

重型机械制造、装配、工装设计 新技术新工艺与技术测量及相关 标准规范实用手册

◎ 主 编 郭 逊



重型机械制造、装配、工装 设计新技术新工艺与技术测量 及相关标准规范实用手册

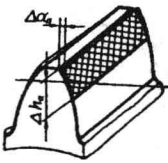
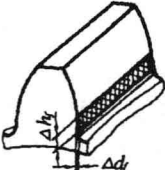
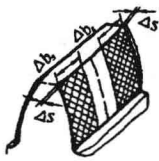
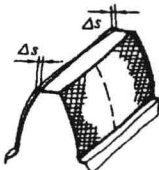
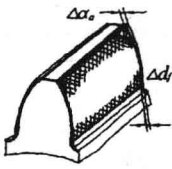
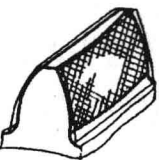
本资料是《重型机械制造、装配、工装设计新技术新工艺与技术测量及相关标准规范实用手册》电子版光盘的使用说明及对照资料

主编：郭 逸



黑龙江文化电子音像出版社

表 1-70 齿轮齿面修形的形式及方法

齿轮齿面修形的形式及简图			加工方法
齿廓修形	修缘	<p>在齿顶附近以齿廓形状进行有意识地修削,使齿廓形状偏离理论齿廓。</p> 	<p>①磨齿改变节圆展成法。②磨齿利用模板修整砂轮法。③利用修形滚刀法。④利用修形指形铣刀法。⑤利用软片砂轮手工修整法。</p>
	修根	<p>在齿根曲面附近对齿廓形状进行有意识地修前削,使齿廓形状偏离理论齿廓。</p> 	<p>①磨齿改变节圆展成法。②磨齿利用模板修整砂轮法。③利用修形滚刀法。.....</p>
齿向修形	齿端修薄	<p>对轮齿的一端或两端,在一段齿宽范围内,朝齿端方向齿厚进行逐渐减薄的修整。</p> 	<p>①磨齿利用靠模板法。②利用切齿刀具改变切齿径向进刀深度法。③改变螺旋角利用切齿刀具进行二次切削法。</p>
	齿向鼓形修形	<p>采用齿向修形(或采用齿廓修形)的方法使轮齿在齿面中部区域与相啮齿面接触。</p> 	<p>①磨齿利用靠模板法。②电跟踪仿形法。③利用机床液压仿形法。</p>
鼓形修形	齿廓鼓形修形	<p>采用齿向修形(或采用齿廓修形)的方法使轮齿在齿面中部区域与相啮合齿面接触。</p> 	<p>①利用修形切齿刀具法。②磨齿利用模板修整砂轮法。③磨齿利用改变展成节圆法。</p>
	齿向齿廓同时修形	<p>采用齿向修形(或采用齿廓修形)的方法使轮齿在齿面中部区域与相啮合齿面接触。</p> 	<p>见齿廓、齿向的鼓形修形方法。</p>

注:其它各种形式的修形按图样要求,可参考以上加工方法进行修形。

2 齿轮倒角 齿轮倒角是指齿轮锐角边倒棱和去毛刺,即齿端倒棱(齿顶、齿底和两侧齿廓)及沿齿长方向的齿顶倒棱(见图 1-38 所示)。倒角要均匀,倒棱后用砂布打光。这对于延长使用寿命和降低噪音是有益的,不可忽视。

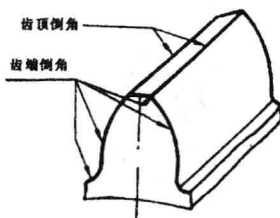


图 1-38

(1)如果在图样或其它工艺文件中未作规定和要求,要按表 1-71 要求对齿顶、齿端进行倒角。一般在工艺文件的最后一道钳工工序中进行。

(2)对修形齿轮的齿倒角,除修形部位去毛刺外,其余按表 1-71 规定适当倒角。

(3)对于淬火齿轮,淬火后齿面还要再加工时,淬火前的齿轮倒角值应按表 1-71 的倒角值再增加单面齿厚留量。淬火加工后再修倒均匀,并用砂布打光,一般在工艺文件的最后一道钳工工序中进行。

表 1-71 齿轮倒角值

mm

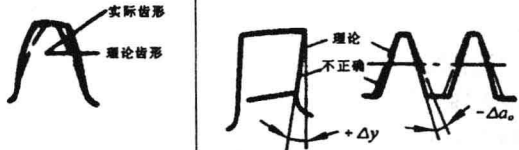
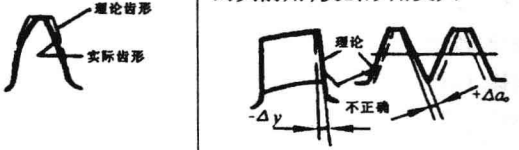
模数	部 位	齿顶倒角	齿端倒角
$m \leq 10$		$0.1m \times 45^\circ$	$0.1m \times 45^\circ$
$m > 10$		$1 \sim 1.5 \times 45^\circ$	$1 \sim 1.5 \times 45^\circ$



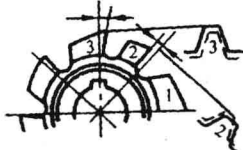



十四、滚齿误差

滚齿误差产生原因和主要计算式及消除方法见表 1-72 和表 1-73。





表 1-72 滚齿误差产生原因及消除方法



滚齿误差	产生原因	消除方法
齿形误差	1. 齿坯几何偏心和安装偏心	提高齿坯基准面精度;提高夹具定位基准面精度;提高调整水平
	2. 用顶尖装夹定位时,顶尖与机床中心偏心	更换顶尖或重新装调顶尖
公法线长度变动量超差	1. 机床分度蜗轮副制造及安装误差造成运动偏心	提高分度蜗轮副的制造精度,消除分度蜗杆的装配误差

滚齿误差	产生原因	消除方法
公法线长度变动量超差	2. 机床工作台定心锥形导轨副的间隙过大造成工作台运动中心线不稳定	提高工作台锥形导轨副的配合精度
	3. 滚刀主轴系统窜动过大或平面轴承咬坏	提高轴向精度,更换咬坏的平面轴承
周节超差	1. 滚刀的径向和轴向跳动	调整滚刀的安装精度
	2. 分度蜗杆和分度蜗轮齿距误差	修复或更换分度蜗轮副
	3. 齿坯的安装偏心	提高调整水平,消除齿坯安装误差
基节误差	1. 滚刀的轴向齿距误差,齿形误差及前刀面非径向性和非轴向性误差	提高滚刀铲磨精度和刃磨精度
	2. 分度蜗轮副的齿距误差	修复或更换分度蜗轮副
	3. 齿坯的安装几何偏心	消除几何偏心
	4. 刀架回转角度不正确	调整角度
	5. 多头滚刀的分度误差	提高滚刀的制造精度
齿形误差	1. 齿顶部变肥,左右齿廓对称 	更换滚刀或重磨齿形角及刀面
	2. 齿顶部变瘦,左右齿廓对称 	更换滚刀或重磨齿形角及前刀面

滚齿误差	产生原因	消除方法
<p>3、齿形不对称，一边齿顶变肥，另一边齿顶变瘦移距方向</p> 	<p>滚刀前刀面刃磨时产生导程误差，滚刀安装时没有对准工件回转轴线 上述误差会造成滚刀左右齿廓压力角不同，压力角大的一边工件齿顶变瘦，压力角小的一边工件齿顶变肥，形成不对称齿形</p>	<p>导程误差值较小时，可回转刀架转角微量调整；如果误差较大时，应重磨滚刀导程来消除误差滚刀对中不好，可移动滚刀或转动滚刀刀齿位置来消除</p>
<p>4、齿面上有凸出、凹进的棱边形</p> 	<p>滚刀制造或刃磨时容屑槽等分误差</p> 	<p>重磨滚刀达到等分要求；选择容屑槽数多的滚刀</p>
<p>5、齿形误差超差</p> 	<p>机床刀架主轴轴向窜动超差；分度蜗杆轴向窜动超差；分齿交换齿轮中的 e, f 齿轮误差超差</p>	<p>调整滚刀主轴轴向窜动；调整分度蜗杆轴向窜动；使 e, f 齿轮达到精度</p>
<p>6、齿面相对于正确渐开线成周期性变化</p> 	<p>滚刀制造时分度圆柱对内孔轴线径向跳动误差大；滚刀与刀轴间隙大造成安装偏心；刀轴本身径向跳动大，造成刀具圆周齿距误差</p> 	<p>重新校正滚刀刀杆跳动量，并找正滚刀跳动量，必要时可测出滚刀分度圆柱偏心方向，用安装偏心给予补偿；重磨滚刀</p>
<p>7、同侧齿廓齿顶肥瘦，按正弦规律变化</p>	<p>齿坯安装偏心，切齿时的回转中心与测量时的中心有偏移，即相当于基圆半径变化按正弦规律，齿形即出现正弦变化</p>	<p>重新调整夹具与齿坯，消除几何偏心</p>

齿形误差

滚齿误差	产生原因	消除方法
<p>8、齿形——侧齿顶多切,另一侧齿根多切</p> 	<p>滚刀刀杆轴向窜动,或因滚刀端面与孔不垂直,夹紧产生歪斜;刀刃偏离基本蜗杆,个别刀齿多切</p>	<p>找正滚刀;调整滚刀刀杆间隙,防止刀杆轴向窜动</p>
<p>齿向误差超差</p> 	<p>1. 刀架导轨与工作台轴线的平行度误差或歪斜;上下顶尖轴线对工作台回转轴线的平行度误差,上下顶尖不同轴等。</p>	<p>根据误差原因,加以消除</p>
	<p>2. 夹具制造、安装、调整精度低(径向跳动、端面倾斜)以及压紧螺母端面与螺纹不垂直、垫圈不平行等。</p>	<p>提高夹具精度及调整精度</p>
	<p>3. 齿坯或夹具刚度不好,夹紧后零件变形,滚齿后变形恢复。</p>	<p>改进夹具及齿坯设计;正确夹紧</p>
	<p>4. 齿坯孔呈锥度或测量心轴锥度太大。</p>	<p>提高基准孔及测量心轴精度</p>
	<p>5. 滚切斜齿时差动交换齿轮计算误差大。</p>	<p>重算交换齿轮,修正误差</p>
<p>1. 齿面呈撕裂状</p> 	<p>1. 齿坯材料硬度不均。</p>	<p>45# 钢、40Cr 钢建议正火硬度 HB179 ~ 217; 18CrMnTi 为 HB157 ~ 207。</p>
	<p>2. 滚刀磨钝。</p>	<p>移刀或刃磨滚刀</p>
	<p>3. 切削用量选择不当,冷却不良。</p>	<p>选择合适的切削用量,充分冷却切削区</p>
<p>2. 齿面啃齿</p> 	<p>1. 垂直丝杠上端的液压油缸的油压调得太低,引起刀架垂直进给不稳定有爬行</p>	<p>将油压调整到 1.2 ~ 1.5MP。</p>
	<p>2. 液压油不清洁或有污物,将调压阀瞬时卡住引起油压不稳。</p>	<p>清洗油池及油路系统,净化油液</p>
	<p>3. 刀架立柱导轨塞铁过松或紧</p>	<p>调整塞铁松紧</p>

滚齿误差	产生原因	消除方法
	4. 垂直丝杆平面轴承严重咬坏或间隙过大	更换或修正轴承;调整轴向间隙,轴向窜动在0.01mm以内
	5. 分度蜗轮副啮合间隙未调整好	调整分度蜗轮副的啮合侧隙
3. 齿面出现直波纹 	1. 滚刀安装不好,径向和轴向跳动大	调整滚刀安装精度
	2. 滚刀刃磨质量不好,容屑轴等分误差超差	刃磨滚刀
	3. 滚刀心轴锥尾套支承不好或间隙过大	校正支承或调整好间隙
	4. 齿坯安装支承面太小	加固支承
	5. 滚刀或齿坯夹紧不牢	固紧装夹
4. 齿面出现横波纹 	1. 刀架垂直进给丝杠刚性不够	设计缺陷
	2. 刀架滑鞍塞铁过紧	调整塞铁间隙
	3. 刀架垂直进给丝杠安装误差大	校正安装误差
	4. 工作台锥形导轨副配合太紧	修刮锥形导轨副
	5. 刀架垂直丝杠及分度蜗杆止推轴承咬坏	修正或更换止推轴承
	6. 滚切斜齿轮时,差动交换齿轮啮合过紧或差动机构损坏	调整啮合侧隙,更换差动机构损坏元件
5. 齿面出现斜波纹 	1. 差动机机构装配精度差或损坏	调整差动机构,更换损坏元件
	2. 工件齿轮少,模数大,螺旋角大,切削用量选择不当	选择合理的切削用量,降低切削速度
	3. 滚刀齿数少	选择齿数较多的滚刀

齿面粗糙度


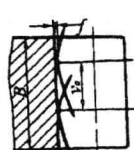
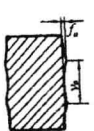
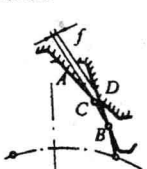
滚齿误差	产生原因	消除方法
<p>6. 齿面呈鱼鳞状</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 工件材料硬度过高 2. 滚刀磨钝 3. 冷却润滑不良 	<p>找出原因, 分别消除</p>
<p>7. 齿根轴向波痕 (齿根)</p> 	<p>由于滚刀轴向进给齿底的轴向剖面的波痕</p>	<p>选择合理的走刀量</p>
<p>8. 齿面轴向波浪</p> 	<p>由于滚刀轴向进给齿面的轴向剖面的波痕。波痕高度 f_a 为:</p> $f_a = v_a^2 \sin \alpha_{en} / 4 d_{oa}$	<p>选择合理的走刀量</p>
<p>9. 滚齿加工的原理误差</p> 	<p>齿面相邻刀齿之间产生的误差 f:</p> $f = \frac{\pi^2 m z_0^2 \sin \alpha_{en}}{4 z_k^2}$ <p>z_0—滚刀夹数, z_k—滚刀槽数</p>	<p>选择齿槽较多的滚刀。</p>

表 1-73 滚齿误差主要计算公式

误差项目	引起误差的主要因素		计算公式	计算实例	
				工作: $m = 3\text{mm}, z = 100,$ $\alpha = 20^\circ, b = 50\text{mm}$ 滚刀: $z_1 = 1, m = 3\text{mm}, z_k = 10,$ $d_{\text{齿}} = 70\text{mm}, \gamma_z = 2^\circ 50'$ 夹紧方式: 内孔定心; 机床: Y3180E	
齿距累积误差 $\Delta F'_p$	夹具的径向圆跳 δ'_r 引起 e_1		$e_1 = \frac{\delta'_r}{2}$	$\delta'_r, \delta'_x, \Delta, \delta_x$ 15 μm 15 μm 20 μm 20 μm	已知
	工件的径向圆跳动 δ'_r 引起 e_2		$e_2 = \frac{\delta'_r}{2}$	d_y, d, d_2, F_{p2} 250mm 300mm 546mm 55 μm	
	工件孔与心轴配合间隙 Δ 引起 e_3		$e_3 = \frac{\Delta}{2}$	$\delta'_r, \delta^2, \delta^1, \delta^1$ 8 μm 10u 5 μm 5 μm	
	夹具的支承端面圆跳动 δ'_x 引起 e_4		$e_4 = \frac{b\delta'_x}{d_y}$ 式中, d_y —夹具支承面直径	$f_{pt}, \beta_{12}, a_{12}, z_1$ 7.5 μm 4°57'15" 150° 1	
	工件的端面圆跳动 δ_x 引起 e_5		$e_5 = \frac{b\delta'_x}{d}$ 式中, d —工件分度圆直径	e_1 7.5 μm	
				e_3 10 μm	
				e_4 3 μm	
	几何偏心 e 以内孔定心		$e = \sqrt{e_1^2 + e_3^2 + e_4^2 + e_5^2}$	e_5 3.7 μm	
	几何偏心 e 以外圆定心		$e = \sqrt{e_2^2 + e_4^2 + e_5^2}$	e 13.3 μm	
	齿圈径向跳动 ΔF_r		$\Delta F_r = 2e$	ΔF_r 26.6 μm	计算结果
$\Delta F'_p$		$\Delta F'_p = \frac{2e}{\cos \alpha}$	$\Delta F'_p$ 28.3 μm		

误差项目	引起误差的主要因素		计算公式	计算实例	
				工作: $m = 3\text{mm}, z = 100,$ $a = 20^\circ, b = 50\text{mm}$ 滚刀: $z_1 = 1, m = 3\text{mm}, z_k = 10,$ $d_{a0} = 70\text{mm}, \gamma_z = 2^\circ 50'$ 夹紧方式: 内孔定心; 机床: Y3180E	
齿距累积误差 ΔF_p	机床运动误差引起的累积误差 $\Delta F_p''$	分度蜗轮误差引起 $\Delta F_{p21}''$	$\Delta F_{p21}'' = \frac{d}{d_2} F_{p2}$ 式中, d_2 —分度蜗轮分圆直径	计算结果	$\Delta F_p^{21''}$ 30.2 μm
		蜗轮径向跳动 δ_{r2} 引起 $\Delta F_{p2}''$	$\Delta F_{p2}'' = d\delta_{r2}/d_2\cos\alpha_{12}$ 式中, α_{12} —蜗轮副压力角		$\Delta F_{p22}''$ 4.5 μm
		蜗轮端面跳动 δ_{e2} 引起 $\Delta F_{p23}''$	$\Delta F_{p23}'' = \frac{d}{d_2} \delta_{e2}\tan\beta_{12}$ 式中, β_{12} —蜗轮分圆螺旋角		$\Delta F_{p23}''$ 0.47 μm
		$\Delta F_{p2}''$	$\Delta F_{p2}'' = \sqrt{(\Delta F_{p21}'')^2 + (\Delta F_{p22}'')^2 + (\Delta F_{p23}'')^2}$		$\Delta F_{p2}''$ 30.5 μm
齿距累积误差 ΔF_p		周节极限偏差 f_{pt} 引起 $\Delta F_{p11}''$	$\Delta F_{p11}'' = \frac{z_1 d}{d_2} f_{pt}$ 式中, z_1 —蜗杆齿数	计算结果	$\Delta F_{p11}''$ 4.12 μm
		径向跳动 δ_{r1} 引起 $\Delta F_{p12}''$	$\Delta F_{p12}'' = \frac{z_1 d}{d_2} \delta_{r1}\tan\alpha_{12}$		$\Delta F_{p12}''$ 0.74 μm
齿距累积误差 ΔF_p	机床运动误差引起的累积误差 $\Delta F_p''$	分度蜗轮误差引起 $\Delta F_{p13}''$	$\Delta F_{p13}'' = \frac{z_1 d}{d_2} \delta_{x1}$	计算结果	$\Delta F_{p13}''$ 2.75 μm
		$\Delta F_{p1}''$	$\Delta F_{p1}'' = \sqrt{(\Delta F_{p11}'')^2 + (\Delta F_{p12}'')^2 + (\Delta F_{p13}'')^2}$		$\Delta F_{p1}''$ 5 μm
		$\Delta F_p''$	$\Delta F_p'' = \sqrt{(\Delta F_{p1}'')^2 + (\Delta F_{p2}'')^2}$		$\Delta F_p''$ 30.9 μm
		ΔF_p	$\Delta F_p = \sqrt{(\Delta F_p'')^2 + (\Delta F_p')^2}$		ΔF_p 41.9 μm

误差项目	引起误差的主要因素	计算公式	计算实例	
			工作: $m = 3\text{mm}, z = 100,$ $a = 20^\circ, b = 50\text{mm}$ 滚刀: $z_1 = 1, m = 3\text{mm}, z_k = 10,$ $d_{a0} = 70\text{mm}, \gamma_z = 2^\circ 50'$ 夹紧方式: 内孔定心; 机床: Y3180E	
基节偏差 Δf_{pb}	滚刀基节极限偏差 f_{pb1}	$\Delta f_{pb1} = f_{pb0} \cos a$	已知	$f_{pb0} \quad f_{j0} \quad a_R \quad \Delta r$ $5\mu\text{m} \quad \pm 7' \quad 4^\circ \quad 32\mu\text{m}$
	滚刀齿形角公差 f_{j0} 引起 Δf_{pb2}	$\Delta f_{pb2} = -\pi m f_{r0} \sin a$	已知	$l \quad p \quad \Delta r_2$ $57\text{mm} \quad 9.436\text{mm} \quad \mu\text{m}$
	滚刀前刀面非轴向性误差 Δr 引起 Δf_{pb3}	$\Delta f_{pb3} = \frac{\pi m \Delta r \sin a \tan \alpha_R \cos^2 \alpha}{2.5 m}$ 式中, α_R —滚刀侧刃后角	计算结果	$\Delta f_{pb1} \quad 4.7\mu\text{m}$
	滚刀前刀面非轴向性误差 Δr_z 引起 Δf_{pb4}	$\Delta f_{pb4} = \frac{\Delta r_z}{l} p \tan(\alpha_R + r_z) \cos a$ 式中, l —滚刀有效长度; p —滚刀轴向齿距		$\Delta f_{pb2} \quad \pm 6.7\mu\text{m}$
				$\Delta f_{pb3} \quad 0.86\mu\text{m}$
		$\Delta f_{pb4} \quad 0.75\mu\text{m}$		
	Δf_{pb}	$\Delta f_{pb} = \sqrt{\Delta f_{pb1}^2 + \Delta f_{pb2}^2 + \Delta f_{pb3}^2 + \Delta f_{pb4}^2}$		$\Delta f_{pb} \quad 8.3\mu\text{m}$
齿形误差 Δf_f	滚刀基节极限偏差 f_{pb0} 引起 Δf_{f1}	$\Delta f_{f1} = \epsilon_r \Delta f_{pb1}$	已知	$h_a^* \quad \alpha_{a0} \quad \epsilon \quad j_{pk}$ $1 \quad 22^\circ 54' \quad 1.9 \quad 40\mu\text{m}$
	滚刀齿形角公差 f_{j0} 引起 Δf_{f2}	$\Delta f_{f2} = \epsilon_r \Delta f_{pb2}$	已知	$\delta_{r0} \quad \delta_{x0} \quad \tan \Delta \theta \quad F_{ol}''$ $16.5\mu\text{m} \quad 10\mu\text{m} \quad 0.000043 \quad 5\mu\text{m}$
	滚刀前刀面非径向性误差 Δr 引起 Δf_{f3}	$\Delta f_{f3} = \epsilon_1 \Delta f_{pb3}$	已知	$(\delta_{r0}) \quad E^{(1)}(\delta_{r0}) \quad D^{(2)} \quad L$ $18 \quad \mu\text{m} \quad 15\mu\text{m} \quad 70\text{mm}$

误差项目	引起误差的主要因素	计算公式	计算实例		
			工作: $m = 3\text{mm}, z = 100,$ $a = 20^\circ, b = 50\text{mm}$ 滚刀: $z_1 = 1, m = 3\text{mm}, z_2 = 10,$ $d_{a0} = 70\text{mm}, \gamma_z = 2^\circ 50'$ 夹紧方式: 内孔定心; 机床: Y3180E		
滚刀前刀面非轴向性误差 Δf_z 引起 Δf_A		$\Delta f_A = \varepsilon_1' \Delta f_{pb4}$	Δf_{f1}	8.93 μm	
	上式中, 重合度 $\varepsilon_r = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{(z + 2h_a^*) \sin a_{w0}}{\cos \alpha} - z \tan \alpha + \frac{4h_a^*}{\sin \alpha} \right]$		Δf_{f2}	12.73 μm	
	齿顶压力角: $a_{w0} = \frac{z}{z + 2h_a^*} \cos \alpha$ 式中, h_a^* — 齿顶高系数		Δf_{f3}	1.63 μm	
齿形误差 Δf_f	滚刀轴线倾斜 $\Delta \theta$ 引起 Δf_B	$\Delta f_B = d_o \tan \Delta \theta \cos \alpha$	Δf_{f4}	1.43 μm	
		式中, d_o — 滚刀分圆柱直径	Δf_{f5}	4.5 μm	
		$\tan \Delta \theta = \frac{(\delta_{r0})E - (\delta_{r0})D}{L}$	Δf_{f6}	5.6 μm	
	分度蜗杆周节累积误差 F_{p1}'' 引起 Δf_p		$\Delta f_p = F_{p1}'' \cos \alpha$	Δf_{f7}	9.4 μm
				Δf_{f8}	2.45 μm
				f_{f9}	4.7 μm
Δf_f		$\Delta f_f = \sqrt{\Delta f_1^2 + \Delta f_2^2 + \Delta f_3^2 + \dots + \Delta f_p^2}$	Δf_{f1}	21 μm	
齿向误差 ΔF	刀架垂直移动与轴线的平行度(纵向偏斜)误差 Ω_1 引起 $\Delta F_{\beta 1}$	$\Delta F_{\beta 1} = b \tan \alpha \tan \Omega_1$	已	$\tan \Omega_1$ $\tan \Omega_2$ 0.022/350 0.017/350	
	刀架导轨歪斜度(横向偏斜)误差 Ω_2 引起 $\Delta F_{\beta 2}$	$\Delta F_{\beta 1} = b \tan \Omega_2$	知	b δ'_x δ_x 50mm 15 μm 22 μm	

误差项目	引起误差的主要因素	计算公式	计算实例	
			工作: $m = 3\text{mm}, z = 100,$ $a = 20^\circ, b = 50\text{mm}$ 滚刀: $z_1 = 1, m = 3\text{mm}, z_k = 10,$ $d_{ao} = 70\text{mm}, \gamma_z = 2^\circ 50'$ 夹紧方式: 内孔定心; 机床: Y3180E	
齿向误差 ΔF	夹具支承端面圆跳动 δ'_x 引起 $\Delta F_{\beta 1}$	$\Delta F_{\beta 1} = \frac{b}{d} \delta'_x$	计 算 结 果	$\Delta F_{\beta 1} \quad 1.1\mu\text{m}$
	齿坯端面圆跳动 δ^x 引起 $\Delta F_{\beta 2}$	$\Delta F_{\beta 2} = \frac{b}{d} \delta^x$		$\Delta F_{\beta 2} \quad 2.5\mu\text{m}$
	两顶尖偏心 e_6 引起 $\Delta F_{\beta 3}$	$\Delta F_{\beta 3} = \frac{b}{l} e_6^2$		$\Delta F_{\beta 3} \quad 3\mu\text{m}$
	ΔF_{β}	$\Delta F_{\beta} = \sqrt{\Delta F_{\beta 1}^2 + \Delta F_{\beta 2}^2 + \Delta F_{\beta 3}^2}$ 或 $\Delta F_{\beta} = \sqrt{\Delta F_{\beta 1}^2 + \Delta F_{\beta 2}^2 + \Delta F_{\beta 3}^2}$		$\Delta F_{\beta} \quad 5.5\mu\text{m}$

注:表中①为靠后支承端端的滚刀台肩的径向跳动,表中②为靠主轴端的滚刀台肩的径向跳动。

第三节 渐开线圆柱齿轮磨齿加工

磨齿是齿轮精加工的一种方法,与滚齿、插齿、剃齿及珩齿等精加工方法相比,加工精度高。缺点是生产率低、加工成本高,并要求较高的操作技术。因此,为获得良好的技术经济效益,对各类齿轮的磨齿应根据其精度要求等采取合理的工艺方案和磨齿方式。

齿轮齿形磨削的方法很多,按磨削齿形形成原理,可分为仿形(成形)磨齿法和展成磨齿法;按使用的砂轮类型来分,有大平面砂轮型、碟形双砂轮型、锥面砂轮型、蜗杆砂轮型、成形砂轮型等。我公司只有锥面砂轮型磨齿机,能磨削具有渐开线齿形的标准和修正圆柱直齿和斜齿齿轮。磨削过程中是按齿轮和齿条相啮合的原理进行展成加工。砂轮相当于假想齿条的一个齿,在磨削过程中齿条的节线和齿轮的节圆作纯滚动。其主要特点是,展成运动不是由钢带滚圆盘形成的,分度运动也不用分度盘而是利用机床本身的传动链和一套交换齿轮来实现的。它具有单面磨削、双面磨削、行程中间位移法的单面磨削等磨削方式及修形机构。

一、齿轮的磨前加工

磨齿齿轮的齿坯加工、切齿加工等各项要求,除按齿坯加工要求的有关规定处,其余应执行以下规定。

1 切齿机床的选择 ①根据我公司条件,齿轮磨前加工,应采用滚齿方法。若用其它方法加工,需经工艺师同意方可采用。②切齿机床的选择,应按比要磨齿轮的第 I 公差组精度等级低 1~2 级的原则来选择磨齿前的切齿加工机床。

2 磨前滚刀的选择 ①磨齿前的切齿加工要采用带触角的磨前滚刀,最好是采用圆头磨前滚刀,以利于热处理淬火。尽可能不用留磨滚刀或其它刀具。②磨前滚刀的精度选择,应按比要磨齿轮的第 II 公差组精度等级低 2~3 级的原则来选择磨前滚刀的精度。③推荐磨前滚刀设计的工艺齿厚留量按表 1-74 的齿厚留量值。

表 1-74 磨前滚刀的齿厚留量

模数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
单侧齿面留量	0.1	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.30
模数	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
单侧齿面留量	0.35	0.4	0.4	0.45	0.45	0.50	0.50	0.55	0.55	0.60	0.60

注:①. 模数 $m=1\sim 10\text{mm}$ 为哈一工零度前角磨前滚刀的留量。②. 模数 $m=12\sim 34\text{mm}$ 为自行规定。

3 齿轮的磨前切齿加工 ①齿轮切齿前齿坯的安装应按表 1-53、表 1-54 或表 1-55 选取比齿轮精度低一级的值进行找正。磨前滚刀的安装找正。应按表 1-51 的 A 级滚刀找正值进行。②对于齿幅较宽的渗碳淬火斜齿轮,在热处理前切齿时应按斜齿轮的螺旋角再减小 $3'\sim 5'$ 计算差动挂轮,目的是使热处理后的齿轮螺旋角接近于原图纸的螺旋角。这样可有效地减少磨齿余量,保证硬度层的均匀性。差动挂轮的选择由工艺师确定,并写在工艺文件中。③齿轮磨齿的齿厚留量规定如下:齿轮的齿厚公称值加工齿厚的上偏差,再加上磨齿留量(见表 1-75)乘以热处理变形系数,作为磨齿齿厚的名义尺寸,再按表 1-75 查取滚齿公并。例如:模数 $m=12\text{mm}$ 、分度圆直径 $d=480\text{mm}$ 的渗碳淬火齿轮,分度圆弦齿厚 $S=18.85\pm 0.175_{-0.265}^0\text{mm}$ 。则预磨齿轮的分度圆弦齿厚的名义尺寸为: $18.85 + (-0.175) + 0.44 \times 1.3 = 19.247\text{mm}$,滚齿公差为 -0.06mm 。即预磨齿轮的分度圆弦齿厚应为 $S=19.247^{-0.06}\text{mm}$ 。

表 1-75 齿轮磨前的基准面加工精度要求

mm

加工方式	磨 削	卧 车	立 车
径 向 跳 动	0.012	0.018	0.02
端 面 跳 动			0.016

表 1-76 磨齿留量表(表面淬火齿轮)

mm

$d \backslash m_n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	
0~50	0.2	0.21	0.22	0.27	0.30	0.34	0.37	0.38	0.39	0.4													
50~80	0.2	0.22	0.23	0.25	0.28	0.32	0.34	0.37	0.38	0.39	0.42												
80~120	0.2	0.23	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.37	0.38	0.42												
120~180	0.2	0.24	0.25	0.27	0.29	0.30	0.33	0.34	0.36	0.37	0.40												
180~250		0.25	0.26	0.28	0.29	0.31	0.34	0.35	0.37	0.38	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46								
250~315		0.26	0.27	0.29	0.30	0.32	0.35	0.35	0.38	0.39	0.43	0.44	0.45	0.46	0.48	0.49	0.50	0.51					
315~400			0.28	0.30	0.31	0.33	0.35	0.36	0.38	0.39	0.44	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55		
400~500			0.29	0.31	0.32	0.34	0.36	0.37	0.39	0.40	0.44	0.45	0.47	0.48	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	
500~630				0.32	0.34	0.35	0.37	0.38	0.39	0.40	0.45	0.46	0.48	0.49	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	
630~800				0.34	0.36	0.36	0.38	0.39	0.40	0.41	0.45	0.46	0.49	0.50	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	
800~1000				0.36	0.37	0.37	0.39	0.40	0.41	0.42	0.45	0.47	0.50	0.51	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	
1000~1250					0.38	0.40	0.41	0.42	0.43	0.45	0.48	0.51	0.52	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62		
1250~1600						0.42	0.43	0.43	0.45	0.49	0.52	0.53	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63			
1600~2500									0.44	0.45	0.50	0.54	0.55	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65		
滚齿公差	+0.04			-0.04			-0.05			-0.08			-0.09			-0.10							

注:①滚齿(或刮齿)后不经热处理的齿轮,磨齿留量为表中数值的0.6~0.45倍。②埋油淬火齿轮磨齿留量为表中数值的0.8~0.7倍。③一般淬火齿轮磨齿留量为表中数值的1.1倍。盐炉淬火磨齿留量为表中数值的0.8倍。④带有内花键的淬火齿轮磨齿留量为表中数值的1.2倍。⑤一般易变形的齿轮或齿圈及渗碳淬火的齿轮,根据齿幅长度和渗碳深度选择磨齿留量为表中数值的1.3~1.5倍(其中轴齿轮选偏小的倍数,固体渗碳和饼齿轮选偏大的部分)。⑥一般淬火后进行刮齿的齿轮,刮齿留量要按此表要求再增加0.10~0.20mm。⑦在选择磨齿留量较大时,要注意所选择的磨前滚刀的实际留量。

4 齿轮磨前的基准面加工 ①待磨齿轮(包括热处理后的齿轮)必须按齿轮的齿面(齿副较宽的齿轮按两端齿面),利用磁棒或圆棒放入齿沟内检查齿圈径向跳动,或按齿顶圆找正径向跳动,其精度按齿轮的精度和分度圆直径大小,径跳不大于0.02~0.05mm,端面跳动不大于0.01~0.04mm。然后精加工待磨齿轮的基准孔、测量基准(即齿顶圆)及基准端面。②为了磨齿装卡找正方便,对于待磨轴齿轮的定位端面,应同各轴颈(找正带)、测量基准(齿顶圆)在同一次装卡中加工出,以保证其垂直度。③齿轮磨前的基准面加工

精度要求见表 1-76 所示。

二、磨齿机的选择

1 磨齿机的性能规格 磨齿机的性能规格见表 1-77 所示。

表 1-77 磨齿机的性能规格

mm

序号	机 床		Y7131	ZSTZ630C ₃	ZSTZ25
	性能规格				
1	工 作 范 围	齿顶圆最大外径	320	630	2500
		齿顶圆最小直径	30(外径)	50	180
		法向模数, mm/max	1.5/6	1/12	4/34
		齿数, 齿/max	12/200	5/140	12/600
		最大螺旋角	± 45°	± 45°	± 35°
		刀架搬度标尺刻度值	20"		5"
		工作台最大负荷 kg		400	30000
		齿宽(直齿)	100	215	1200
		顶尖距	150 ~ 375	320 ~ 520	无顶尖
		中心架孔径		∅45、∅65、∅90、∅140	
2	砂 轮	砂轮直径, mm/max	160/240	270/350	300/400
		砂轮厚度	13 ~ 16	32	25 ~ 63
		砂轮孔径	75	127	127
		砂轮转数		1690r/min	2150r/min
		砂轮架冲程数	70 ~ 280s/min	75 ~ 315s/min	20 ~ 120s/min
		砂轮压力角	12° ~ 22°	(7° ~ 31°)14/25°	14° ~ 31°
3	工 作 台	回转工作台直径	320	555	2000 1800
		分度蜗轮直径			
		T型槽(等分×宽度)		6×18H12	8×22H12
		孔径×深度	∅65A	∅85×520	∅450×2000
4	有 关 数 据	砂轮架行程长度	120	20 ~ 225	100 ~ 1250
		行程中间位移量		120	500
		展成走刀速度(无级)		80 ~ 800mm/min	45 ~ 1250mm/min
		磨齿精度(JB179-83)	7~8级	4级	4级