大模数大规格弧齿锥齿轮刮削及应用

■ 天津赛瑞机器设备有限公司 （300301） 冯新肖 赵 磊

摘要：为了提高淬硬弧齿锥齿轮的精度，并具有较好的经济性，可采用齿面刮削替代磨削的方法。硬齿面刮削是用硬质合金刀具从淬火后的齿面上切除较薄的一层金属，从而消除热处理变形。本文通过研究试验，实现了在国产数控铣齿机上刮削大规格弧齿锥齿轮，为大模数（m_n＞22）大直径齿轮的刮削及应用提供了资料。

1. 大规格弧齿锥齿轮刮削的产生背景

与直齿锥齿轮相比，弧齿锥齿轮具有传动重叠系数大、承载能力大、使用寿命长及可实现大传动比等优点。国内的矿山、冶金、水泥、石油及船舶工业对大模数大规格弧齿锥齿轮的需求越来越多，精度要求也越来越高。目前，国产磨齿机规格一般在ϕ800mm左右，加工范围超过ϕ1 200mm的磨齿机非常稀缺，而且价格昂贵。我公司在不具备大型磨齿设备的情况下，使用YH6016型数控铣齿机刮削弧齿锥齿轮，修正齿面变形，成本相对低，效率较高 。

2. 机床夹具和刀具的要求

（1）国产YH6016型铣齿机，属于数控系统直接控制的四轴数控机床，具有较高的静动态刚度，传动链短且柔性好，主驱动功率大，具有足够的抗振能力，可以承担硬齿面刮削的加工。

（2）被加工齿轮的精度，不仅取决于机床本身的精度，而且还与夹具和齿轮的安装有很大关系。通过检查调整，保证机床主轴及工件心轴的径向跳动和端面跳动≤0.015mm，垫圈两面平行度≤0.008mm。齿轮的安装要求平稳、牢固，对装夹后的安装精度进行校正，如果安装误差较大，不仅加工精度会受到破坏，而且还可能使刀具损坏。

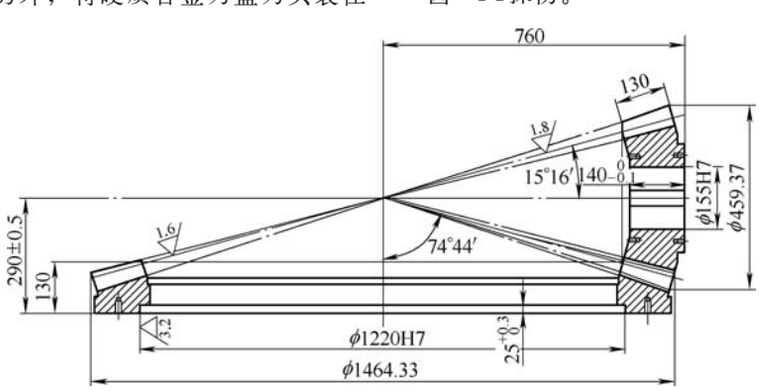
（3）硬齿面刮削原理与软切相同，均采用单刀号单面法加工。刮齿刀盘选用单面精铣刀盘，将软齿面刀齿换成对硬质合金弧铣刀，刀头的数量选用内切刀头6个、外切刀头6个。硬质合金刀片在抗弯强度、导热耐热性及耐磨性方面都具有良好性能，可以保证加工精度和使用寿命。另外，将硬质合金刀盘刀头装在机床主轴上后，检查调整其径向跳动，控制在0.015mm以内。

3. 试验用矿山弧齿锥齿轮参数分析

试验用矿山弧齿锥齿轮参数分析如附表所示，齿轮副如附图所示。

4. 确定制齿工艺

（1）大锥齿圈材质为42CrMo，属中碳合金钢，具有高强度和高韧性，采用单齿激光淬火，齿部硬度达到50～55HRC，淬硬层深2.0～2.5mm。大锥齿圈工艺路线为：锻造→粗加工→UT探伤→调质→车齿坯→钻攻→铣齿→激光淬火→抛丸→精车→刮齿→PT探伤。



齿轮副

试验用矿山弧齿锥齿轮参数分析表

齿制	格里森Gleason	
大端模数	m	26.5
小轮齿数	z_1	15
大轮齿数	z_2	55
压力角	α	20°
螺旋角	β	35°
轴交角	Σ	90°
外锥距/mm	L_e	755.36
全齿深/mm	H	50.032
齿面宽/mm	B	130
法向间隙/mm	j	1.1～1.3
刀盘直径/mm	D_o	40"（1 016）
螺旋旋向	大轮	左旋
	小轮	右旋
加工精度	GB11365 6级	

小锥齿轮材质为20CrNi2Mo，属低碳合金钢，渗碳后变形倾向小，硬化性能好，硬度达到58～62HRC，心部硬度32～40HRC。小锥齿轮工艺路线为：锻造→粗加工→UT探伤→正火→车齿坯→铣齿→渗碳→淬火→抛丸→内磨→刮齿→PT探伤→割键槽。

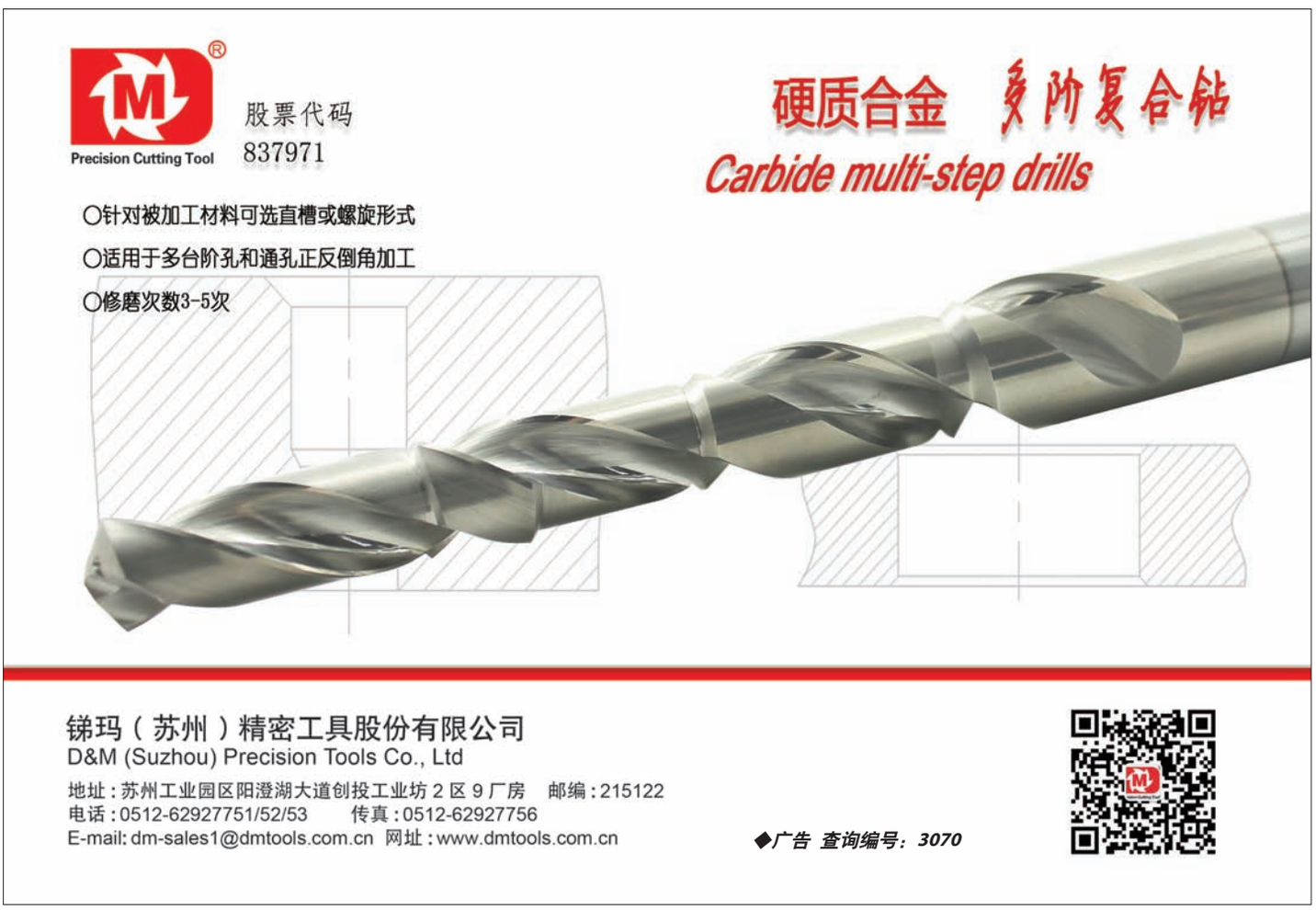
（2）切齿深度：齿轮软切时，实际全齿高应比名义全齿多（0.02m）mm，这样可以避免硬质合金刀齿的顶刃和侧刃同时参加工作，降低蹦刃和急剧圆角磨损的风险。加工时，铣齿实际切深50.55mm，大于标准齿高50.032mm，槽底两侧有一定的根切，保证热处理后合金刀齿只切削余量均匀的渐开线有限齿形部位。

（3）齿侧余量：一般刮齿单侧余量0.25mm。由于齿面硬度为50～55HRC和58～62HRC，淬硬层均较深，不存在因为留刮削余量过小或过大影响刃口磨损崩刃问题。根据加工经验，大锥齿轮单侧留刮削余量0.3～0.4mm最佳，小锥齿轮单侧留最佳刮削余量0.2～0.3mm，保证全齿都刮削得到，具有理性的啮合区域。

5. 刮削参数及方法

选择合理的切削速度、进给量及齿厚切削深度，提高刀具使用寿命是数控机床实现刮齿的关键。

（1）切削速度：刮削齿面时，切削速度的选择非常重要，它对刀具寿命、齿面表面粗糙度均有很大的影响。切削速度高时，会引起硬质合金刀片的疲劳



性破损；切削速度低时，硬质合金刀片上梳状裂纹随之增加，并且前后面上的裂纹很快相交于切削刃，而形成热振崩刀。硬刮速度略低于软切速度，根据工件较大、硬度较高等特点,刀盘直径为40in的刮刀切削速度v_s可在30～60m/min范围选取，经试验分析，该参数大齿圈v_s=30m/min、小锥齿轮v_s=40m/min时效果最佳。

（2）进给量：由于硬质合金刀具采用负前角，吃刀抗力及走刀抗力较大，但当采用高速小进给量时，加剧了对刀片的磨损，进给量的选取要适中。采用单面刮削时，进给速度不能快，根据模数26.5、齿宽130mm，选取为3min/齿，尽量减小吃刀抗力和走刀抗力对工件引起的冲击振动。

（3）刮削方法：先对大齿轮进行齿面刮削，再对小齿轮进行刮削修正加工。刮削对刀时，一定要严格控制进给量，采用转动分配器进刀，每次切去0.05mm左右的精加工余量，分三次或更多次进刀，前几次进刀切去热后的不规则变形，最后一刀切削能获得较高的精度。刮削大轮时，单面内、外精切刀盘分别加工，大轮的凹面与凸面分别加工，根据热处理后轮齿的变形情况，适当调整偏心角和水平轮位，沿着齿面先将一个面刮出，然后用同样的办法将另一个面刮出。刮削小轮时，则根据已刮成的大轮情况，用单面内、外精切刀盘分别加工小轮的凸、凹面，同时对接触区长度及位置进行修正，得到满意的效果。试验证明，刮刀在加工中遇冷易变脆，因此刮齿时湿切效果较好，刀具磨损小，工件热变形小。

（4）大齿圈加工程序如下：

```
N10  R150=50.032        ；全齿高
N20  R151=17            ；跳跃齿数
N30  R152=55            ；齿数
N40  R105=267+2         ；实际安装距
N50  R106=207.3         ；心轴长度
N60  R114=-2.5          ；水平轮位修正值
N70  R108=71.56         ；根锥角（°）
N80  R109=0             ；垂直轮位
N90  R149=199.5-44.4    ；床位
N100  R110=80.964       ；偏心角
N110  R94=0             ；工件旋向：0左旋，1右旋
N120  R92=1             ；刀盘：0正转，1反转
N130  R112=30           ；刀盘旋转速度
N140  R7=1              ；刀盘安装基面（1或2）
N150  R95=140           ；刀盘高度
N160  R90=0             ；循环类型：0滚切，1试切
N170  R70=10            ；床鞍进给时间（s）
N180  R72=10            ；床鞍退出时间（s）
N190  R73=15            ；分度时间（s）
N200  R210=40           ；分度位置
N210  R159=5            ；床鞍到位停顿时间（s）
N220  R154=0            ；螺旋进给参数
N230  R153=1.03652      ；循环滚比
N240  R23=180           ；循环滚切时间（s）
N250  R29=86.68708      ；摇台角
N260  R30=20            ；循环滚切起始偏离角
N270  R31=15            ；循环滚切结束偏离角
N280  R91=0             ；0上滚，1下滚
N290  R158=50           ；床鞍补充进给速度
N300  R255=1            ；开始加工齿数
N310  R93=0             ；0加工，试切
N320  R42=100           ；水平刀位
N330  R43=100           ；垂直刀位
N340  R162=50           ；X轴加速度
N350  R163=50           ；Y轴加速度
N360  R165=50           ；Z轴加速度
N370  R202=1            ；加工工艺参数
```

小锥齿轮的加工需要改变对应参数，同时配接触区时调整相关参数即可实行，简便快捷。

6. 结语

数控铣齿机应用刮齿技术，以其低成本、短周期及高精度的特点，获得较高的啮合精度和良好的齿面表面粗糙度质量。大模数、大直径弧齿锥齿轮刮削为企业节省了采购设备成本，有其现实意义。

参考文献：

[1] 王先逵，孙进平. 弧齿锥齿轮硬齿面刮削过程的几何仿真[J]. 清华大学学报（自然科学版），1998（8）：9-11.

MW（收稿日期：20160701）