

Logix 齿轮的加工方法探讨*

□李荣刚 □李剑峰 冯显英

摘要 分析范成法加工 Logix 齿轮的特点,提出一种更为经济的加工方法——“包络-旋切”两步加工法,并完成了两次加工过程中刀具尺寸的选择计算。

关键词: 齿轮 加工 两步加工法

中图分类号: TH132 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671—3133(2004)01—0011—03

Discussion about forming method of Logix gear

□Li Ronggang □Li Jianfeng, Feng Xianying

Abstract Manufacturing of Logix gear by using generation method has been analyzed. A more economical cutting method—"enveloping-rotation tangency two-step forming method" has been carried out. Calculation of cutter size in "two-step forming method" has been done

Key words: Logix gear Forming Two-step forming method

一、前言

20 世纪 80 年代后期,为了满足对齿轮高速重载和小型化的要求,日本学者小守勉用新的齿形理论,提出了名为 Logix 齿轮的新型齿轮,其齿形由许多微段渐开线连接而成,采用对称的凸、凹啮合形式,且微段渐开线的结合点在啮合时的相对曲率为零。和渐开线齿轮相比,Logix 齿轮的承载能力和耐磨性显著提高。Logix 齿轮的另一突出优点是可以设计成少齿数齿轮,易于实现产品的小型化,紧凑化。Logix 齿轮作为一种新型齿轮,从理论到实践都还有许多未知的领域有待于进一步的研究。而实现这种齿轮的加工成形则是将该齿形推向实际应用的关键所在。

二、Logix 齿轮与渐开线齿轮的区别

标准渐开线齿条齿廓是直线,而标准 Logix 齿条齿廓是由许多微段渐开线连接而成。图 1 所示为标准 Logix 齿条的齿形,各微段渐开线连结平滑,斜线表示微段渐开线结合点的曲率半径,齿形的曲率中心都在节线上,齿形在节线以上为凸,节线以下为凹,这样的齿条加工出的齿轮保证了凸、凹的啮合形式,且有很多相对曲率为零的点($N-P$ 点)。对渐开线齿轮和 Logix 齿轮分析,其根本区别在于:渐开线齿轮齿廓曲线是单一曲线,齿轮啮合是凸、凸啮合;而 Logix 齿轮齿廓曲线是由多段渐开线连接而成,且齿轮啮合是凸、凹啮合。Logix 齿条

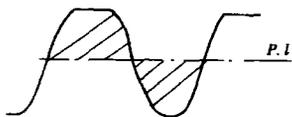


图 1 标准 Logix 齿条的齿形

除具有渐开线齿条所具有的基本参数以外,还有一些自己特有的参数,包括初始压力角 α_0 、相对压力角 δ 和初始基圆半径 G_0 等。

三、范成法加工 Logix 齿轮

只有工件与刀具的齿形符合齿形啮合基本定律时,才能用范成法加工,即满足以下条件:1)两个齿形在接触点处应有公切线和公法线;2)公法线应通过啮合节点;3)齿形上所有各点的法线应与节圆(瞬心线)相割,并且这些割点应当按次序排列。由 Logix 齿轮齿形的几何形成过程可知,该齿轮满足以上三个条件,可以用范成法加工。由齿形法线法可以求得 Logix 齿轮的共轭齿形(即刀具的法向齿形),刀具的法向齿形与 Logix 齿条的齿形相同。

若用滚齿机滚切 Logix 齿轮,则滚刀的形状与 Logix 齿条的齿形相同,被滚切出的齿轮齿廓满足 Logix 齿廓曲线的基本要求。由 Logix 齿条齿形计算公式可知,某一模数的 Logix 齿条的齿形与齿轮的齿数无关,即同一模数、不同齿数的 Logix 齿轮所对应的齿条齿形相同。因此,对于相同模数、不同齿数的 Logix 齿轮可以使用同一把刀具加工。此时,滚刀的法向齿形与该模数的 Logix 齿条的齿形相同。

使用滚齿机滚切 Logix 齿轮,其优点是设备简单,生产效率较高,而缺点是需要制造专用的滚刀(滚刀的法向齿形与 Logix 齿条的齿形相同)。对于 Logix 齿轮加工,这种加工方法将导致大部分资金和精力都用在制作刀具上,致使成本增高。为使该齿轮从实验室研究走向实际生产应用,应充分利用计算机数控技术,

* 国家自然科学基金资助项目(E59905018)

试验研究

研究效率高、成本低的 Logix 齿轮成形新方法。

四、“包络-旋切”法加工 Logix 齿轮

对于 Logix 齿轮,本文提出“包络-旋切”两步加工的方法。首先,在滚齿机上,用普通渐开线齿轮滚刀在齿坯上包络加工出渐开线齿形,该渐开线齿形齿廓不能破坏预定的 Logix 齿廓;而后,在数控机床上,用柱状铣刀沿齿廓曲线进行铣削,即采用旋切法加工出齿轮的齿形。使用两步加工法,第一次加工将去除齿坯上大多数的加工余量,从而减少总的加工时间,提高加工效率。第二次加工使用普通刀具成形 Logix 齿廓,避免了为加工这种复杂曲面齿轮而制造专门的刀具,降低了生产成本。为了得到所需要的齿形,两次加工过程中应合理选取所使用刀具的尺寸。

1. “包络”加工时刀具尺寸的选择

图 2 所示为标准渐开线齿轮的齿条刀具。建立如图 2 所示的坐标系,则渐开线齿条的坐标方程式为:

$$y_1' = k'x_1' \dots\dots\dots (1)$$

式中, $k' = \tan 70^\circ$, $x_1' \in (-h_a \cot 70^\circ, h_a \cot 70^\circ)$, h_a 为齿轮的齿顶高。

齿轮齿条传动,应满足齿轮节圆与齿条节线作纯滚动的要求。因此当已知渐开线齿条的齿形时,就可以通过坐标变换求出与之共轭的渐开线齿轮的齿廓方程。图 3 中,以齿条齿廓与节线的交点为原点,建立一和齿条固连的移动坐标系 $X_1O_1Y_1$,则在此坐标系中齿条的坐标方程可由式(1)表示。以节圆与节线的切点 P 为原点建立一个固定坐标系 XPY ,以齿轮转动中心为原点建立一与之固连的动坐标系 $X_2O_2Y_2$ 。在起始位置, O_1 与 P 重合, Y, Y_1, Y_2 重合。设给定的齿条移动一段距离 l' ,由图 3 可知, $l' = x_1' + y_1' \cot 20^\circ$,则齿轮转过 $\phi_2', \phi_2' = \text{arc cot } l'/r_2$ 。

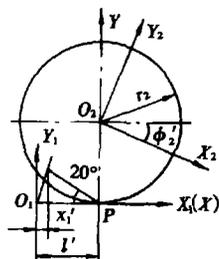
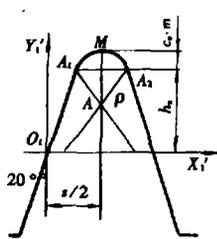


图 2 标准渐开线齿条刀具 图 3 渐开线齿轮的齿形

根据啮合原理,将齿条齿廓曲线在坐标系 $X_1O_1Y_1$ 中的点变换到 $X_2O_2Y_2$ 中,得渐开线齿轮齿廓方程:

$$\begin{cases} x_2' = (x_1' - l') \cos \phi_2' - (y_1' - r_2) \sin \phi_2' \\ y_2' = (x_1' - l') \sin \phi_2' + (y_1' - r_2) \cos \phi_2' \end{cases} \dots (2)$$

图 4 所示为标准渐开线齿轮在极坐标系中的齿

形。以基圆圆心为原点,以 OA 为起始极径建立如图 4 所示的极坐标系。设齿轮的模数为 m ,齿数为 z ,图中 K 点位于齿轮的分度圆上,则由渐开线的性质可得:

$$\theta_k = \text{inv} \alpha_k = \text{inv} 20^\circ, \alpha = \frac{s}{r_2} = \frac{\pi m / 2}{mz / 2} = \frac{\pi}{z}$$

弧 AB 长即基圆上的齿厚为:

$$AB = r_{oA}(2\theta_k + \alpha) = (\frac{mz}{2} - h_a \cdot m)(2\theta_k + \frac{\pi}{z}) \dots\dots (3)$$

图 5 所示为同一模数的渐开线齿轮和 Logix 齿轮的齿形比较。由图可知,对于渐开线齿形和 Logix 齿形,分度圆上的齿厚两者相同($s = \pi m / 2$)。在齿根部分,渐开线齿形在 Logix 齿形以内,而齿顶部分,渐开线齿形在 Logix 齿形以外。因此,如果用渐开线齿轮滚刀加工同一模数的 Logix 齿轮将会破坏 Logix 齿轮齿根部分的齿形。为了不破坏 Logix 齿轮的齿形,渐开线齿形至少应移到图中虚线所示的位置,由此可得到在两步加工法中第一次加工时所使用的渐开线齿轮滚刀的最小模数 m' 。

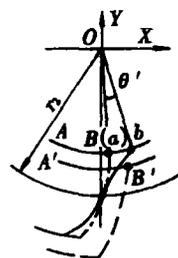
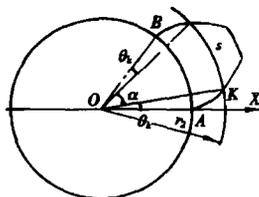


图 4 极坐标系中渐开线齿轮的齿形

图 5 滚刀最小模数 m' 的求取

图中 a 点为渐开线齿形上一点,其坐标为 (x_2', y_2') , b 点为 Logix 齿形上一点,其坐标为 (x_2, y_2) 。由此可得: $\overline{ab} = \sqrt{(x_2' - x_2)^2 + (y_2' - y_2)^2}$

$$\theta' = \arccos \frac{2(r_2 - h_a)^2 - (x_2' - x_2)^2 - (y_2' - y_2)^2}{2(r_2 - h_a)^2} \dots\dots (4)$$

式中, (x_2, y_2) 为 Logix 齿形上点的坐标, (x_2', y_2') 可由式(2)求得。

ab 弧的弧长为:

$$l_{ab} = (r_2 - h_a) \theta' = (\frac{mz}{2} - h_a \cdot m) \theta'$$

由式(3)可得原渐开线齿根上的齿厚为:

$$AB = (\frac{mz}{2} - h_a \cdot m)(2\theta_k + \frac{\pi}{z})$$

同理,改变后的渐开线齿轮在齿根上的齿厚为:

$$A'B' = (\frac{m'z}{2} - h_a \cdot m')(2\theta_k + \frac{\pi}{z})$$

为使渐开线齿形不破坏原有的 Logix 齿形,则:

$$A'B' = AB + 2l_{ab} = \left(\frac{mz}{2} - h_a^* m\right) \left(2\theta_k + \frac{\pi}{z}\right) + 2l_{ab}$$

将以上几式整理后得:

$$m' = \left(1 + \frac{2\theta'}{2\theta_k + \frac{\pi}{z}}\right) m \dots\dots\dots (5)$$

应用以上公式进行编程,可算出在两步加工中第一次加工所允许使用的渐开线齿轮滚刀的最小模数 m' ,而后根据规定的标准模数系列选取齿轮滚刀模数。

2. 旋切加工时刀具尺寸的选择

数控加工刀具的选择与普通加工是相同的,也是根据加工内容、工件材质和形状及与夹具的关系等方面决定刀具的种类和式样。数控加工是自动进行,更应注意选择切削性能均匀,可靠性高的刀具。

终加工使用柱状铣刀基于旋切法在数控机床上加工,应合理选择铣刀的尺寸,尤其是铣刀的半径,使该刀具在实际加工时不和齿轮的齿根过渡曲线发生干涉,即铣刀的半径小于 Logix 齿轮齿根过渡曲线上任一点的曲率半径。在此可以求出 Logix 齿轮齿根过渡曲线上任一点的曲率半径 ρ_g :

$$\rho_g = \frac{a_1}{\sin\alpha'} + r_p - \frac{r_2 a_1 \sin\alpha'}{a_1 + r \sin^2\alpha'} \dots\dots\dots (6)$$

式中, ρ_g 为齿轮齿根过渡曲线上任一点的曲率半径; a_1 为刀具齿顶圆角的圆心到中线的距离; α' 为刀具圆角与过渡曲线接触点的公法线和刀具节线之间的夹角(在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间); r_p 为刀具顶部圆角半径; r_2 为齿轮半径。

根据以上公式,利用 MATLAB 语言编制了相应的程序,可以计算出任意参数的 Logix 齿轮齿根过渡曲线上任一点的曲率半径,并求得其中的最小值,该最小

值即为所用铣刀半径的最大值,从而可得到对应某一模数的 Logix 齿轮加工允许选用的铣刀的最大直径,为选择刀具尺寸提供了依据。

五、结论

1. Logix 齿轮可以用范成法进行加工,刀具的法向齿形与 Logix 齿条的齿形相同。

2. “包络-旋切”两步加工方法的提出避免了为加工 Logix 齿轮而制造专门的刀具,降低了生产成本。

参 考 文 献

- 1 Komori T, Nagata S. A new gear profile of relative curvature being zero at contact points. Proc of Inter Conf on Gearing[D]. China, CMES[A], 1988(1)
- 2 Komori T, Ariga Y, Nagata S. A new gear profile having zero relative curvature at many contact points[J]. Trans of the ASME, 1990, 12(3)
- 3 袁哲俊,刘华明,唐宜胜. 齿轮刀具设计[M]. 北京:新时代出版社,1983
- 4 李荣刚,李剑峰,冯显英. Logix 齿轮的形成原理研究[J]. 山东轻工业学院学报,2002,16(1)
- 5 吴序堂. 齿轮啮合原理[M]. 北京:机械工业出版社,1982
- 6 吴继泽,王统. 齿根过渡曲线与齿根应力[M]. 北京:国防工业出版社,1989
- 7 李荣刚等. Logix 齿轮的齿根过渡曲线. 现代制造工程(原《机械工艺师》),2002(9)

作者简介:李荣刚,硕士,讲师,主要从事机械传动方面的研究。
李剑峰,博士,教授,博士生导师。
冯显英,博士,副教授。

作者通讯地址:山东轻工业学院轻化与环境工程学院(济南 250100)
山东大学机械工程学院(济南 250061)

收稿日期:20030626



本单元生产的内孔、外圆滚压工具

滚压加工是一种对机械零件表面进行光整和强化的工艺,它利用硬质合金滚轮对材料表面施加压力,使其表面产生塑性变形,以达到修正表面微观几何形状,提高光洁度的目的,可从车加工的Ra3.2~1.6提高到Ra0.8~0.4最高可达Ra0.1。同时,滚压过程的本身导致金属表面层金相组织的改变,形成了有利的残余应力分布,提高了零件的机械性能和使用寿命。本工具可以直接安装在车床刀架上,对车削后的工件在一次安装条件下,直接进行滚压加工,实现以滚代磨,对大型工件,其优越性尤为显著,与磨削、珩磨等工艺比较,滚压加工能提高表面硬度,广泛适用于机械加工、液压、轧辊等行业。另外,我们还有定尺寸的内孔滚压工具,最小尺寸调整量为0.0025mm,公差可控制在0.01mm,尤其适合在液压行业使用。我单位从70年代末就开始生产该产品,质量保证、品种齐全,欢迎选购。

单位:江苏靖江城北滚压技术服务部 地址:江苏靖江城北齐心
电话:0523-4832767 传真:0523-4858767 邮编:214500
e-mail:jwh@sina.com 联系人:蒋文宏