

综 述

谈谈国内花键轴轴向挤压的发展方向

聂兰启¹, 王国林², 钱进浩³

- (1. 山东红旗机电有限公司, 山东 潍坊 261031;
2. 山东交通职业学院 机电工程学院, 山东 潍坊 261100;
3. 苏州银涛精密锻造有限公司, 江苏 苏州 215132)

摘要: 主要介绍了花键挤压的优点和国内花键挤压成形技术现状,展示了国内已经在研发生产的矩形花键和各种渐开线齿形花键,如摩托车起动机构主轴和副轴,农用车、轿车、微型车半轴和汽车变速器传动轴等,花键的材料有20Cr,20CrMo,45钢,40Cr,42CrMo,Gr15钢和不锈钢。最后叙述了应该大力研究花键轴在轴向挤压时,挤压坯料的硬度、挤压温度、挤压模入模口半锥角、模口圆角、凹模模口轮廓形状等参数与挤压成形的关系。

关键词: 花键; 轴向挤压; 发展

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2013.01.011

中图分类号: TG376

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2013)01-0041-06

Discussion on Development of Axial Extrusion of Domestic Spline Shaft

NIE Lan-qi¹, WANG Guo-lin², QIAN Jin-hao³

- (1. Shandong Hongqi Electromechanical Co., Ltd., Weifang 261031, China;
2. Machinery & Electric Institute, Shandong Traffic Vocational College, Weifang 261100, China;
3. Suzhou Yintao Precision Forging Co., Ltd., Suzhou 215132, China)

Abstract: It mainly introduces some advantages of the spline extrusion and the situation of domestic spline extrusion technique. It shows some domestic rectangle spline and some involute gear form spline, such as the mainshaft and subshaft of motorcycle's shifter mechanism, shaft of agricultural automobile and minicar and the transmission shaft of the automobile's gearbox. The materials of the spline shaft are 20Cr, 20CrMo, 45, 40Cr, 42CrMo, Gr15 steel and stainless steel. In the end, it introduces that the relationship between the parameters of extrusion billet's hardness, extrusion temperature, half cone angle, entering round angle, the model's shape and the extrusion should be studied.

Key words: spline; axial direction extrusion; development

花键连接与一般的键连接相比为多键连接。由于花键连接具有接触面积大,承载能力高,定心性好,导向性好,齿根较浅,应力集中较小,轴与毂的强

度削弱较小等优点,在动力传动中得到了广泛的应用。例如应用于汽车动力传动装置、轿车手动变速箱倒档装置、摩托车启动电机中的驱动装置等众多

收稿日期: 2012-05-24

作者简介: 聂兰启(1965-),男,山东莒南人,高级工程师,主要从事金属材料成形工艺编制及模具设计工作,多项成果获山东省国防科工办和公司科技进步奖。

领域。

1 花键加工工艺

我国大多数厂家依旧采用铣削加工工艺生产花键,如河北、山东、青海等地还有不少工厂生产花键铣床。国内仅重庆、江苏等地有少数厂家应用了塑性成形工艺如冷挤压成形进行花键生产加工。

冷挤压工艺是在冷态下,将金属毛坯放入模具型腔中,在较大的压力和一定的速度作用下,迫使金属从凹模型腔中挤出,从而获得所需的形状、尺寸以及具有一定力学性能的挤压件。

冷挤压加工花键轴和传统的加工工艺比较有如下优点。

1) 精度高。用冷挤压法加工花键,所有齿形一次挤出。齿形精度由凹模决定,产品质量稳定,花键饱满,轮廓清晰,工件出模回弹量较小,表面粗糙度 Ra 可达 $0.4\ \mu\text{m}$ 。

2) 力学性能好。由于成形过程中花键的金属纤维流线保持连续,没有遭到破坏,并且是在较大的三向压应力的条件下成形的,在后续热处理过程中,晶粒还可进一步细化,从而提高了零件的综合力学性能,因此冷挤压工艺成形的花键轴比切削加工的花键轴扭转强度提高 20% 以上。

3) 生产效率高。生产效率比切削加工提高 20 多倍。用冷挤压加工花键轴,可在挤压机的一次行程中完成上下两端两处花键的挤压。

4) 投资少。冷挤压花键所用设备为普通油压机,价格便宜。模具寿命长,一般冷作模具钢模芯寿命达万件以上,硬质合金模芯寿命可以达到数十万件。对于多齿数小模数花键的加工,由于挤压力比较小,毛坯无需磷化皂化处理,加工更加方便。

5) 材料利用率高,成本低。

2 花键挤压的开发生产

20 世纪 80 年代中期,中国兵器工业第五九研究所开发成功并投入批量生产的花键轴如图 1 所示。

一汽集团公司工艺研究所 1990 年申请了正挤花键研究专利^[1]。南京汽车集团 20 世纪 90 年代用冷挤压技术制造轻型货车传动轴渐开线花键和矩形花键。江苏大丰森威集团、苏州银涛精密锻造有限

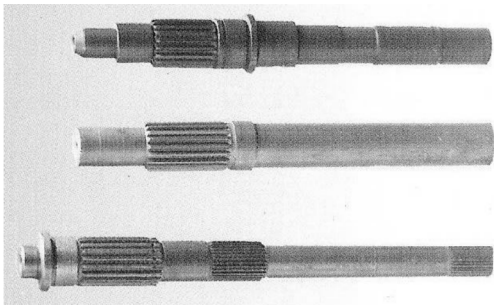


图 1 中国兵器工业第五九研究所开发成功并投入批量生产的花键轴

Fig. 1 Spline shaft in mass production developed by Chongqing No. 59 Institute

公司和常熟某厂挤压生产摩托车花键轴。

我国有关模具的图册上已有花键挤压模具介绍^[2],花键的材料有 20Cr, 20CrMo, 45 钢, 40Cr, 42CrMo, 不锈钢和 Gr15 钢^[3]等。

由无约束轴向正挤压成形的工艺特点可知,挤压花键所用毛坯的直径应该等于或略小于与其相对应的模具齿形齿根直径。挤压成形花键齿时,金属除产生轴向流动外,还产生径向流动。部分金属沿径向向外流动,另一部分金属沿径向向轴心流动。

在齿形挤压成形时,除受到外界的成形挤压力外,还受到花键齿槽成形时产生的径向摩擦力,加大了成形难度。

花键按照齿廓形状可以分为渐开线花键和矩形花键。渐开线花键受载时花键齿上有径向分力,能起自动定心作用,使得各个齿受力均匀、强度高、寿命长,并且容易获得较高的精度和互换性。渐开线花键标准压力角一般有 30° 和 45° 等 2 种。

矩形花键加工方便,可以用磨削的方法消除热处理变形,获得较高的精度及定心稳定性。矩形花键的定心方式为小径定心。花键齿高的大小直接决定了花键工作时的承载面积,即决定了其所能承受的最大载荷,因此它是花键形状参数中最重要的参数。

如果由于花键加工精度不够而使其齿形不饱满,齿高达不到设计值,则会导致承载能力下降,在实际承载传动过程中产生噪音,发生疲劳损坏,寿命降低。

2.1 矩形花键挤压

2.1.1 某汽车副变速箱

东南大学有人在 2004 年前后曾采用组合凹模

挤压成形某汽车副变速轴矩形花键^[4]。花键材料为45钢,退火后硬度为230~263HB,挤压件如图2



图2 东南大学研发成功的某汽车副变速轴花键
Fig.2 An automobile auxiliary variable-speed spline shaft developed by Southeast university

所示。他们还通过计算机模拟分析了花键的冷挤压成形极限,定量地判断入模半锥角、凹模入口圆角以及坯料直径等因素对挤压力和齿形充满程度的影响。应用损伤力学原理,引入断裂因子作为判断依据,研究花键冷挤压形过程中齿根开裂缺陷的产生原因和防治方法。还提出了改良毛坯前端倒角尺寸和凹模入口形状,减少摩擦系数,可避免齿根开裂。

2.1.2 摩托车起动机构主、副轴

摩托车起动机构主、副轴常用的花键齿形有矩形和渐开线2种。由于矩形花键成形力远大于渐开线花键,在开式冷挤压过程中,如果模具参数选择不当,坯料极易产生镦粗和压弯失稳,因此在设计模具时必须认真分析坯料的应力分布及模具的受力状况,估测成形缺陷产生的原因。也可采用Deform软件,对矩形花键轴冷挤压成形进行数值模拟仿真,使挤压成形过程可视化和可控制化,并通过模具的受力情况,分析挤压过程中坯料的塌角和金属堆积现象产生的原因,预测入模半角所对应的模具引导区长度,优化冷挤压工艺参数和模具设计^[5-6]。

CG125摩托车主轴的挤压件如图3所示^[6]。该挤压件两端的矩形花键齿参数相同。

CG125主轴冷挤压成形工艺试验在2000 kN四

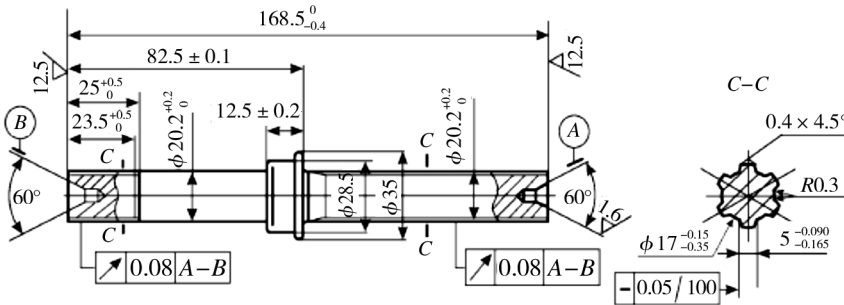


图3 CG125摩托车主轴的挤压件
Fig.3 Extrusion of CG125 motorcycle's mainshaft

柱液压机上进行,采用引导区 $h=2.5\text{ mm}$ 的模具。试验前对坯料进行磷化皂化处理,测得最大挤压力为210 kN左右,比仿真计算所得的90.75 kN(1/12模具的最大受力为15.896 kN)大10%左右。

CG125摩托车主轴花键冷挤压成形件和坯料的实物照片如图4所示。

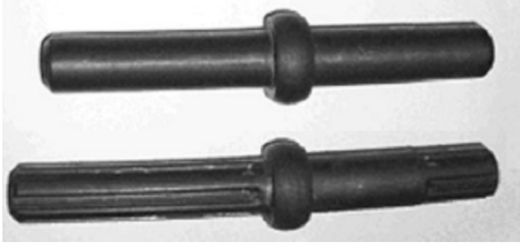


图4 CG125摩托车主轴花键冷挤压成形件和坯料
Fig.4 Cold extruded part and blank of CG125 motorcycle's mainshaft

2.2 渐开线花键挤压

2.2.1 变速器渐开线齿形花键轴

重庆工商大学伍太宾教授成功研制的某轿车变速器渐开线齿形花键轴的挤压成形件如图5所



图5 某型轿车变速器渐开线花键轴
Fig.5 An involute spline shaft of a car's gearbox

示^[7]。其齿形参数为:齿数 $Z=12$,模数 $M=1.25$,压力角 $\alpha=20^\circ$,变位系数 $X=1.60$,齿顶圆直径 $d_a=16.75\text{ mm}$,齿根圆直径 $d_f=14.00\text{ mm}$,渐开线花键有效长度为44 mm。其渐开线花键部分与拨叉相连接,起变速换挡作用。由于渐开线齿形花键与拨叉之间只传递扭矩,因此齿形运动精度要求不高,适合采用冷挤压方法大批量生产。

2.2.2 某过轮花键轴

重庆理工大学冯文杰教授等人开发成功的过轮花键轴冷挤压件和实物照片如图6所示^[8],材料为20CrMo热轧棒材。零件右端是模数为1,压力

角为 30° , 齿数为 29 的渐开线花键, 大径为 $\phi 30.5_{-0.2}^0$ mm, 小径为 $\phi 27.2_{-0.2}^0$ mm, 左端是 6 个 $\phi 26.5$ mm $\times$ 23 mm $\times$ 5 mm 的矩形花键, 中间是 $\phi 45.5$ mm 的圆盘。齿厚为 b 级, 4 个齿公法线长 11.258 mm。

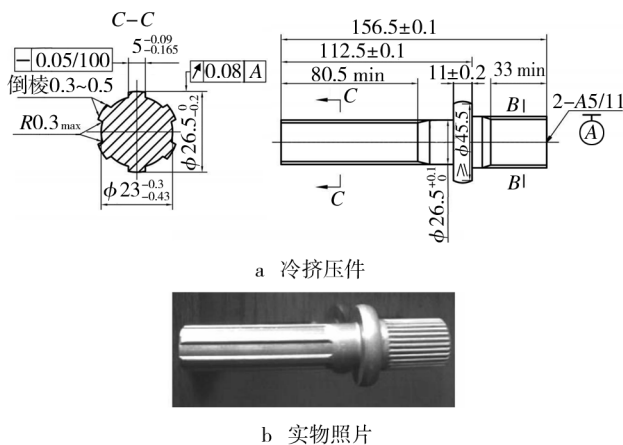


图 6 过轮花键轴

Fig. 6 Spline shaft of transition gear

该过轮花键轴冷挤压的工序如图 7 所示。首先将热轧棒材车加工成圆柱体, 然后进行 2 次冷镦, 再将预成形坯放入挤压模中同时挤压成形上部花键和下部花键。最后机加工切割花键轴成一定长度和加工两端面中心孔。

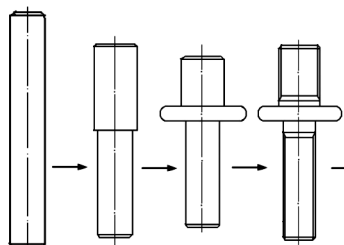


图 7 过轮花键轴的冷挤压工艺

Fig. 7 Procedures of the spline shaft of transition gear

为了降低材料硬度, 提高塑性, 将热轧棒材按坯料倍数(单件毛坯长度的倍数)下料, 软化退火。退火温度为 760°C , 保温 4 h。退火后坯料硬度为 130~140HB。

2.2.3 汽车半轴

农用车、轿车、微型车半轴是后桥受扭矩及一定冲击力的重要结构件, 从结构上主要分为花键、杆部和法兰盘等 3 个部分。在工作过程中将主减速器、差速器传来的扭矩传给驱动车轮, 起到传递发动机扭力和驱动后桥圆锥齿轮使汽车轮前进的作用。半

轴内端以花键连接着半轴齿轮, 半轴齿轮在工作时只将扭矩传给半轴。因为花键受力处既有滑动又有冲击, 所以半轴的使用寿命取决于花键齿的抗压能力。

国内长春理工大学^[9]、吉林大学和重庆工业职业技术学院等校都曾有人研究过微车半轴花键的冷挤压成形。半轴花键冷挤压时由于金属材料的加工硬化特性, 挤压件的强度大为提高, 因此可以用低强度钢代替高强度钢。

微车半轴花键如图 8 所示^[9], 材料为 40Cr 钢。齿形为 JISD, 齿数为 26, 模数为 1, 压力角为 45° , 修正系数为 0.1。基圆直径为 26 mm, 小径为 24 mm, 大径为 27 mm, 公差值为 $+0.03$ mm。

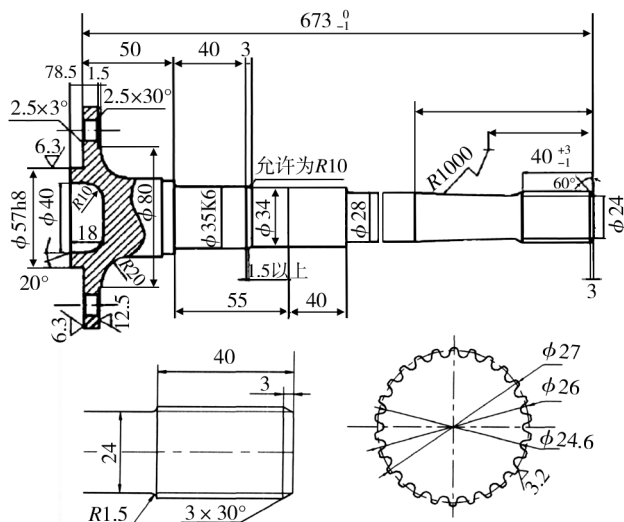


图 8 微车半轴花键

Fig. 8 Spline of minicar's shaft

文献[9]计算了挤压模具入模引导长度、毛坯直径和挤压力等在挤压过程中的重要参数, 并对毛坯直径、引导长度、凹模入模角和挤压成形段长度进行了模拟优化。确定了最佳坯料直径为 $\phi 27$ mm, 挤压模具入模引导长度为 8 mm(此时挤压无镦粗现象, 可顺利挤压花键), 凹模入模角为 50° (最大等效应变小), 挤压成形段长 8 mm。

2.2.4 海尔洗衣机花键轴

海尔某型号洗衣机花键轴原来用机械加工生产, 加工工时长, 材料消耗大, 质量也不稳定。近日, 苏州银涛精密锻造有限公司采用轴向挤压的方法将其挤压成形。

渐开线花键冷挤压成形属三维变形, 成形过程中金属的流动情况非常复杂, 多种因素(材料的软

化处理、润滑、工艺方案和模具结构等)影响花键的成形和精度,成形难度较大。该洗衣机花键轴的材料为45钢,加工硬化现象严重。

实际上花键最难成形的部位是齿根,挤压过程中坯料金属总的流向是向下的,没有与受力方向相反的逆流出现。由于苏州银涛精密锻造有限公司掌握了花键成形的基本规律,模具设计合理,因而在花键挤压过程中,金属的流动速度矢量分布均匀、合理,齿形能顺利成形,所花费的开发时间很短。

该海尔某型号洗衣机花键轴挤压成形件的照片如图9所示。该花键21齿,模数为1,压力角为 30° ,齿形精度为6h,标准为GB/T 3478.1。



图9 海尔某型号洗衣机花键轴

Fig. 9 A spline shaft of a Haier washing machine

检查标准为直径2 mm的检测棒,检测棒外径为 (24 ± 0.03) mm。跨四齿检查标准为10.427 ~ 10.472 mm。银涛精密锻造有限公司的实际检测结果:外径为24.02 ~ 24.01 mm,跨四齿尺寸为10.43 ~ 10.45 mm,检查结果完全合格。

3 花键轴轴向挤压研究的发展方向

3.1 关于花键轴温挤压的研究

对于挤压坯料,不管是较高的硬度或是较低的硬度,都可以将花键轴挤压成形。根据经验,大多数正火硬度的低碳钢和中碳低合金钢的花键一般均可冷挤压成形,冷挤压困难的,可以采用温挤压成形,而挤压设备能量的大小才是最重要的因素。

苏州银涛精锻公司在开发花键轴产品做挤压试验时,由于使用的设备吨位小,往往通过加热进行温挤解决。

由此,重视研发花键的温挤压成形,要研究最佳挤压温度、最佳加热方法、最佳温锻模的设计、温锻

模的操作、温锻模的热处理和寿命等。

就目前的情况,只要有3150 kN的液压机,即可完成文中所介绍的这些花键轴的挤压生产。

3.2 关于优化齿形凹模最佳工艺参数的研究

合理设计花键的冷挤压模具,减少变形力,不仅对设备有好处,节省能源,而且可以改善模具的工作条件,减少模具负载,延长模具寿命。

齿形凹模模口半锥角是一个重要参数,对花键冷挤压变形力和花键齿形成形时所受阻力大小均有重要影响,模口半锥角的大小决定了凹模模口的主要形状。“当模口半锥角较大时,花键齿形充型效果较好”,这句话欠妥,因为模口半锥角较大时,也必然导致金属成形的轴向阻力较大,挤压力增大,模具的受载条件恶化,降低模具寿命。应当结合生产实际,找出模口半锥角的最佳值,模口半锥角在这个最佳值的范围内,“当模口半锥角较大时,花键齿形充型效果较好”。

反之,“当模口半锥角较小,则成形挤压力也会较小”这句话也欠妥。例如由于变形区域过长会导致摩擦阻力增大,花键前端容易出现未充满段,降低花键齿形的饱满程度。设想如果坯料直径等于或近似等于花键齿形凹模与花键相对应的齿根圆直径,其挤压力就变成0或趋于0了。应该通过研究找出一个符合实用的最佳模口半锥角,推导出简易的经验公式。最佳齿形凹模模口半锥角确定好后,模口引导段的长度也就确定了。

凹模模口圆角也是很重要的技术参数。凹模模口处在齿形成形带前的过渡区,有与花键齿形相对应的多条棱,共有4个圆角尺寸,其值不一定完全一样,如图10所示。花键挤压成形时,如齿形凹模模

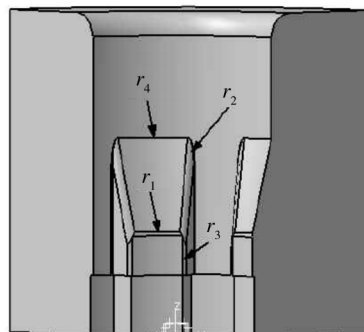


图10 模入口圆角示意

Fig. 10 Entering round angle of the die

口的齿棱都是尖角,摩擦力大,使挤压力急剧升高,不但齿形不容易充填饱满,而且会由于应力集中,大大降低模具寿命。

很多人不重视这个问题,导致模具受载条件恶劣,模具失效,试验失败,因此,有人建议 r_1 取 $0.5 \sim 1.5$ mm, r_2 取 $3 \sim 4$ mm, r_4 取 $0.4 \times (r_0 - r_2)^{[5]}$ 。因为 r_3 与挤压件的具体尺寸有关,无法做较大的改变,通常取 $r_3 = 0.5$ mm。

在设计模具时,总是希望使圆角半径尽量加大,这样能保证金属容易流动,产品容易成形,保证产品质量,而且减小变形力,减少应力集中,延长模具寿命。随着圆角半径的增大,也必然会减少凹模成形区的受力面积,降低凹模强度,因此必须根据实际成形情况给出最佳的取值范围。

合理确定圆角值,使挤压成形时金属的流动尽量趋于流线型,也是研究的主要内容。当然,如果圆角半径的增大,产品的形状变了,影响了花键的啮合性能,也等于是挤压失败。

在花键冷挤压工艺中,常用的凹模模口主要有锥形模口和曲线模口。曲线有正弦曲线、余弦曲线、抛物线和特种曲线等。过去为了加工方便,只能采用锥形模口,现在不管什么样的曲线都可以利用电火花加工、数控加工或高速铣削加工成形。可以通过试验,寻找最佳曲线作为模口形状曲线,使金属变形容易,模具的工作条件改善,延长使用寿命。

3.3 科学确定坯料前端形状尺寸

根据成形后的外形差异,整个毛坯大致可分为3部分:定位段、齿形成形段、未成形段。

不少研究者在确定端部形状时完全由现场经验决定。如果端部形状不是最佳,不但不能改善成形品质,反而易产生成形缺陷。为了防止挤压成形时变形不均匀和应力集中,实现稳定而顺利的挤压过程,选择合适的原始坯料形状、尺寸十分重要。坯料直径一般在齿形外径和内径之间。

将坯料成形段的前端专门加工成一定长度的定位段,可保证挤压过程稳定,减少挤压力,使齿形充填饱满。当然在某种特殊情况下,定位段长度也可能为0,也就是说不要定位段。

除上、下模具要保证同轴度要求外,齿形模芯的齿根圆直径与冷挤压坯件杆部的间隙以小于0.2

mm为佳,保证坯件在齿形模芯内定位良好。同时冷挤压坯件在上模内的定位长度应达到坯料直径的3~4倍,这样可避免坯件在承受挤压力时发生弯曲变形。

4 结语

花键的冷挤压工艺是一种少无切削加工,它不仅具有生产效率高、产品精度高、材料利用率高、成本低等特点,而且冷挤压花键内部金属流线保持连续,晶粒得到不同程度的破碎和拉长。在后续的热处理过程中,晶粒得到进一步细化,提高了零件的综合力学性能。同时,冷挤压花键所用设备为普通油压机,价格便宜。齿形精度由凹模决定,模具寿命较高,高速钢模芯的凹模寿命可以达到1万件以上,硬质合金模芯的凹模寿命可以达到几十万件,产品质量比较稳定。由此,冷挤压花键广泛应用于汽车工业、摩托车工业及其他加工制造业,降低了花键轴生产成本,满足了花键轴大批量生产的要求。

本文在写作过程中曾得到重庆锻压行业协会与重庆交通大学合办硕士研究生班导师胡亚民的亲切指导,特致谢意。

参考文献:

- [1] 朱伟成,杜元俊,李文成.小模数花键的冷挤压[J].汽车技术,1991(2):45-49.
- [2] 胡亚民.精锻模具图册[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [3] 张水忠,李霞,徐纪平.GCr15钢花键轴套冷挤成形[J].模具工业,2003,29(1):43-45.
- [4] 徐波.大模数花键齿形冷挤压成形的研究[D].南京:东南大学,2006.
- [5] 黄朝晖,付沛福.方花键轴开模冷挤压的模具设计及工艺实验研究[J].锻压技术,1999,24(5):51-53.
- [6] 冯文杰,陈莹莹,米林,等.矩形花键轴冷挤压的数值模拟分析[J].现代制造工程,2007(2):117-119.
- [7] 伍太宾,王屹.汽车变速器渐开线齿形花键轴的冷挤压成形技术[J].汽车技术,2006(7):35-38.
- [8] 冯文杰,陈莹莹,廖仕梨.过轮轴开式冷挤压工艺及模具设计[J].模具工业,2007,33(3):51-53.
- [9] 车雷.微型车半轴花键冷挤压成形工艺研究[D].长春:长春理工大学,2009.