

直齿轮冷精锻钢坯卸压孔直径对模具弹性变形的影响

高 枫, 何仕荣, 王涌纲, 顾 猛, 熊可辉

(上海理工大学 机械工程学院, 上海 200093)

摘要: 针对直齿轮冷精锻成形过程中, 模具因承受较大的成形载荷产生弹性变形, 进而影响成形齿轮的成形精度等问题, 基于径向分流法设计了不同卸压孔直径的钢坯, 建立了坯料塑性成形与模具应力分析的有限元模型, 研究了不同卸压孔直径对模具弹性变形的影响。根据模具型腔的弹性变形量, 采用反补偿法修正了齿模齿廓曲线, 并比较了修正前后锻件的变形量。结果表明: 随着卸压孔直径的增大, 模具弹性变形量先增大后减小, 在卸压孔直径 $d_0 = \Phi 20$ mm 时, 模具的弹性变形量最小; 模具不同高度的齿腔轮廓平面的弹性变形量变化形势一致, 但增量幅度不同; 上轮廓平面变形量最大且齿根到齿顶波动幅度大, 峰值位于齿顶; 齿模齿形修正后锻件的弹性变形量减小了 28.6%。设计了 3 组不同 d_0 的坯料进行成形实验, 实验结果与仿真结果基本吻合, 通过减小模具弹性变形量可以提高锻齿的尺寸精度。

关键词: 直齿轮; 冷精锻; 卸压孔; 弹性变形; 齿形修正

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.11.003

中图分类号: TG315.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2023) 11-0015-07

Influence of pressure relief hole diameter of cold precision forging steel billet for spur gear on elastic deformation of mold

Gao Feng, He Shirong, Wang Yonggang, Gu Meng, Xiong Kehui

(School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: During the cold precision forging process of spur gears, due to a large forming load, the mold produces elastic deformation which affects the forming accuracy of formed gears. Therefore, in order to solve the above problems, the steel billets with different diameters of pressure relief hole were designed based on the radial shunt method. Then, a finite element model for billet plastic forming and mold stress analysis was established, and the influences of different diameters of pressure relief hole on the elastic deformation of mold were studied. Furthermore, according to the elastic deformation amount of mold cavity, the tooth profile curve of mold was modified by the inverse compensation method, and the deformation amounts of forgings before and after modification were compared. The results show that with the increasing of the diameter of pressure relief hole, the elastic deformation amount of mold increases and then decreases, and the elastic deformation amount of mold is the smallest when the diameter of pressure relief hole $d_0 = \Phi 20$ mm. The elastic deformation amounts of tooth cavity profile plane with different heights of mold change in the same situation, but the incremental magnitude is different. The deformation amount of upper profile plane is the largest and the fluctuation from the root to the top of tooth is large, and the peak is located in the top of tooth. The elastic deformation amount of forgings is reduced by 28.6% after the tooth shape modification of mold. Three groups of billets with different d_0 were designed for forming experiments, and the experimental results were basically consistent with the simulation results. Thus, the dimensional accuracy of forged teeth is improved by reducing the elastic deformation amount of mold.

Key words: spur gear; cold precision forging; pressure relief hole; elastic deformation; tooth shape modification

圆柱直齿轮是汽车变速器上的重要零件, 其尺寸精度、表面质量及综合力学性能对变速器的性能

有很大的影响。对于塑性成形工艺方法制备的齿轮, 影响齿轮尺寸精度的因素有很多, 如坯料的材料性能和模具的弹性形变特性。

近年来, 许多专家学者针对模具弹性特性对锻件精度的影响进行了研究。Yilmaz N F 等^[1]运用理论和实验方法分析了模具弹性伸缩和工件收缩对精密锻件尺寸变化的影响。Hu X L 等^[2]设计了一种特殊的实验装置来测量模具表面的压力分布, 发现气

收稿日期: 2023-03-28; 修订日期: 2023-06-29

基金项目: 上海科技委员会资助项目 (19060502300)

作者简介: 高 枫 (1997-), 男, 硕士研究生

E-mail: 1255036197@qq.com

通信作者: 何仕荣 (1964-), 男, 博士, 教授

E-mail: shironghe@bentek.com.cn

压峰值位于气缸的中心, 径高比增大, 压力峰值增大, 锻件精度和模具寿命降低。Pepelnjak T 等^[3]从实验和数值两方面研究了钢坯冷反挤压过程中模具与工件接触应力分布及模具的弹性变形行为, 发现挤压过程中模具壁面径向应力分布不均匀导致模具弹性变形, 其造成锻件的公差等级可达到 IT11 级。Lu B 等^[4]研究了冲压弹性行为, 并使用刚度矩阵公式量化了其在三维复杂形状锻造中的影响。刘利等^[5]针对曲轴模锻生产过程中因模具弹性变形导致锻件尺寸精度不高的问题, 提出了采用模具型腔尺寸补偿法来提高锻件的尺寸精度。吴昊等^[6]基于数值模拟分析研究了坯料温度、压下速度和摩擦因数 3 个因素对模具弹性变形的影响, 结果表明, 压下速度对模具变形影响最大; 模具的弹性变形越小对锻件的精度影响越小。综合研究结果表明, 模具的弹性变形影响锻件的尺寸和形状精度。

在冷锻直齿轮过程中, 锻件载荷很高, 导致模具弹性变形, 影响锻件的尺寸精度^[7-8]。为了减小模具弹性变形, 有必要研究一种减小锻造载荷的方法。采用分流法可以有效降低锻造载荷和模具应力。因此, 本文为了降低冷锻直齿轮的锻造载荷, 基于分流法设计了具有不同卸压孔直径的钢坯。建立了分两步模拟的三维有限元模型, 模拟了坯料的塑性变形过程和模具的弹性变形, 分析了不同卸压孔直径对模具弹性变形的影响。

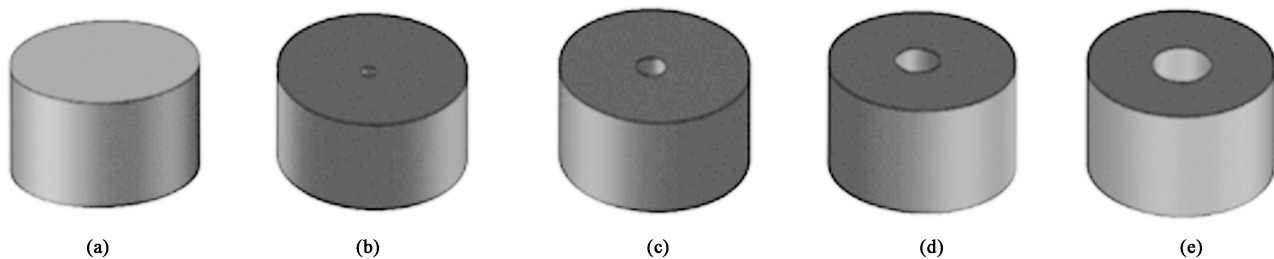


图 2 不同卸压孔直径的坯料
(a) $d_0 = \Phi 0$ mm (b) $d_0 = \Phi 5$ mm (c) $d_0 = \Phi 10$ mm (d) $d_0 = \Phi 15$ mm (e) $d_0 = \Phi 20$ mm

Fig. 2 Billets with different diameters of pressure relief hole

将所有的坯料模型在 SolidWorks 装配, 并保存为 STL 格式导入 DEFORM-3D 有限元软件, 如图 3 所示, 进行数值模拟分析。坯料和模具的材料属性如表 1 所示。此过程分为两步, 首先在软件前处理模块中设定模具为刚性体, 坯料定义为塑性体并赋予齿轮锻造常用合金钢 20CrMnTiH^[9], 坯料网格划分为 80000, 设置体积补偿^[10], 凸模速度为 $10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, 模具与坯料之间摩擦类型选为剪切摩

1 数值模型的建立

为了分析模具的弹性变形, 采用直齿轮为锻压对象, 直齿轮三维模型如图 1 所示, 直齿轮的基本参数为: 模数为 3 mm、齿数为 24、压力角为 20° 、齿宽为 10 mm、齿顶圆直径为 $\Phi 78$ mm、齿根圆直径为 $\Phi 64.5$ mm。由于本文采用了闭式冷锻成形方法, 为了减小齿轮的锻造载荷和节省锻粗时间, 采用径向分流法, 即在坯料的非齿形主要轮廓位置设置卸压孔, 在坯料圆心处开设了溢流松口, 并使其外径 D 等于被锻齿轮的根径。在该模型中, 根据材料在金属塑性变形中的体积不变规律, 将坯料的卸压孔直径 d_0 分别设计为 $\Phi 0$ 、 $\Phi 5$ 、 $\Phi 10$ 、 $\Phi 15$ 和 $\Phi 20$ mm, 相应的坯料高度 h_0 分别设计为 12.2025、12.2736、12.5030、12.9002 和 13.5005 mm, 如图 2 所示。

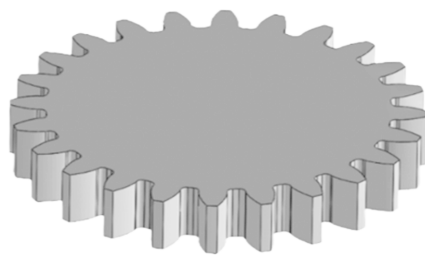


图 1 直齿轮三维模型

Fig. 1 3D model of spur gear

擦, 摩擦因数设定为 0.14, 模拟步长选取最小网格边长的 $1/3$ ^[11], 将压缩量除以步长得到最终的模拟步数, 这一过程为齿轮锻造成形阶段。以上述锻造过程 (第 1 步) 模拟的最后一步为分析对象, 将锻造过程模拟中得到的成形力通过插值法^[12]应用于模具上, 研究模具弹性变形, 建立了模具应力分析模型。将锻造阶段的成形力通过插值法映射到模具上需要定义合理的容差值^[13], 使坯料的载荷精确地映射

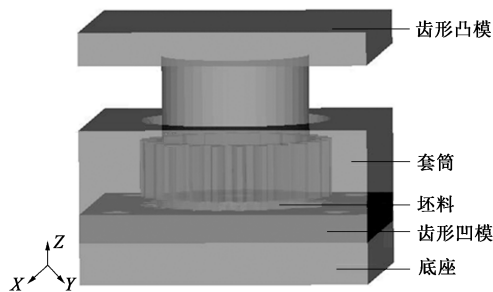
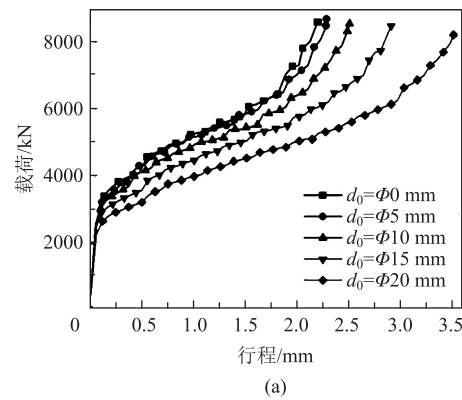


图 3 直齿轮锻造有限元模型
Fig. 3 Finite element model of spur gear forging

到模具上，提高分析结果的精确度。在该阶段将模具定义为弹性体，材料设置为 H13 钢，网格划分为 60000，速度边界条件设置为凸模上端面 Z 向固定、齿模下底面 Z 向固定，防止外力作用使模具飞起，将设定的模拟信息生成数据库，进行数值模拟分析。

表 1 坯料与模具的材料属性
Table 1 Material properties of billets and molds

材料	弹性模量/ $(\times 10^5 \text{ MPa})$	泊松比	屈服强度/MPa
20CrMnTiH 钢	2.07	0.25	835
H13 钢	2.10	0.30	1750



2 数值模拟结果分析

2.1 不同卸压孔直径下的成形载荷

图 4 为不同卸压孔直径下的载荷-行程曲线及最大成形载荷曲线。从图 4a 可以看出，成形载荷随着行程的增大逐渐增大，随着卸压孔直径 d_0 的增大其变化趋势较为平缓。根据锻件成形载荷和金属流动特征将闭式锻造过程分为 3 个阶段。第 1 阶段，成形初期，载荷急剧上升，因为坯料外径等于齿根圆直径，模具与坯料直接接触，立即产生剧烈的金属变形，镦粗开始；第 2 阶段，载荷逐渐平缓上升且该阶段持续时间较长，此阶段伴随金属径向和轴向的流动，坯料高度降低，金属开始流向齿腔；第 3 阶段，载荷突然上升，幅度较大，这是因为：在成形最后，大部分金属已流入齿腔，剩下的流动面少，并且该阶段齿轮最终成形需克服三向静水压，需要极大的成形力。由图 4b 可知，随着 d_0 的增大，最大成形载荷先增大后减小，在卸压孔直径为 $\Phi 0$ 、 $\Phi 5$ 、 $\Phi 10$ 、 $\Phi 15$ 和 $\Phi 20$ mm 时，最大成形载荷分别为 8589、8689、8551、8484 和 8217 kN。

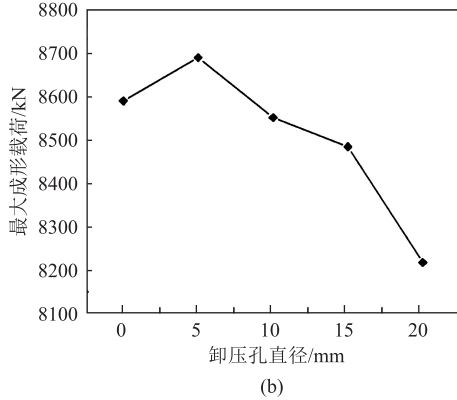


图 4 不同卸压孔直径下的载荷-行程曲线 (a) 和最大成形载荷曲线 (b)

Fig. 4 Load-stroke curves (a) and maximum forming load curve (b) under different diameters of pressure relief hole

2.2 不同卸压孔直径下的模具应力分布

图 5 为不同 d_0 下的齿模等效应力分布及最大等效应力变化情况。从图 5a~图 5e 中可以看出，不同坯料卸压孔直径下，其等效应力的分布规律基本一致，即齿模等效应力沿齿宽方向分布不同，周向等效应力均匀，最大应力主要位于型腔齿顶处。由图 5f 可知，最大等效应力随 d_0 的增大先增大后减小，这与锻件锻造载荷的变化相对应。

2.3 不同卸压孔直径下的模具弹性变形特征

根据模具等效应力分布结果，在不同卸压孔直

径下，齿模的等效应力沿齿宽方向分布不同，为了详细研究齿模的整个变形情况，将齿模分为了等值的上、中、下 3 个轮廓平面。为了减少分析的工作量且考虑到齿模的对称性，仅在每个轮廓平面取一个齿即可以分析整个轮廓平面的变形情况。沿齿根处设置第 1 个观察点延续到下一个齿根处结尾，在一条齿廓曲线上设定 18 个观察点，以观察变形的位移量。图 6 为对模具上、中、下轮廓平面设置的追踪点示意图。

图 7 为齿模上、中、下 3 个轮廓平面的弹性变

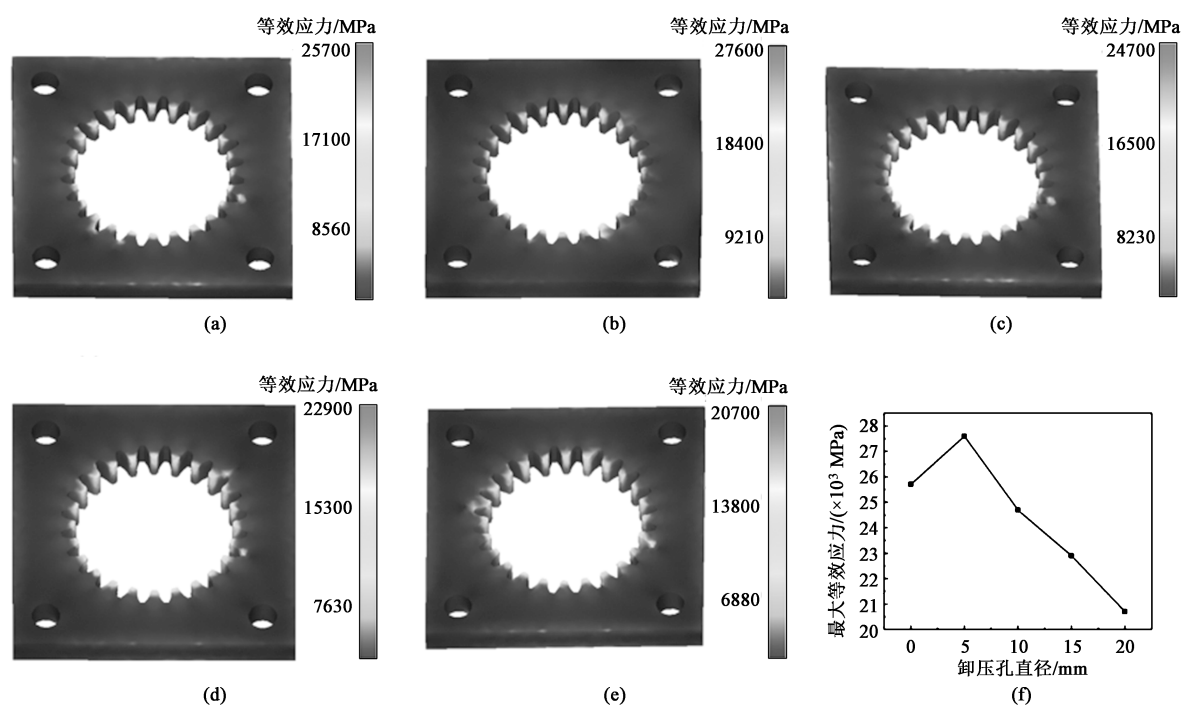


图 5 不同 d_0 下模具等效应力分布及最大等效应力的变化

(a) $d_0 = \Phi 0$ mm (b) $d_0 = \Phi 5$ mm (c) $d_0 = \Phi 10$ mm (d) $d_0 = \Phi 15$ mm (e) $d_0 = \Phi 20$ mm (f) 最大等效应力曲线

Fig. 5 Equivalent stress distributions and changes of maximum equivalent stress for mold under different d_0

(a) $d_0 = \Phi 0$ mm (b) $d_0 = \Phi 5$ mm (c) $d_0 = \Phi 10$ mm (d) $d_0 = \Phi 15$ mm (e) $d_0 = \Phi 20$ mm (f) Curve of maximum equivalent stress

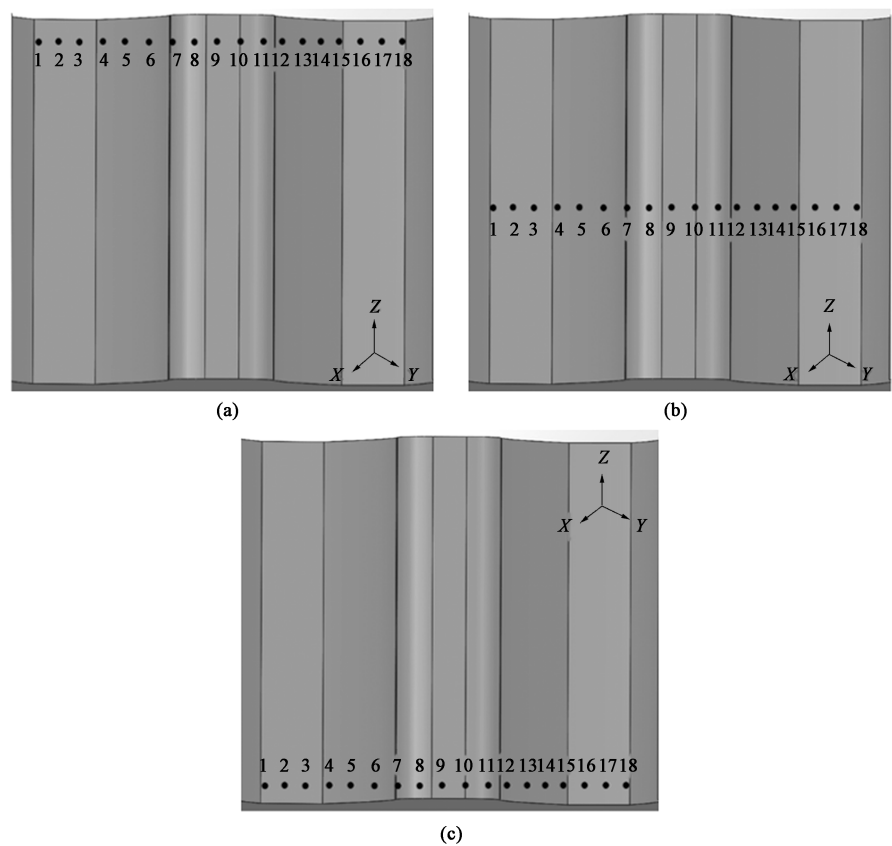
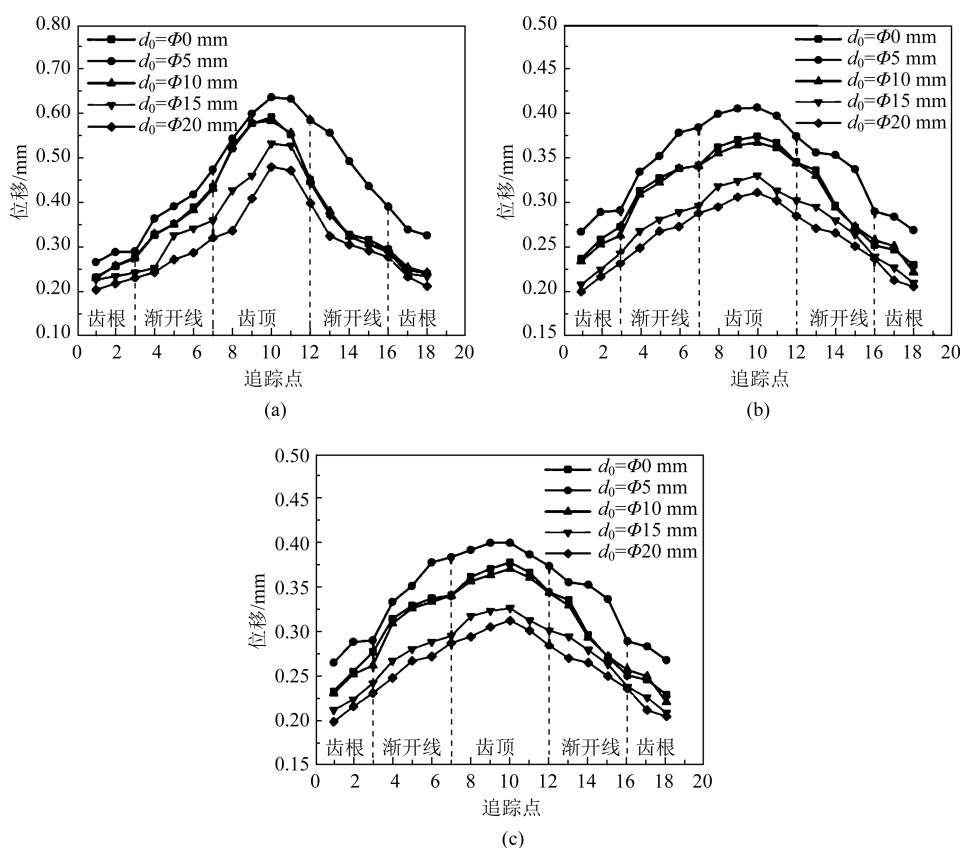


图 6 模具上 (a)、中 (b)、下 (c) 轮廓平面的追踪点示意图

Fig. 6 Schematic diagrams of tracking points on upper (a), middle (b) and lower (c) profile planes for mold

图 7 模具上 (a)、中 (b)、下 (c) 轮廓平面在不同 d_0 下的弹性变形位移曲线Fig. 7 Elastic deformation displacement curves of upper (a), middle (b) and lower (c) profile planes for mold under different d_0

形位移图。从图 7 中可以看出, 不同 d_0 下, 中间轮廓平面和下轮廓平面的弹性变化规律基本相同, 而上轮廓平面的特征与其他两个轮廓平面略有不同, 齿模的 3 个轮廓平面的弹性变形量由齿根到渐开线再到齿顶呈逐渐上升趋势, 在齿顶处达到峰值, 且在不同 d_0 下的 3 个轮廓平面齿根处的变形量基本一致, 其变形量在 0.2~0.3 mm 之间。而位移曲线随着 d_0 的增大先增大后减小, 由图 7a 可以看出, 上轮廓平面齿根到齿顶的弹性变形曲线增势陡峭, 且 d_0 从小到大变化时在齿顶处的峰值分别为 0.591、0.640、0.587、0.533 和 0.486 mm。从图 7b 和图 7c 可知, 在中间轮廓平面和下轮廓平面的弹性变形曲线增势比较平缓, 且变化的幅度基本一致。中间轮廓平面在 d_0 从小到大变化时齿顶的峰值分别为 0.374、0.406、0.367、0.33 和 0.311 mm; 下轮廓平面在 d_0 从小到大变化时齿顶的峰值分别为 0.378、0.406、0.371、0.327 和 0.313 mm。

在 3 个轮廓平面中位移曲线随 d_0 增大呈现出先增大后减小的趋势, 且位移曲线峰值的最大值和最小值分别为 $d_0 = \Phi 5$ mm 和 $d_0 = \Phi 20$ mm 时, 这与载

荷与模具等效应力的最大值和最小值分别出现在 $d_0 = \Phi 5$ mm 与 $d_0 = \Phi 20$ mm 的结果相吻合。而对于齿模弹性变形量从齿根到齿顶逐渐增大, 峰值位于齿顶处, 这是因为: 齿轮在成形过程中, 坯料在凸模下压时先与齿模的齿顶接触, 逐渐形成锻件的齿根, 这一过程中齿模的齿顶与坯料始终紧密贴合, 受到的阻力最大, 而在凸模继续下压的行程中, 坯料逐渐填充齿模的齿根, 从而形成锻件的齿顶, 在这一阶段齿模的齿根受到坯料的阻力相对较小。在这 3 个轮廓平面中, 在同一 d_0 下, 上轮廓平面的齿顶弹性变形量峰值是最大的, 且变形量从齿根到齿顶的增势也是最陡峭的, 这是因为: 在成形后期, 金属主要填充上端角隅处, 加载区金属流动受阻, 阻力增大, 并结合成形结束阶段凸模下压至与锻件完全充满齿模, 此时成形力最大, 因此, 上端面的应力最大, 变形量也是最大的。

2.4 齿模轮廓曲线修正

由于锻造齿轮的形状和尺寸是由模具决定的, 为了提高锻造的精度, 应对齿模进行修正, 以补偿模具的弹性变形。对模具齿模齿形修正的方法主要

有反补偿法、基于修正法和变位系数修正法。反补偿法的优点在于针对模具型腔的每个点进行补偿,修形的精确度更高。根据文献[14]对斜齿轮模具修形的方法原理,做出相应的调整,运用到直齿轮模具的修形上。在模具应力分析模块中,使用点追踪工具提取齿形凹模的一个齿形的原始坐标,将修正量反向添加到原始坐标数据上,得到反补偿后的齿形数据。利用修形后的点集数据绘制其单个齿形轮廓曲线,再由曲线扫略出齿形曲面,最后经由阵列得到整个齿腔曲面,如图8所示,再经过拉伸获得补偿后的齿形凹模。

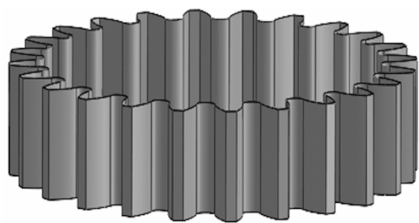
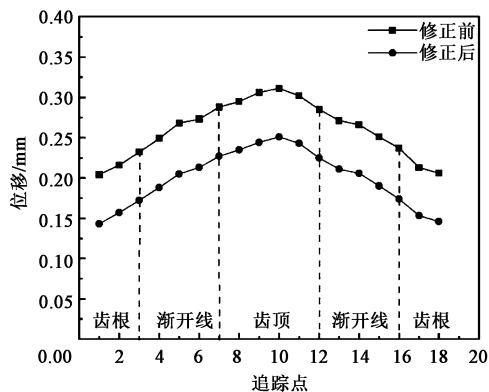


图8 齿腔曲面

Fig. 8 Surface of tooth cavity

利用反补偿法,对齿模的轮廓进行修正,将补偿修正的模具进行数值模拟分析,观察其锻件的弹性变形量。绘制了 $d_0 = \Phi 20$ mm时修正前后的锻件弹性变形位移量,如图9所示。由图9可知,修正后的锻件弹性变形量减小了0.06 mm,较修正前降低了28.6%。这表明通过减小模具弹性变形可以提高锻齿的尺寸精度。

图9 $d_0 = \Phi 20$ mm时锻件中间轮廓平面的弹性变形位移曲线Fig. 9 Elastic deformation displacement curves of middle profile plane for forgings under $d_0 = \Phi 20$ mm

3 实验结果与分析

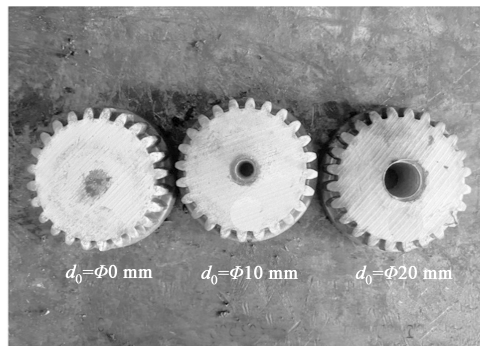
为了验证仿真结果的准确性,采用大吨位的四柱液压机,如图10所示,制定了 d_0 为 $\Phi 0$ 、 $\Phi 10$ 和

$\Phi 20$ mm的坯料做了成形实验。从实验中可以得到,随着 d_0 的增大,最大成形载荷在逐渐减小。将锻造后的齿轮(图11),使用三坐标测量仪测量锻件的单个齿形坐标,将得到的测量点空间坐标值,经分析计算后与标准渐开线比较, d_0 越大,锻件的弹性变形量越小,具体的测量比对结果如下: $d_0 = \Phi 0$ mm时的锻件弹性变形量为0.376 mm, $d_0 = \Phi 10$ mm时的弹性变形量为0.312 mm, $d_0 = \Phi 20$ mm时的弹性变形量为0.220 mm,与仿真结果基本吻合,表明了仿真的准确性。



图10 四柱液压机

Fig. 10 Four-column hydraulic press

图11 不同 d_0 的坯料成形图Fig. 11 Forming diagrams of billets with different d_0

4 结论

(1) 不同卸压孔直径对模具弹性变形有一定的影响:模具弹性变形量随着卸压孔直径的增大先增大后减小,其中 $d_0 = \Phi 20$ mm时,模具的弹性变形量最小。

(2) 直齿轮冷精锻模具弹性变形特征为:不同高度的模具齿腔平面弹性变形是不同的,高弹性变形发生在上轮廓平面;模具弹性变形周向分布不均匀,齿顶、齿根和渐开线部位变形不同,其特点为齿根到渐开线再到齿顶逐渐增大,峰值出现在齿顶。

(3) 对齿模轮廓曲线进行反补偿法修正可减小齿轮的弹性变形量, 提高齿轮的锻造精度。

(4) 随着 d_0 的增大, 最大成形载荷逐渐减小, 且锻件的弹性变形量也逐渐减小, 与仿真结果基本吻合, 验证了仿真的准确性。

参考文献:

- [1] Yilmaz N F, Eyercioglu O. An integrated computer-aided decision support system for die stresses and dimensional accuracy of precision forging dies [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009, 40 (9): 875-886.
- [2] Hu X L, Hai J T, Chen W M. Experimental study and numerical simulation of the pressure distribution on the die surface during upsetting [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 151 (1-3): 367-371.
- [3] Pepelnjak T, Milutinović M, Plančak M, et al. The influence of extrusion ratio on contact stresses and die elastic deformations in the case of cold backward extrusion [J]. Strojinski Vestnik-Journal of Mechanical Engineering, 2016, 62: 41-50.
- [4] Lu B, Ou H. Quantification of press elasticity in the forging of three-dimensional complex shapes [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2011, 226 (3): 466-477.
- [5] 刘利, 陈峥, 陈世建. 模具弹性变形对曲轴锻件尺寸精度的影响研究 [J]. 热加工工艺, 2013, 42 (1): 75-77.
Liu L, Chen Z, Chen S J. Study of effects of die elastic deformation on dimensional accuracy of crankshaft forgings [J]. Hot Working Technology, 2013, 42 (1): 75-77.
- [6] 吴昊, 李振红, 刘致远, 等. 温成形参数对螺旋锥齿轮弹性变形的影响 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (5): 123-130.
Wu H, Li Z H, Liu Z Y, et al. Effect of warm forming parameters on elastic deformation of spiral bevel gears [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (5): 123-130.
- [7] 李振东, 徐淑波, 任国成. 圆柱直齿轮分区局部成形机理分析 [J]. 热加工工艺, 2016, 45 (21): 144-147.
- Li Z D, Xu S B, Ren G C. Analysis on partitioning local forming mechanism of cylindrical spur gear [J]. Hot Working Technology, 2016, 45 (21): 144-147.
- [8] 许锋. 圆柱直齿轮冷精锻关键技术研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2011.
Xu F. Research on the Key Technology of Cold Precision Forging for Spur Gear [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2011.
- [9] 王士灿. 直齿轮精锻复合成形关键技术研究 [D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2020.
Wang S C. Research on the Key Technology of Precision Forging Compound Forming of Straight Gear [D]. Zhengzhou: North China University of Water Resources and Electric Power, 2020.
- [10] 胡建军. DEFORM-3D 塑性成形 CAE 应用教程 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2011.
Hu J J. DEFORM-3D Plastic Forming CAE Application Course [M]. Beijing: Peking University Press, 2011.
- [11] 徐伟, 万轶, 沙鑫美. 模具加载方式对传动用螺旋伞齿轮封闭式锻造工艺的影响 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (6): 75-80.
Xu W, Wan Y, Sha X M. Influence of mold loading mode on closed forging process for transmission spiral bevel gear [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (6): 75-80.
- [12] 谢彬, 沈力, 高飞, 等. 基于数值模拟的叶片模锻模具应力分析 [J]. 热加工工艺, 2016, 45 (5): 141-143, 147.
Xie B, Shen L, Gao F, et al. Die stress analysis of blade die forging based on numerical simulation [J]. Hot Working Technology, 2016, 45 (5): 141-143, 147.
- [13] 刘赣华, 张振铎, 王霞, 等. 从动螺旋锥齿轮双锥辊辗压成形模具应力分析 [J]. 机械设计与制造, 2017, (6): 221-224.
Liu G H, Zhang Z D, Wang X, et al. Cavity stress analysis of twin cone roll forging driven spiral bevel gear [J]. Mechanical Design & Manufacture, 2017, (6): 221-224.
- [14] 吕季营. 斜齿轮精密成形模具弹性行为分析与控制方法 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2018.
Lyu J Y. Analysis and Control Method of Elastic Deformation Behavior of Die during Helical Gear Precision Forming [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2018.

全国锻压标准化技术委员会组织制定的国家标准荣获“中国机械工业科学技术奖”

由全国锻压标准化技术委员会提出和组织制定的国家标准《GB/T 37679—2019 金属板料精冲挤压复合成形件 工艺规范》, 于 2023 年 10 月获得由中国机械工业联合会和中国机械工程学会联合颁发的“中国机械工业科学技术奖”科技进步奖三等奖。该项标准的起草单位有武汉理工大学、中国机械总院集团北京机电研究所有限公司、武汉泛舟机械制造有限公司、武汉中航精冲技术有限公司、黄石华力锻压机床有限公司、无锡鹏德汽车配件有限公司、苏州东风精冲工程有限公司、上海交通大学。

该标准的技术内容达到国际先进水平, 所采用的精冲挤压复合成形工艺是一种节能、节材、高效、绿色、环保的先进板料精密成形工艺。该标准明确了精冲挤压复合成形材料、工序、模具、精冲挤压工艺参数和装备等, 可以为广大冲压企业提供精冲挤压复合成形工艺设计指导, 引导企业积极采用精冲挤压复合成形技术生产高精度三维复杂零件, 促进了精冲行业的技术进步与产业升级, 推动了我国复合精冲成形工艺的高质量发展。

全国锻压标准化技术委员会