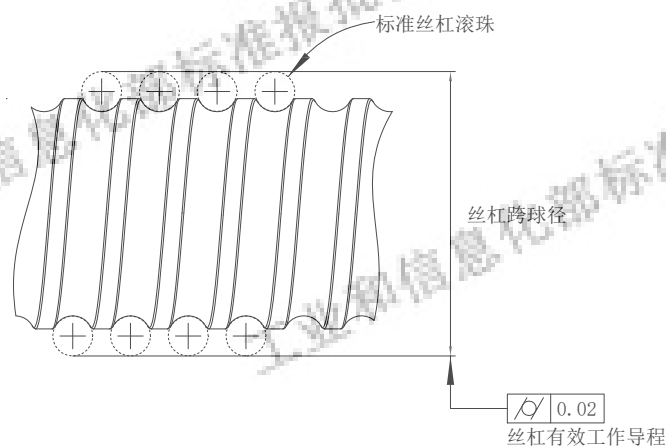


图 2 丝杠导程圆柱度误差波动示意图

表3 齿条杆部主要项目精度要求

序号	杆部精度项目	项目参数和精度要求
1	直线度	$\leq 0.1 \text{ mm}/500 \text{ mm}$
2	尺寸精度	一般选取 h9 级精度，具体各组织依据装配和设计要求进行
3	圆度	$\leq 0.02 \text{ mm}/300 \text{ mm}$

4.2.3 端部螺纹精度

4.2.3.1 齿条端部螺纹精度的加工应符合客户设计和组织自身图纸、规范的要求。

4.2.3.2 内螺纹基孔制应满足 6H, 外螺纹基轴制应满足 6g 的精度要求。

4.2.4 粗糙度

齿条各部分粗糙度应符合表 4 的要求。

表4 齿条各部分粗糙度要求

序号	部位	粗糙度要求
1	齿面	$\leq \text{Ra}3.2$
2	齿背	$\leq \text{Ra}0.8$
3	扁面	$\leq \text{Ra}6.3$
4	杆部	$\leq \text{Ra}0.8$
5	螺纹	$\leq \text{Ra}6.3$
6	深孔	$\leq \text{Ra}12.5$

4.3 性能

4.3.1 机械性能

4.3.1.1 齿条毛坯的基体机械性能要求参照表 5。调质后消应力状态的机械性能指标参照表中的调质状态。表中没有包含的材料及交货状态由供需双方根据实际情况确定。

表5 齿条毛坯基体性能要求

序号	毛坯材料和状态	硬度	强度
1	45#/S45C/50#系列等中碳钢调质状态	1/4D 硬度 HRC 22~28 或 HV 248~286	$R_m \geq 750 \text{ MPa}$; $R_{cl} \geq 530 \text{ MPa}$
		1/4D 硬度 HRC 20~26 或边缘硬度或表面硬度 HRC 20~25	$R_m \geq 690 \text{ MPa}$; $R_{cl} \geq 490 \text{ MPa}$
2	40Cr/45Cr 系列合金结构钢调质状态	1/4D 或全截面硬度 HRC 22~29	$R_m \geq 750 \text{ MPa}$
3	45MnV 系列非调质合金结构钢拉拔消应力状态	1/4D 硬度 HRC 25~30	$R_{cl} \geq 650 \text{ MPa}$
4	55#/S55C 系列正火状态	1/4D 硬度 HB 195~250	$R_m \geq 700 \text{ MPa}$; $R_{cl} \geq 500 \text{ MPa}$

4.3.1.2 成品齿条机械性能应满足设计和相关标准的要求。除有特殊要求外，成品齿条的功能、性能应满足表 6 的要求。需要时，需方可以提出全截面、表面硬度和或齿条硬度均匀性、硬度散差的要求。

表6 成品齿条性能要求

序号	性能项目	技术要求内容	技术要求条款
1	静扭或强制转向试验	静扭或强制转向试验应满足制造商的要求。对于制造商没有要求的，按右侧标准条款的要求执行。测试后齿条不应出现裂纹、断裂及变形符合标准要求。	QC/T 29097-2014 中 4.2.1 表 3 的要求 QC/T 1081-2017 中 4.5.2 的要求 QC/T 529-2013 中 7.2.3 的要求 QC/T 972-2014 中 4.2.2.1 的要求

表6 成品齿条性能要求（续）

序号	性能项目	技术要求内容	技术要求条款
2	冲击或逆向超载试验	冲击或逆向超载试验应满足制造商的要求。对于制造商没有要求的，按右侧标准条款的要求执行。测试后齿条不应出现裂纹、断裂及永久变形。	QC/T 29097-2014 中 4.2.2 表 5 的要求 QC/T 1081-2017 中 4.5.1 的要求 QC/T 529-2013 中 7.2.4 的要求 QC/T 972-2014 中 4.2.2.4 的要求
3	正向驱动磨损或正转泥水（沙）耐久试验	正向驱动磨损或正向泥水耐久试验应满足制造商的要求。对于制造商没有要求的，按右侧标准条款的要求执行。测试后齿条不应出现裂纹、断裂、永久变形、擦伤、点蚀和剥落。	QC/T 29097-2014 中 4.3 的要求 QC/T 1081-2017 中 4.4.1 的要求 QC/T 529-2013 中 7.2.2 的要求 QC/T 972-2014 中 4.2.2.5 的要求
4	逆向驱动疲劳或逆向疲劳试验	逆向驱动疲劳或逆向疲劳试验应满足制造商的要求。制造商没有要求的，按右侧标准条款的要求执行。测试后齿条不应出现裂纹、断裂、永久变形、擦伤、点蚀和剥落。	QC/T 29097-2014 中 4.3 表 6 的要求 QC/T 1081-2017 中 4.4.2 的要求 QC/T 529-2013 中 7.2.1 的要求 QC/T 972-2014 中 4.2.2.3 的要求
5	振动	振动试验应满足制造商的要求。制造商没有要求的按右侧标准条款的要求执行。测试后齿条不应出现可见的裂纹和断裂。	QC/T 1081-2017 中 4.5.3 的要求

4.3.2 应力变形

4.3.2.1 要求检测和保证应力变形的零件，应是针对零件的消应力交货状态。

4.3.2.2 对要求保证应力变形能力的齿条零件，供需双方应就变形检测的方式和标准进行协商确定。那些超出本文件推荐方法之外的变形检测方法，供需双方应就抽样的数量和原则、检测的方法、合格判定准则等达成一致，并形成文件规定。

4.3.2.3 变形检测应按批次进行，每批至少取 2 个试样。

4.3.2.4 本文件的试样尺寸是目前实际使用的较为成熟的尺寸，供需双方也可根据实际零件的情况进行适当调整。

4.3.2.5 供需双方认为必要时变形方向应区分正负。“背部”方向躬起为“+”，“铣扁”方向躬起为“-”。针对允许的应力变形程度，供需双方应确定合适的变形指标。当双方未确定具体指标时，铣扁变形检测点的跳动数值应满足 $\leq 1\text{mm}$ 的要求，切缝变形应满足 $\leq 0.2\text{mm}$ 的要求。

4.3.2.6 变形检测的方式和试样加工尺寸应结合产品的类型和特点确定。

4.3.2.7 应力变形检测方式的选择与产品的加工流程直接相关。对于走调质剥皮流程的齿条宜选择铣扁变形方法检测；对于走调质拉拔流程的齿条宜选择切缝变形方法检测。

4.4 热处理

4.4.1 齿条毛坯基体

4.4.1.1 齿条毛坯的基体热处理应满足零件设计的相应要求。齿条零件毛坯基体材料的典型热处理种类见表 7，生产厂家应根据客户的设计和加工流程参考选用。

表 7 齿条毛坯基体热处理状态

序号	齿条毛坯零件基体典型热处理状态	性能特点
1	调质状态	综合性能和冲击韧性优良，可作为最终基体交货状态
2	正火状态/正火+退火	硬度偏低，适合辗齿加工，但韧性差，强度偏低
3	调质+拉拔/拉拔-消应力状态	具有较高强度，比单纯拉拔较低残余应力，屈强比相对较高

4.4.1.2 齿条毛坯的基体性能的指标参照本文件 4.3.1.1 条齿条毛坯的基体机械性能表 5。

4.4.2 成品齿条

4.4.2.1 成品齿条热处理指标应满足表8的要求。

表8 成品齿条零件典型的热处理要求

序号	齿条种类	要求项目	指标要求	备注
1	齿轮啮合齿条	齿顶高频表面硬度	HRC 50~HRC 60/HV1 515~HV1 700	生产组织视情况选择上或下档，硬度差≤5 HRC
		齿根高频淬硬层深度	0.3 mm~1.3 mm	≥450 HV1
		齿背高频表面硬度	HRC 50~HRC 60	生产组织视情况选择上或下档，硬度差≤5 HRC
		齿背高频淬硬深度	1 mm~3.5 mm，两端最大5.5 mm MAX	≥450 HV1
		杆部高频表面硬度	HRC 50~HRC 60/HV1 515~HV1 700	硬度差≤5 HRC
		杆部高频淬硬深度	1 mm~3 mm(≥450 HV1)	-
2	滚珠丝杠齿条	齿部硬度	HRC 55~HRC 60	齿根部以下0.6 mm处、两端第二齿根0.4 mm以下最小硬度50 HRC
		齿根部硬化层深度	0.3 mm~2.0 mm	
		丝杠部硬度	HRC 55~HRC 60	
		丝杠滚道硬度	顶部2.3 mm以下最小硬度HRC 50	-
			底部0.5 mm以下最小硬度HRC 50	-
		丝杠滚道硬化层深度	底部以下总硬化层深度0.5 mm~3.0 mm	-
		丝杠两端内拉螺纹孔	不允许进行高频热处理	-
注：如果设计对表中个别项目没有具体合格范围要求时，表中相应的指标要求可以作为参考值。				

4.4.2.2 表中列举的是成品齿条典型高频热处理项目技术要求，组织可以根据不同实际情况进行调整。当客户没有明确感应淬火有效硬化层深度时，按 GB/T 5617 中规定的要求执行。

4.5 校核计算

4.5.1 支撑与受力大小及方向计算。

4.5.2 弯曲强度校核计算。

4.5.3 齿面接触疲劳强度校核计算。

4.5.4 各部位弹性挠度校核计算。

4.5.5 螺纹连接强度校核计算。

4.5.6 CAE 受力与变形分析。

4.6 清洁度

4.6.1 成品齿条清洗干净，无污物、无有害毛刺划伤等。

4.6.2 机械和电动助力齿条小于 4 mg。液压助力齿条小于 12 mg。

5 试验和测试

5.1 尺寸精度和形位公差

5.1.1 齿部精度和齿形偏差

齿部精度和齿形偏差宜采取表9和表10的设备进行检测。

表 9 齿条齿部检测设备

序号	测试项目	检测设备
1	模数 (Z)	三坐标
2	法向压力角 (α)	三坐标
3	螺旋角 (β)	三坐标
4	机加工精度等级	三坐标
5	齿距偏差 (F _{pf})	三坐标
6	跨棒距	三坐标
7	跨径差趋势 (可选项目)	测量棒、千分尺或三坐标

表 10 齿条滚珠丝杠测试设备

序号	精度	测试项目	检测设备
1	丝杠螺纹精度	丝杠导程推荐值	由设计决定不检测, 通过导程误差关注
2		平均导程误差 (丝杠有效工作导程长度范围内)	三坐标
3		导程误差波动 (丝杠有效工作导程长度范围内)	三坐标
4		丝杠滚槽跨球直径公差	带标准球的专用检具
5	粗糙度	丝杠滚槽粗糙度	粗糙度仪
6	丝杠精度	跳动	三坐标
7		圆柱度	三坐标

5.1.2 粗糙度

5.1.2.1 齿条粗糙度的检测方法和设备应符合图纸和企业自身检测规范的要求。

5.1.2.2 齿条粗糙度检测方法和设备见表 11。

表 11 齿条粗糙度检测设备

序号	部位	检测设备
1	齿面	粗糙度仪
2	齿背	粗糙度仪
3	扁面	粗糙度对比样块
4	杆部	粗糙度仪
5	螺纹	Ra≤1.6 粗糙度仪, Ra>1.6 粗糙度对比样块
6	深孔	粗糙度对比样块或目视

5.2 性能

5.2.1 机械性能

5.2.1.1 齿条毛坯基体

5.2.1.1.1 齿条毛坯基体机械性能检测按相应的顾客和设计要求进行。顾客和设计要求没有明确部分按相应的国标和行业标准进行检测。

5.2.1.1.2 齿条毛坯基体机械性能拉力的检测按 GB/T 228.1 中规定的进行制样和检测。

5.2.1.1.3 齿条毛坯基体机械性能冲击的检测按 GB/T 229 中规定的进行制样和检测。

5.2.1.1.4 齿条毛坯基体机械性能硬度的检测，视硬度检测种类的不同，按其相应的标准和要求进行检测。

齿条毛坯硬度检测涉及以下几个方面：

- 硬度的检测位置：横截面硬度检测位置根据设计、零件生产流程状态和性能的需要可以有边缘、1/4D 和全截面等几种要求；
- 硬度在需方没有明确检测位置时，默认的检测位置是 1/4D 处。对圆柱外表面的硬度进行检测时，应按相应国家标准对检测结果进行补偿。如果不补偿需方应明示；
- 硬度试样的取样和加工尺寸按实际需要确定。试样加工应按相应国家硬度检测标准要求保证相应的检测面粗糙度和检测面轴线垂直度要求；
- 硬度检测种类的选择：根据齿条毛坯加工和交货状态的不同其检测种类也不同，见表 12。

表 12 齿条毛坯不同状态硬度检测种类

序号	毛坯加工和交货状态	硬度种类	备注
1	调质状态/调质+拉拔状态	HRC/HV	硬度和拉力在相近部位切取
2	拉拔消应力状态	HRC/HRB/HV	硬度和拉力在相近部位切取
3	正火状态	HB	硬度和拉力在相近部位切取

注：截面同一圆周的硬度检测点应目视均分3~5点进行检测。几点检测位置的最大硬度差视为硬度散差。

5.2.1.2 成品齿条

成品齿条性能测试要求见下表 13。

表 13 成品齿条性能测试要求

序号	性能项目	测试要求及条款
1	静扭或强制转向试验	QC/T 29096-2014 中 5.2.1 QC/T 1081-2017 中 5.5.2 QC/T 529-2013 中 7.4.3 QC/T 972-2014 中 5.3.2.1
2	冲击或逆向超载试验	QC/T 29096-2014 中 5.2.2.2 QC/T 1081-2017 中 5.5.1 QC/T 529-2013 中 7.4.4 QC/T 972-2014 中 5.3.2.4
3	正向驱动磨损或正转泥水（沙）耐久试验	QC/T 29096-2014 中 5.3.2 QC/T 1081-2017 中 5.4.1 QC/T 529-2013 中 7.4.2 QC/T 972-2014 中 5.3.2.5
4	逆向驱动疲劳或逆向疲劳试验	QC/T 29096-2014 中 5.3.2 QC/T 1081-2017 中 5.4.2 QC/T 529-2013 中 7.4.1 QC/T 972-2014 中 5.3.2.3
5	振动	QC/T 1081-2017 中 5.5.3

5.2.2 应力变形

5.2.2.1 齿条应力变形的检测，采用铣扁测试和切缝测试的方法进行。当供需双方需要修改、补充或另行采用其它方法进行检测时，应就检测方法、判定准则和试样加工尺寸等进行明确，并达成一致。

5.2.2.2 铣扁测试是乘用车转向器齿条应力变形性能检测的首选方法。分单齿和双齿两种，分别对应铣单扁和铣双扁两种变形检测方法。

5.2.2.2.1 铣单扁测试

本检测方法，适用于单侧制齿的齿条，试验准备、加工和判定如下：

- a) 检测时按批次和需求取送样；
- b) 为了消除原有直线度的影响，加工之前需对试样进行校直，达到跳动 ≤ 0.08 mm/m；
- c) 试样按规定尺寸和流程进行加工，流程为：检测试样(规定尺寸)→校直→坯料磨削(粗糙度 $\leq Ra1.6$ 之内)→铣扁加工→检测推荐加工尺寸和检测点位置见下图 3；
- d) 零件试样外径 Φ 和扁深 X 的对应关系见下表 14；
- e) 铣扁加工铣削方式为夹紧并使用盘铣刀垂直于试样轴线方向往复进行铣削。每次吃刀量不易过大，防止产生新的应力；
- f) 检测实施：
 - 1) 检测应满足没有震动、检测装置经校验准确、光线清楚；
 - 2) 在检测时使用 V 型块+检测平台+跳动检测装置进行。支承点 A、B 和检测点应符合下面图 3 的要求；
 - 3) 检测之前应先将百分表的指针拨到零点。
- g) 结果判定：变形的合格判定标准，当客户有要求时以客户的要求为准。客户没有要求时，合格判定标准为 ≤ 1 mm。

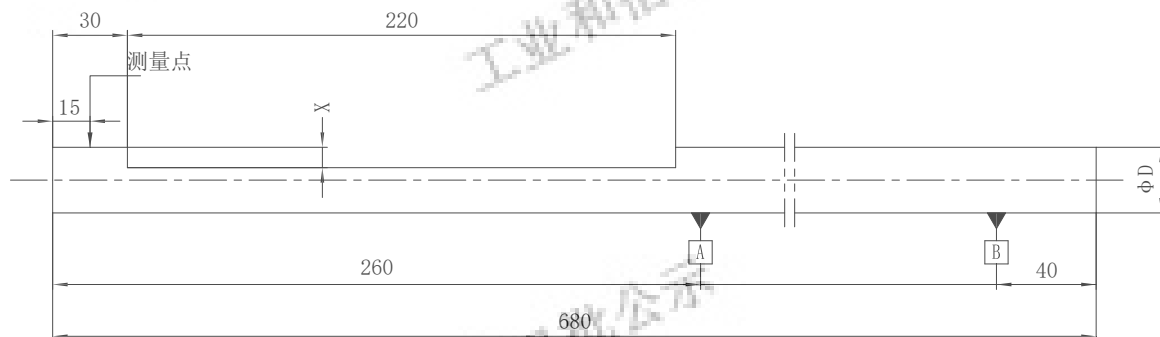


图 3 单齿应力检测尺寸和检测位置示意图

表 14 单扁变形试样外径和扁深对应关系表

外径 Φ (mm)	扁深 X (mm)
22.3	7.3
24.3	8.1
26.3	8
28.3	7.6
30.3	6.2
32.3	6.6

5.2.2.2.2 铣双扁变形检测

本检测方法，适用于双齿的齿条，试验准备、加工和判定如下：

- 样品准备和加工要求同 5.2.2.2.1 第 a)~d)；
- 检测加工尺寸和检测点位置如图 4；
- 零件试样外径 Φ 和扁深 X、Y 的对应关系见表 15；
- 检测实施：铣双扁的变形检测与铣单扁的区别是支撑点在中间 A、B，检测点在两端。其它检测步骤和要求与铣单扁相同；
- 结果判定：当客户有要求时以客户的要求为准。客户没有要求时，合格判定标准为 $\leq 1\text{mm}$ 。

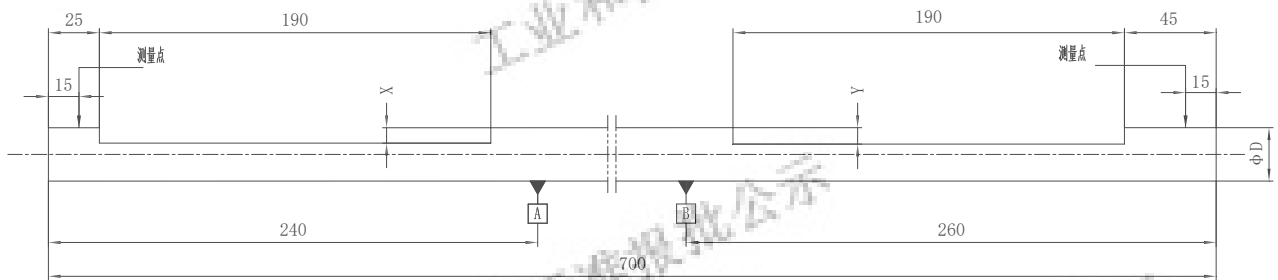


图 4 双齿应力检测尺寸和检测位置示意图

表 15 双扁变形试样外径和扁深对应关系表

外径 Φ (mm)	扁深 X (mm)	扁深 Y (mm)
22.3	6.8	7.3
24.3	7.6	8.1
26.3	7.5	8
28.3	7.1	7.6
30.3	6.7	7.2
32.3	6.3	6.8

5.2.2.3 切缝应力测试

本检测方法主要应用于先调质后拉拔流程工艺生产的齿条产品，试样准备、加工和判定如下：

- 检测按批次、规格和需求数量取样；
- 试样切缝应使用钨丝切割机进行切缝；
- 试样按图 4 规定尺寸和流程进行加工。流程为：取检测试样(规定尺寸)→如果粗糙度 $\geq \text{Ra}3.2$ 进行磨削→检测开口前外径并标识检测位置→线切割狭缝→检测开口前后同一位置外径；
- 推荐加工尺寸和检测点位置如图 5 所示；
- 检测实施：
 - 检测现场应满足没有震动，光线充足；
 - 在实际检测时，开口前和开口后的检测应按示意图规定的位置，做好标识；
 - 变形的大小 = $D_0 - D_1$ 。即切缝检测前外径 - 切缝后外径。
- 结果判定：当客户有要求时以客户要求为准；客户没有要求时， $\leq 0.4\text{mm}$ 。

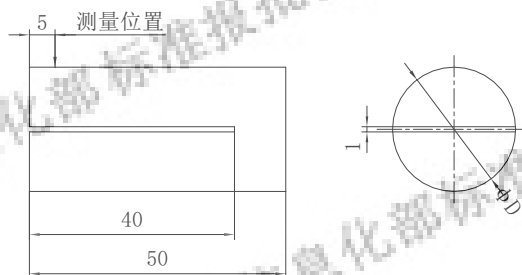


图5 切缝应力检测试样尺寸和检测位置示意图

5.3 热处理

5.3.1 齿条毛坯基体

5.3.1.1 齿条毛坯基体热处理后应检测硬度。强度、塑性和冲击是否检测由供需双方另行确定。

5.3.1.2 齿条毛坯基体机械性能取样按生产厂家内部规定的取样数量和位置进行。其位置和数量应对反映批次的性能情况具有代表性。

5.3.1.3 检测项目和检测方法参照 5.2.1 条的规定。

5.3.2 成品齿条

5.3.2.1 成品齿条高频热处理后的检测要求如下表 16。

表 16 成品齿条高频热处理的检测项目和测试要求

序号	齿条种类	要求项目	测试要求和设备
1	齿轮啮合类齿条	齿顶高频表面硬度	按硬度要求随机抽 10 个齿，检测齿顶淬回火后的硬度
		齿根高频淬硬层深度	按硬度和深度要求检测两端第 2 齿加中间齿根淬回火深度
		齿背高频淬硬深度	按硬度和深度要求检测中间齿根淬回火深度
		杆部高频表面硬度	按硬度要求检测两端齿背最深处硬度是否超差
		杆部高频淬硬深度	热处理区域均匀检测 5 个位置
2	滚珠丝杠齿条	齿部硬度	检测齿根部以下 0.6 mm 处、两端第二齿根 0.4 mm 以下最小硬度 50 HRC
		齿根部硬化层深度	最小硬度 50 HRC
		丝杠部硬度	检测硬度是否符合 55 HRC~60 HRC
		丝杠滚道硬度	检测顶部 2.3 mm 以下是否符合最小硬度 50 HRC
		丝杠滚道硬化层深度	检测底部 0.5 mm 以下是否符合最小硬度 50 HRC
		丝杠两端内拉螺纹孔	检测螺纹孔外壁硬度 < 25 HRC

5.3.2.2 成品齿条高频热处理后的硬度和层深检测，应按客户具体要求和组织内部检测规范进行。当客户没有明确感应淬火有效硬化层深度检测方法时，可以按 GB/T 5617 中规定的检测方法执行。试样的加工粗糙度、检测点的间距及距边缘的位置应符合相应硬度检测标准的规定。

5.4 强度测试与核算方法

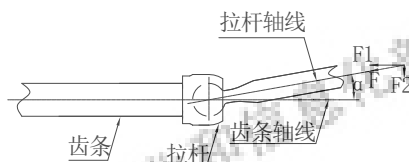
5.4.1 乘用车转向器齿条设计单位应对零件的支撑与受力大小及方向按相应需求和规范进行设计和核算。

5.4.2 成品齿条强度测试与核算方法应满足表 17 的要求。

表 17 成品齿条强度测试与核算

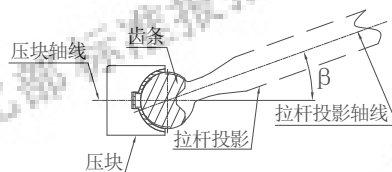
强度测试与核算	采用方法（需要时附图说明）
弯曲强度校核计算	1、受力大小：汽车直线行驶时，拉杆处于设计角度状态，沿拉杆轴线方向施加 2 倍最大齿条力的载荷（F），该载荷在垂直于齿条轴线方向的分力（F2）即为齿条弯曲强度计算所需的载荷力（见图 8）； 2、受力方向：汽车直线行驶时，拉杆处于设计角度状态，将拉杆投影到过齿条压块轴线且和齿条轴线垂直的平面内，拉杆的投影线和齿条压块的轴线形成的锐角 β （见图 6）； 3、弯曲强度计算公式： $(F \times S) / W$ ； F—受力大小，S—内拉杆球心到啮合中心距离，W—为齿条断面系数（断面系数为垂直于齿条受力方向轴线上的齿条截面惯性矩与质心到受力点距离的比值）； 4、判定：弯曲强度计算值 < 材料的屈服强度值。
齿面接触疲劳强度校核计算	1、参考机械设计手册第五版第 3 卷上面的公式及相关系数表格，进行接触疲劳强度核算； 2、判定：接触疲劳应力 < 材料的许用应力值； 3、材料的许用应力值根据热处理进行选取，目前行业内一般取 < 2200 MPa。
齿条挠变试验	1、试验方法 1：转向器长总成，汽车直线行驶下拉杆处于颠簸或回弹状态（见图 7），取颠簸或回弹状态下拉杆与齿条夹角最大值进行试验，沿拉杆轴线方向施加 2 倍最大齿条力； 2、试验方法 2：转向器短总成，在齿条末端沿齿条轴线施加 3 倍最大齿条力； 3、若汽车厂试验方法和上述 1 和 2 试验方法不同时，按客户要求或者协商后结果执行； 4、判定：上述两种试验方法，选其一进行，试验完成后均需要满足：齿条无裂纹，齿条无永久变形。依据 QC/T 29096-2014 中 5.2.2.2 规定的方法核算，试验过程中的最大的弹性变形不超过 2 mm。
螺纹连接强度校核计算	螺纹强度校核： 1、汽车直线行驶时，拉杆处于设计角度状态，沿拉杆轴线方向施加 2 倍的最大齿条力，计算分解到齿条轴线方向的分力 F1（见图 8）； 2、依据螺纹预紧力公式进行拧紧力矩 M1 的核算； 3、至少选取 10 件实物进行拧紧力矩试验，试验后评价（-3 σ 屈服载荷）M2，要求设计螺纹拧紧力矩 $M < 0.85 M2$ ；最终螺纹拧紧力矩需要满足 M1 和 M 两个条件； 4、接触面强度校核： 5、1）汽车直线行驶时，拉杆处于设计角度状态，沿拉杆轴线方向施加 2 倍的最大齿条力，计算分解到齿条轴线方向的分力 F1（见图 8）； 2）计算齿条与 IBJ 接触端面最小接触面积 S，用 F1/S 计算得到最大压应力 P，要求 $P < IBJ$ 球头壳的材料屈服强度。
CAE 受力与变形分析	1、依据 5.5.1 弯曲强度试验方法，在齿条末端上施加约束和载荷，载荷施加方向为外拉杆球心到内拉杆球心连线方向，载荷大小为 2.4 倍最大齿条力； 2、齿条在施加约束前需要进行热处理部位分层及网格划分； 3、运用 CAE 工具进行分析； 4、弹性模量需针对实际使用材料采用实测值。

5.4.3 除上述齿条强度与核算要求需要满足外，还应满足客户或组织内部的相关规范要求（若有）。



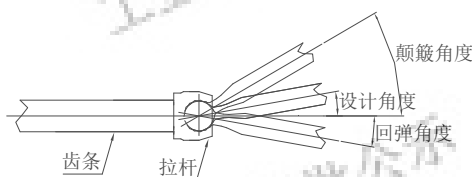
- 注1： α ：为汽车直线行驶设计状态下拉杆与齿条的夹角，单位为度（°）；
 注2：F：最大齿条力；
 注3：F1为齿条力在沿齿条轴线方向的分力；
 注4：F2为齿条力在垂直于齿条轴线方向的分力。

图 6 齿条弯曲受力载荷图



注： β ：为将拉杆投影到过齿条压块轴线且和齿条轴线垂直的平面内，拉杆投影线与齿条压块轴线的锐角，单位为度（ $^{\circ}$ ）。

图7 齿条弯曲受力方向图



注1：设计角度：汽车直线行驶时拉杆和齿条的夹角，单位为度（ $^{\circ}$ ）；
 注2：颠簸角度：汽车直线行驶时车轮上跳时拉杆与齿条的夹角，单位为度（ $^{\circ}$ ）；
 注3：回弹夹角：汽车直线行驶时车轮下跳时拉杆与齿条的夹角，单位为度（ $^{\circ}$ ）。
 注4：以上夹角需要由转向器厂家提供。

图8 汽车直线行驶设计、颠簸、回弹状态下角度

5.5 清洁度

产品终检完成后，依据QC/T 573-1999中规定的方法进行测试。