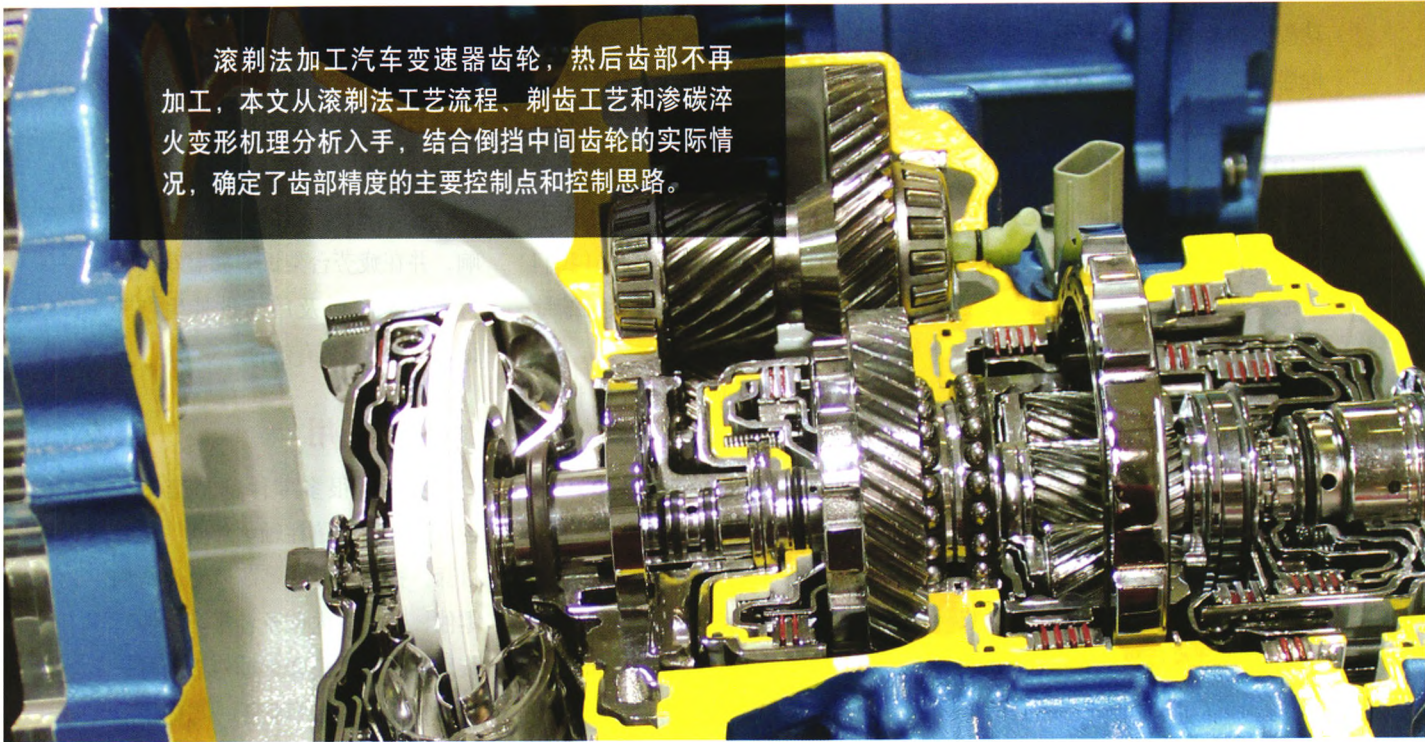


变速器齿轮齿部精度控制

□ 陕西法士特集团/王斌 郭龙



滚剃法加工齿轮是汽车变速器齿轮常用的一种工艺流程，主要工序为精车→滚齿→剃齿→热处理→热后磨内孔，滚齿为齿部粗加工，剃齿为齿部精加工。

问题描述及分析

采用滚剃法加工的汽车变速器齿轮，因热后齿部不再加工，滚剃齿加工至成品，存在着较多且复杂的影响成品齿轮齿部精度的环节和因素，该方式加工变速器齿轮的齿部精度控制，一直是汽车变速器齿轮生产的难点问题。其中剃齿是滚

剃法工艺流程中齿部机加工的最后工序，对成品的精度起着至关重要的作用。

以某变速器倒挡中间齿轮为具体研究对象，其设计精度要求八级精度（GB10095-2001），齿轮在成

品时，齿部精度主要为 F_r 、 F_p 、 f_{pt} 、 F_β 、 $f_{H\beta}$ 、 $f_{H\alpha}$ 项目超差（见表1）。

热前精车内孔尺寸至 $\phi 31.7^{+0.03}_0$ mm，滚齿加工后齿部精度见表2，剃齿加工后齿部精度见表3。因工件内孔较小，目前滚齿夹

表1 成品齿部精度情况统计

工艺要求 实测情况	F_α 0.022	F_β 0.024	$f_{H\beta}$ 0.017	F_p 0.053	f_{pt} 0.017	F_r 0.043
完全合格	13件	9件	3件	11件	20件	27件
超差0.005内	22件	12件	11件	14件	15件	10件
超差0.005~0.01	11件	23件	27件	26件	21件	17件
超差0.01~0.02	4件	6件	12件	9件	4件	6件
超差0.02~0.03	—	—	6件	—	—	—

具采用图1结构，剃齿夹具采用图2结构。

(1) 滚齿齿部精度主要为 F_r 、 F_p 、 f_{pt} 超差。滚齿时，其齿部精度主要与齿坯精度、夹具精度和机床精度有关，通过检测，机床精度、夹具精度都符合相关要求。但是该工件滚齿夹具为非涨紧式夹具，工件装上该夹具时，如图7，若安装偏心 O_{O1} ， O_1 为被加工齿轮的几何中心， O 为工件与滚齿设备回转中心， r_b 为基圆半径， r 为分度圆半径。

图3aC点为基圆与渐开线交点，B为分度圆与渐开线交点，E为齿顶圆与渐开线交点，滚齿加工

时工件绕O点转动，成型左齿面渐开线为C-B-E连线，加工完成后采用涨套式检验心轴检测，涨套式检验心轴定心精度较高，检测时工件绕 O_1 转动，图3b中，检测设备理论渐开线绝对位置为(C)-(B)-(E)连线，而 O_1 位置的渐开线依然为C-B-E连线，该实际连线与 O_1 位置的分度圆交点为 B' ， B' 与(B)间的距离，即为滚齿时安装偏心对单齿齿距偏差的影响。

(2) 剃齿是应用交叉轴螺旋齿轮啮合原理，利用剃刀齿面所带具有切削能力的小槽，通过径向进给加压并利用啮合齿面间相对滑移

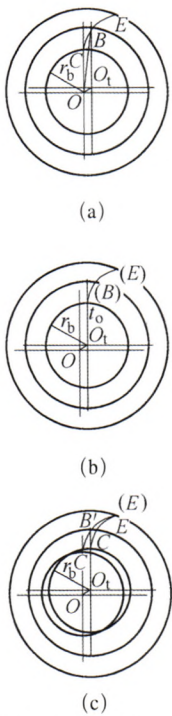


图3 安装偏心与齿距偏差 F_p 、 f_{pt} 的关系

产生的切削作用去除金属进行加工。剃齿加工图见图4，剃齿刀见图5，目前大多采用轴向剃齿。

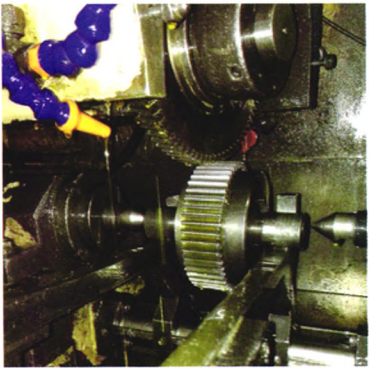


图4 剃齿加工图

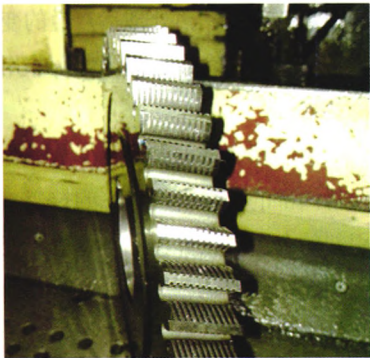


图5 剃齿刀

表2 滚齿齿部精度情况统计

工艺要求 实测情况	F_a 0.022	F_b 0.02	F_p 0.038	f_{pt} 0.012	F_r 0.035
完全合格	42件	54件	6件	12件	7件
超差0.005内	17件	2件	11件	15件	9件
超差0.005~0.01	1件	4件	13件	15件	17件
超差0.01~0.02	—	—	21件	18件	27件
超差0.02~0.03	—	—	9件	—	—

注：本次实验件共60件。

表3 剃齿齿部精度情况统计

工艺要求 实测情况	F_a 0.016	F_b 0.02	$f_{H\beta}$ 0.012	F_p 0.04	f_{pt} 0.012	F_r 0.03
完全合格	57件	58件	53件	29件	37件	27件
超差0.005内	2件	2件	6件	19件	15件	14件
超差0.005~0.01	1件		4件	7件	5件	17件
超差0.01~0.02	—	—	—	5件	3件	2件
超差0.02~0.03	—	—	—	—	—	—

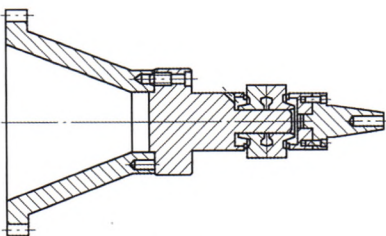


图1 滚齿夹具

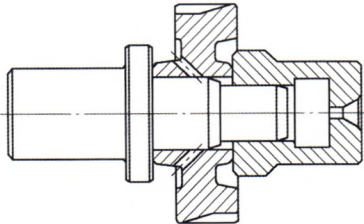


图2 剃齿夹具

轴向剃齿时，根据剃齿原理，给定剃刀的齿廓形状，只要剃削过程中剃刀与工件之间始终保持恒定的旋转速比关系，就可以加工出与剃刀齿廓对应的确定的工件齿廓形状。因此，只要适当修磨改变剃刀的齿廓形状，就可以对应改变工件的齿廓形状，从而完成剃齿对齿廓形状的修形。

剃齿的齿向修正，是利用剃齿原理中的交叉轴螺旋齿轮啮合原理，根据剃刀螺旋角和工件螺旋角，再加上适当的修正螺旋角，来计算剃刀安装角（即剃刀与工件的轴交角），就可以加工出带修正螺旋角的剃齿齿向。

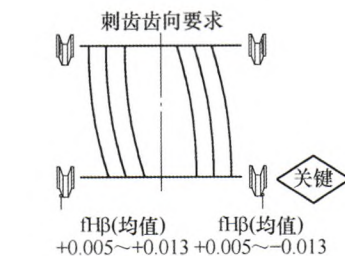
剃齿加工作为齿部机械加工的最后一道工序，为保证成品合格率，必须在此工序根据成品的齿形齿向情况在剃齿时予以反向修正。

该工件成品时齿部精度为 F_{β} 、 $f_{H\beta}$ 、 F_{α} 超差较多，主要为 $f_{H\beta}$ 右偏 $0.003\sim 0.013\text{mm}$ ， F_{α} 主要为 $f_{H\alpha}$ 超差 $0.007\sim 0.015\text{mm}$ 。

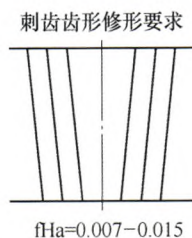
这里对其 $f_{H\beta}$ 左偏修正 $0.005\sim 0.013\text{mm}$ ，对其 $f_{H\alpha}$ 齿廓修形 $0.007\sim 0.015\text{mm}$ ，如图6所示。

(3) 该工件的热处理过程为渗碳淬火，齿轮经渗碳淬火后产生的变形可以分为两类：一种是由体积变化引起的变形；另一种是由应力引起的变形，热处理后产生的变形是体积变化和多种应力共同作用的结果。

由体积变化引起的变形是齿轮钢材内部的显微组织状态的转变，引起的各组织比容变化，纯体积变化引起的变形是有规律的。应力引起的变形比较复杂，剃齿径向进给加压加工形成的齿面切削应力，淬



(a) 剃齿齿向修形



(b) 剃齿齿形修正

图 6

火过程中因受热不均匀、冷却不均匀而产生的热应力等等，这种变形往往是多种应力综合作用的结果。

在滚剃工艺条件下，将变形量控制到绝对小非常困难。这是因为变形与多种因素有关，必须同时采取措施，提高齿形齿向的变形一致性。在具有规律性的前提下，在剃齿工序采取齿形齿向反变形修正，才能使热处理后齿形齿向达到合格标准。

所以应该以控制应力引起的变形为重点，同时减小变形量和变形散差。

该工件由于滚齿加工 F_r 、 F_{β} 、 f_{β} 超差较多，剃齿时，剃刀带动工件旋转，即剃刀为主动件，工件为从动件，剃刀与工件之间是一种自由旋转啮合状态，受制于滚齿齿部精度，剃齿过程中剃刀与工件的旋转速比不恒定，进而传递到剃刀切削齿面时压力忽大忽小，在齿面形成切削内应力，这种内应力也与齿形齿向修形的“仿形”现象有关。

所以，欲控制热处理变形，改善剃齿修形，应从滚齿时齿部精度入手。

(4) 热后磨内孔，主要是热处理完后以热后齿部 F_r 、 F_{β} 为加工基准，对其 F_r 、 F_{β} 进行二次修正。

工艺措施

(1) 精车时控制内孔公差为 $\phi 31.7^{+0.02}_2\text{mm}$ 。

(2) 滚齿时严格控制滚齿齿部 F_{β} 、 f_{β} 、 F_r 。

(3) 剃齿时严格控制剃齿齿向 $f_{H\beta}$ 修正及齿形 $f_{H\alpha}$ 修形，制定合适切削参数，减少齿面切削应力；另外，为保证剃齿加工时定位面与滚齿为同一定位面，现将剃齿夹具改为图7结构。

(4) 热处理时控制淬火过程的升温 and 降温速度。

(5) 热后磨内孔时，使用多滚轧节圆夹。

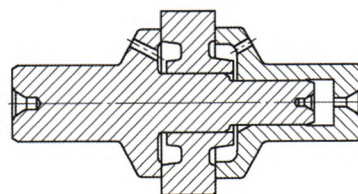


图 7

结语

精车时控制内孔公差对滚齿工序的齿部累积公差控制有较好的效果。剃齿工序的齿部齿形修形、齿向修正及其稳定性控制，对热处理工序渗碳淬火的变形控制非常有利。当然，后两者的齿部精度控制前提是滚齿的齿部精度控制较好，所以，齿轮的齿部精度控制，首先是控制车滚工序。AUTO1950