

斜齿轮的 高精度化技术的建立 ——挑战 JIS 0 级



齿轮参数
模数 1.0
压力角 20°
倾斜角 (右) 20°
齿数 28 齿
齿宽 15mm
树脂材料:
"夺钢®" (DURACON®)
JW-03

达到了 JIS 0 级的斜齿轮

1 大显身手的树脂齿轮

在日常生活中，我们接触到的许多器具上都使用了通过注射成型制造的树脂齿轮，它们可以从摄像机、录音机、CD、DVD 播放机等的影象及音响设备，到复印机、打印机、钟表，一直到玩具部件。事实上，树脂齿轮制品在很广泛的领域里发挥着重要的作用。根据某一调查的结果表明，这些树脂齿轮的近 70% 都使用了具有极为优良的机械物性和滑动性能的 POM 树脂为材料。

2 树脂齿轮的特点

与金属齿轮相比较，树脂齿轮可以通过注射成型实现量产化，它有以下一些特点：

- 有自润滑性，在无润滑状态下也可使用
- 振动吸收性良好，噪音也小
- 耐腐蚀、耐化学药品性优良
- 质地轻便
- 由于具有好的生产性，所以价格便宜，适合大量生产

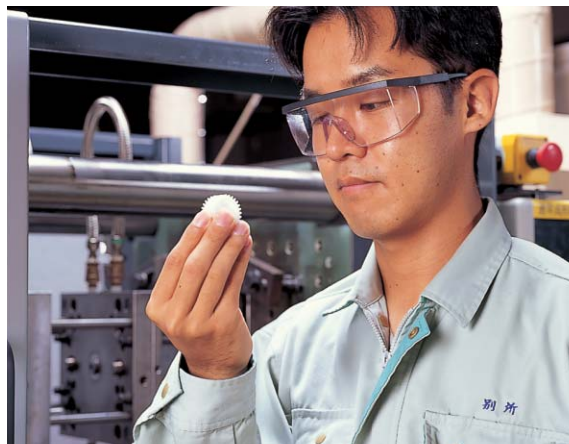
齿轮能够最大限度地发挥 POM 树脂的优点，但另一方面，由于它在成型时的收缩率相对较大，要想实现高精度齿轮的生产，从包括材料选择到模具设计、成型方法在内，都要求有高度的技术支持。特别是近年来，由于各种制品都要求高度

功能化，现实中对齿轮的精度要求也日趋迫切。比如，办公室里使用的激光打印机，通过实现齿轮的高精度化，不但可以使打印出来的文字变得更加漂亮，对于彩色打印机，更是具有防止色彩偏移的效果。因此，以终端用户为中心，部品厂家及模具厂家都向我们的技术服务中心进行了众多的关于高精度化的技术咨询。

3 斜齿轮的 JIS 精度

斜齿轮的外周部的齿呈倾斜排列，由于它的啮合率高，因而具有高强度，低噪音以及在减小旋转误差方面都很具特点，因而其用途在逐渐地扩大。但是，普遍认为斜齿轮的高精度化比平齿齿轮要困难。因为对于斜齿轮，由于成型时的收缩，螺旋角会产生误差，所以与平齿轮相比，一般来说更难实现高的齿梗精度。此外，当从模具中取出成型品时，对于斜齿轮的情形，由于必须一边旋转成型品，一边进行顶出操作，所以与平齿模具相比，相应的模具结构也变得更为复杂。

如果用代表齿轮精度的 JIS 等级来衡量，对于斜齿轮来说，要达到 3~5 级都是一件不容易的事，发生等外级也不是什么希奇的事。因为对于平齿轮的情形，可以很容易地采用投影仪等器具来观察它的形状精度及变形状态，但是，对于斜齿轮的情形，由于其齿顶是沿螺旋线扭曲分布的，要想确认它的形状精度是一件非常困难的事。还有就是，普遍认为对于斜齿轮，要想从它的变形状态来推测变形的原因，或者要想找出有效的解决变形的的方法都是一件不容易的事。要实现斜齿轮的高精度化，首先必须做的事就是建立一套能够正确把握变形倾向的评价方法。



慎重地处理成型品

4 向高精度化迈进

我们的技术服务中心于1995年引进了JIS齿轮精度试验机(株式会社东京 TechnicalTTi-300E),正式开始了改善斜齿轮精度的研究。与此同时,制作了用于实验的评价模具,进行了树脂材料的种类及成型条件对成型制品的尺寸精度的影响方面的考察。在此过程中,以积累的成型收缩率及扭曲角的实际测试数据为基础,开发出了辅助模具设计的软件“扭曲灵,NejireKun”。

可以称为本公司的诀窍大集成的“扭曲灵”对于在开始开启模具时的图面设计等的时候,需要预先估算进去的尺寸余量的计算起到了很好的作用。但是,对于斜齿轮的情形,齿梗的S字变形却不能通过简单的模具的预估量来进行补正,用“扭曲灵”未能大幅度地提高制品精度的JIS等级。后来,仔细地考察齿轮的圆筒度,详细地评价齿顶与齿根的厚度变化及倾斜的状况,同时也继续努力提高尺寸精度的评价技术本身的水平,结果发现,位于圆筒中央部的腹板的部分发生凹变,终于搞清楚了所谓的“鼓状变形和不均匀的收缩率分布”是导致S字变形的原因这一事实。为了解决这一问题,首先考虑了通过进行薄壁化,减小收缩量,以及在合模线部位实施注射压缩的方法。但是,这些方法并没有从根本上改变“鼓状变形和不均匀的收缩率分布”的状况,这使得向高精度化的迈进暂时受到了挫折。后来有一个时候突然发现了可以通过只对成型品的某一部分进行压缩,也就是所谓的局部加压,能够大幅度地改善S字变形的可能性。

5 JIS 0级项目组的活动

从2003年开始设立了2年计划的项目组。该项目的目标就是从从根本上改善“鼓状变形和不均匀的收缩率分布”,实现斜齿轮的高精度化。项目组成员首先发现,对腹板部分的局部加压可以改善鼓状变形,从而消除S字变形,大幅度地改善齿梗精度。而且还发现,根据压缩的时间不同,倾斜角误差和齿梗形状误差都会发生变化,因而,进一步明白了需要逐点压缩的道理。也由此使得对因为不能单靠模具来完全校正,以致成了高精度化的最大障碍的S字变形问题的解决有了希望。此外,在设计模具时的很重要的一点就是,对模具的轴向精度也加以了改善,在考虑局部设计加压用的套管同时,也考虑了能够有重复性的保证轴向精度的模具结构设计。因此,采用包容了以前的知识积累的“扭曲灵”软件,设计制造了对成型收缩率及倾斜角、压力角都进行补正的模腔,不过这时又发生了重大的问题,可能是因为流痕原因引起的微小的表面粗糙化,就是这样的表面粗糙化使得齿形误差变得很大。象这样大小的斜齿轮的情形,JIS 0级的齿形误差仅仅只有 $3\mu\text{m}$,稍微有点表面粗糙化都将严重降低它的JIS精度等级。到这一步为止,主要还是以注射成型法和模具设计法为中心进行的高精度化探索,下面就将是职业巧匠的用武之时了,材料方面采用流动性极好而且结晶速度慢,容易再现模具表面形态的“夺钢®”(DURACON®) JW-03树脂,再选择通过仔细慎重地考究过的注射速度,实行多步控制,实现了对流痕的低减。也就是说,通过注射成型法、模具设计法以及树脂材料的优化,并在这三

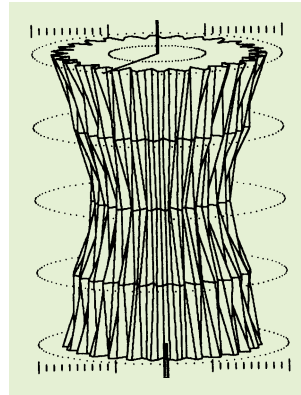


图1 没有实行局部加压时的圆筒精度

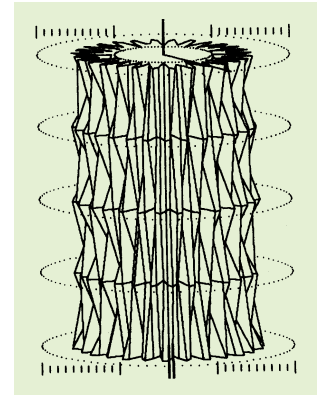


图2 采用局部加压消除鼓状变形后的圆筒精度

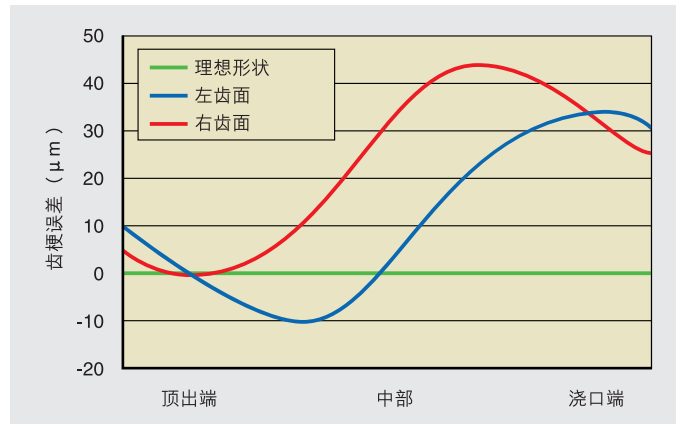


图3 一般的斜齿轮的齿梗状态

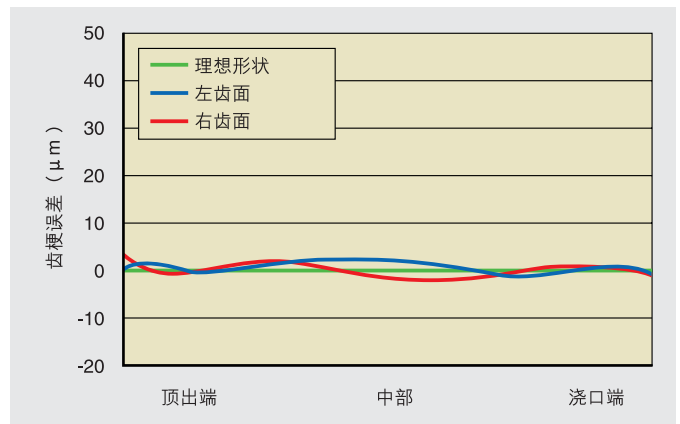
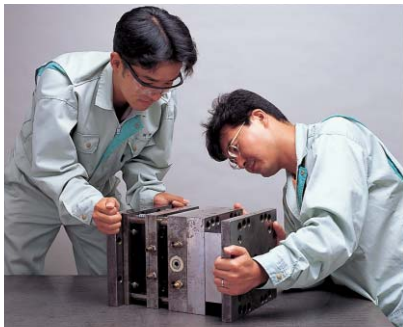


图4 高精度斜齿轮的齿梗状态

个因素中加上能工巧匠的智慧,终于实现了JIS 0级(JIS B1702 1976)这样的前所未有的高精度斜齿轮。



一边确认中心轴
一边调节模具



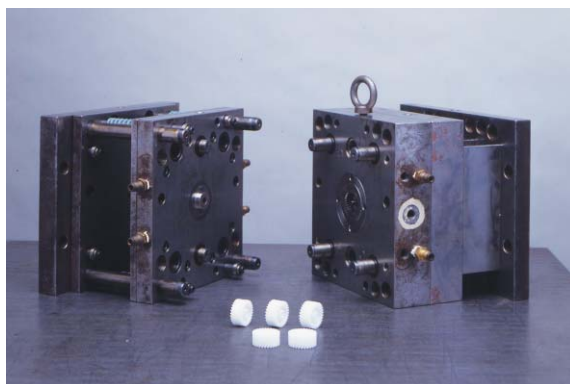
压缩时间的掌握是
重要的成型作业



成型品在边旋转
边被顶出

6 支撑高精度化的评价技术的建立

综上所述，要实现 JIS 0 级，对注射成型法、模具设计法以及树脂材料的全部的因素都必须进行重新的考察。但是，支撑这些高度技术要素的是评价齿轮的尺寸精度的高水平测量技术。要对注射成型法、模具设计法和树脂材料全部都进行优化，定量评价因改变成型条件及设计余量而引起的尺寸变化是不可缺少的步骤。特别是为了改善“鼓状变形”，就必须正确把握圆筒形状状态。项目组成员通过在通用的真圆度测试机上安装特殊的夹具的方法，建立了正确评价斜齿轮的圆筒度的技术，它成了寻找解决“鼓状变形”问题的答案的重要武器。也就是说，在当时要想在 μm 级的水平上改善尺寸精度，进一步建立高精度评价技术已是不可回避的事情了。也可以说，不仅限于齿轮，对所有的精密成型，评价技术的建立都是非常关键的。



具有采用套管进行局部加压结构的模具

7 今后的展望

今次实现的 JIS 0 级斜齿轮仅限于采用 1 模一件的试验评价模具进行成型得到的成型品。本技术能够适用的制品形状、大小都还是有限的，但是，通过本项目建立的评价技术本身却具有普遍的应用价值。今后，我们将灵活运用本评价技术，将树脂齿轮的整体精度改善事业进行下去。关于齿轮的尺寸精度对旋转传递精度的影响的研究，也准备继续下去。



评价齿轮精度用的真圆度测试机(上)
和 JIS 齿轮精度试验机