

滚轧齿轮译文集

第三集

湖南省机械局情报中心站

1976.11



目 录

贵州省图书馆

关于热轧齿轮滚轧条件的研究.....	(1)
关于热轧齿轮精度的研究.....	(10)
热轧装置.....	(22)
热轧齿轮的质量.....	(32)
制造齿轮用带齿工具.....	(43)
齿成形工具.....	(45)
螺旋伞齿轮的无切削生产.....	(51)
齿轮滚轧法.....	(56)
轧机装置的改进.....	(59)
轧机的改进.....	(62)
花键轴的冷滚轧装置.....	(67)
齿坯的制造方法.....	(73)
用冷成形无切削生产齿轮的方法.....	(78)

附 载

精加工或光整齿面的齿轮形刀具.....	(79)
滚切齿轮法.....	(86)
滚铣加工齿轮用的齿轮刀具.....	(95)
剃齿刀具.....	(99)
加工齿轮、特别是滚轧齿轮时支承工件的装置.....	(102)
齿轮磨床上检验齿轮螺旋角调整的装置.....	(107)

关于热轧齿轮滚轧条件的研究

著 者 樋川武男

一、绪 言

借助滚轧法制造齿轮的实验，在此以前曾有过二、三次。在国内，成濑、井上两氏曾以小模数齿轮为对象，进行冷滚轧法研究。在苏联，以大模数齿轮为对象进行热滚轧法的研究已有所闻。

由于对齿轮滚轧法正式开始研究为时尚短，系统的资料缺乏。另外，在以滚轧法成形齿形时，被滚轧齿轮的齿顶会产生“包顶”。谈及这方面问题的论文还没有。

本文著者以滚轧无包顶齿轮为目的，对热滚轧法的滚轧加工条件进行了研究，并试制了热轧齿轮装置，更进一步对滚轧齿轮的精度和其他性质进行了研究。借助这一系列的研究，探明齿轮滚轧法的本质，并试对滚轧齿轮的实用性加以探讨。

在选择作为研究对象的齿轮时，考虑到具有更多的实用性是最基本的，因而选择了钢制的正齿轮和斜齿轮。还考虑到齿形大的具有更多实用性，因而想以模数 $m = 2 \sim 3$ 的齿轮作为进行实验的对象。

为了滚轧出无包顶的齿轮，本文考虑了金属材料的凸起和滚轧过的齿的金相组织，以及怎样选择滚轧加工条件等进行研究，将其结果叙述如下。

二、关于金属材料凸起的基础实验

借助滚轧法形成齿形时，齿坯边由滚轧工具带动转动，滚轧工具边从齿坯外周轧入。由于塑性变形而使金属材料凸起，依靠成形运动而把凸起的材料加工成齿轮齿形。作者研究了在滚轧工具轧进时，齿坯外周金属材料凸起的状态。借助滚轧条件，随着滚轧工具轧进变深，凸起的金属材料端部能形成象角样的东西。它在滚轧工具的齿根轧过时被挤碎，于是滚轧完的齿轮的齿顶就有包顶。这种现象称为齿顶的“包顶”。

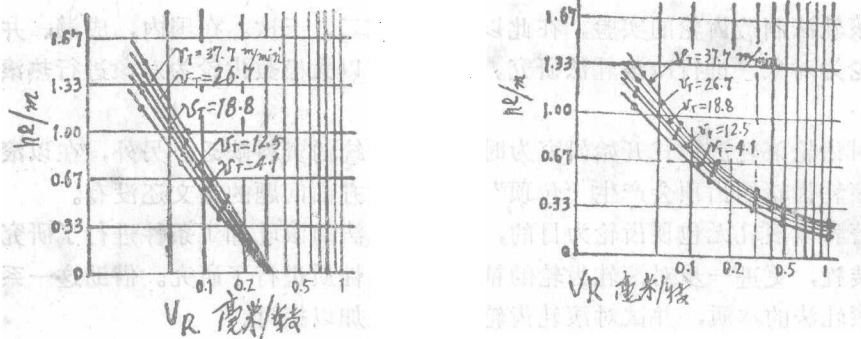
滚轧过的齿轮存在这种包顶，就有强度降低之虑。为了制造出在实践中供动力传递用的齿轮，有必要滚轧出无包顶的齿轮。

影响金属材料凸起状态的，可考虑齿坯金属材料的性质、滚轧工具轧进速度、齿形成形运动的速度等滚轧加工条件的变化。因而，在常温下容易滚轧。而且考虑到加工性能的不同，采用了铅和铝质齿坯，并考虑了改变加工速度进行基础实验。对因为滚轧加工条件的变化而对金属材料凸起状态引起多大变化，以及能否消除包顶都进行了考察。

用以进行试验的齿轮的各参数如下：模数 $m = 3$ ，压力角 $\alpha = 20^\circ$ 的标准正齿轮，轧轮的齿数 $Z_1 = 30$ ，被滚轧齿轮的齿数 $Z_2 = 32$ 。

轧轮的轧进速度和加工齿形的成形运动的速度两者合在一起即为加工速度。因为轧轮的轧进速度和齿坯的转动速度有相对的关系，所以齿坯每转动一圈就相当于轧轮的进给量。轧轮的轧进速度为 V_r 毫米/转。又，因为成形运动的速度取决于齿坯的大小和转动速度，所以要考虑齿坯的圆周速度 v_T 米/分。

在这里改变齿坯的材料和加工速度进行滚轧，对被滚轧齿轮齿顶产生的凸起的高度 he (毫米) 进行测定的结果如图 1 所示。无论是在用铅材或用铝材进行试验的场合，都出现下



- v_r : 轧轮的轧进速度 (毫米/转) ;
 v_T : 齿坯的圆周速度 (米/分) ;
 he 齿顶产生凸起的高度 (毫米) ; m : 模数。

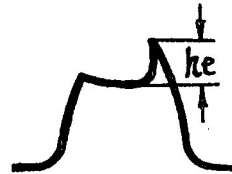


图 1 加工速度和齿顶产生的凸起的高度的关系

述情况：当轧轮的轧进速度 v_r 小时，在被滚轧齿轮齿顶产生的凸起的高度 he 就大，随着 v_r 变大， he 就变小。在用铅材进行试验的场合， $v_r \geq 0.3$ 毫米/转，则 $he = 0$ ，即不产生齿顶包顶。但是，在用铝材进行试验的场合，即使 $v_r = 1$ 毫米/转那么小，齿顶包顶也不能消除。这是因为铝的屈服点比铅高，延展性差，在滚轧中引起加工硬化造成的。象铅这样良好的材料在滚轧中不产生凸起应予考虑。

齿坯的圆周速度 v_T 变大时，齿顶凸起的高度 he 也多少有点变大，但这个影响并不是怎么大的。

另外，在齿顶产生的凸起的形状，在齿形的左侧和右侧并不对称。应考虑到这点对被滚轧齿轮和轧轮啮合齿面产生滑移的影响。由于金属材料在被滚轧齿轮齿表面附近沿滑动方向产生金属流动，而且金属材料在齿的左侧和在右侧的滑动方向是不对称的，因而金属材料凸

起的形状不对称这点不得不予考虑。

从上述试验结果可以看出,齿坯金属材料凸起的状态受金属材料加工性能、滚轧速度、轧轮和被滚轧齿轮啮合齿面产生滑移等因素的影响。在使用滚轧中不引起加工硬化的铅齿坯的场合,由于轧轮轧进速度大,就能滚轧出无包顶的齿轮。

三、热滚轧的加工条件

一般使用各种钢材作为齿轮材料。为了滚轧出无包顶的齿轮,最好能采用象铅那样的在滚轧中不引起加工硬化、柔软的、延展性好的钢齿坯进行滚轧。

金属材料的性质由于其化学成分和热处理而发生变化。而且,同一材料在加热后温度升高时,其性质显著变软,并且延展性也变好。因此,应考虑到,即使采用钢齿坯,由于对之加热到高温进行滚轧,齿坯变软、延展性变好、不引起加工硬化,所以也能滚轧出象采用铅质齿坯时的齿轮。

据此,本文著者对齿坯加热到何种温度进行热轧可获得无包顶齿轮,以及此时的滚轧速度多大方适当等问题进行了试验。

作为齿坯材料,在实践中一般采用S35C, S45C, S70C, SCM3, SCM21, SCr1做齿轮材料。

而且使用输出功率为85KW、频率为200Kc的电子管式中频加热装置作为齿坯周围的加热装置。

1、加热温度

就热滚轧而言,在再结晶温度以下的温度不适宜进行滚轧。一方面如果温度过高,则结晶组织变粗大,而且滚轧过的齿轮表面激烈地产生氧化皮。只要在金属材料凸起的良好状态范围内,还是尽可能地在温度低时进行滚轧为好。该项试验是在对齿坯外周加热到大约为700°C、830°C, 950°C和1100°C而进行热轧时作的,并测定了在被滚轧齿轮齿顶产生的金属材料凸起的高度 h_e 。用以进行试验的齿轮的各参数如下:模数 $m=3$,压力角 $\alpha=20^\circ$,齿数 $Z_2=32$ 的正齿轮,以及模数 $m=3$,压力角 $\alpha.=20^\circ$,螺旋角 $\beta=30^\circ$,齿数 $Z_2=28$ 的斜齿轮。

试验结果如图2所示。图3为测定此时齿坯温度分布的结果。

从这些试验结果可以看出,不管使用哪种材料的场合,滚轧温度几乎高达950°C时,在齿顶都不会产生金属材料凸起。

本文作者曾用S45C齿坯作变化滚轧温度以观察其金属材料凸起状态的试验。当滚轧温度为700°C和830°C时,金属材料的凸起状态不良,并产生包顶。当滚轧温度为950°C时,金属材料的凸起状态象铅齿坯那样良好,完全不存在包顶。当滚轧温度为1100°C时,虽不存在包顶,但它表面激烈地发生氧化皮,也产生倒齿。

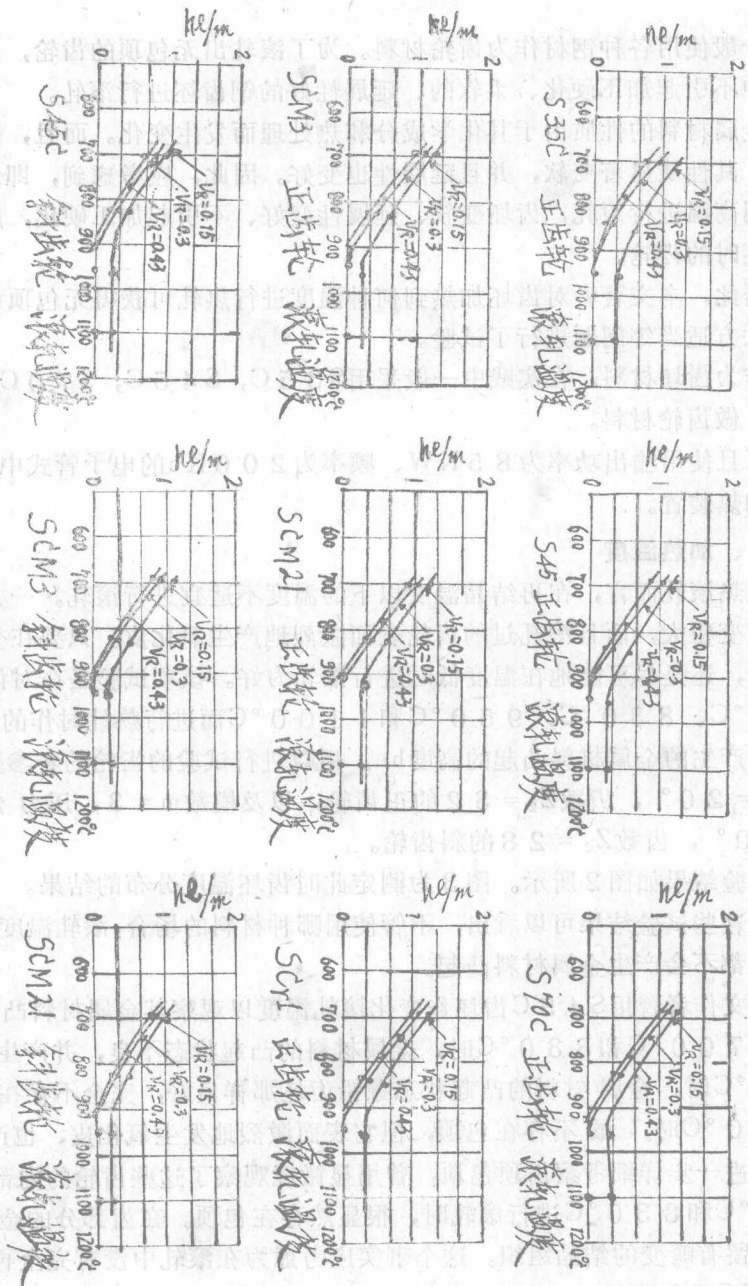
为进一步详细考察齿顶包顶,曾用显微镜观察了这些齿轮的内部金相组织。当温度为700°C和830°C进行滚轧时,很显然存在包顶。在齿部分的金相组织,由于滚轧加工,残留有畸变的结晶组织。这个事实应考虑为在滚轧中没有完全再结晶的表现。在温度为950°C进行滚轧时,出现有完全再结晶的微细的锻造组织,没有包顶。在温度为1100°C

进行滚轧时，虽无包顶，但结晶组织变粗大。

从这些试验的结果可以看到，在实践中一般使用的钢齿轮，如对其齿坯外周加热到 $900^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 进行热滚轧，则其金属材料的凸起状态良好，能够滚轧出无包顶的齿轮。

he: 齿顶产生的金属材料凸起的高度(毫米); m: 模数; vR: 轧轮的轧进速度(毫米/转)。

图 2 滚轧温度和齿顶产生的金属材料凸起高度的关系



2、加热层的深度

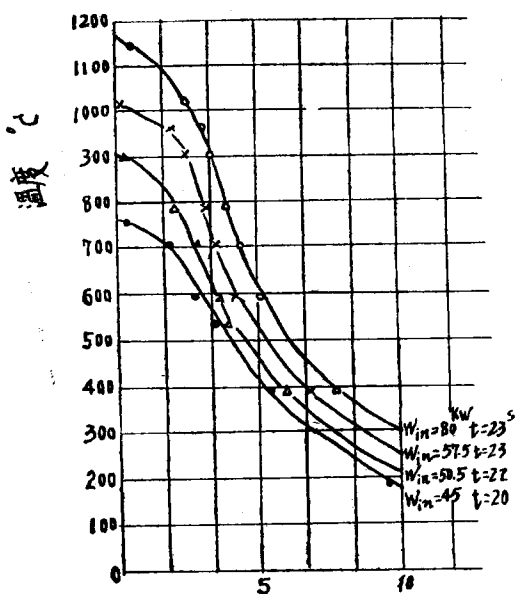
作为齿坯加热的条件，一是对齿坯外周加热到什么温度、再则是将此温度加热到齿坯的何种深度的问题。

加热层的深度如超过必要深度以上，则齿坯中心部分的刚性就低，不能获得精度良好的齿轮。一方面加热层过浅时，因为需要变形的地方不十分软，所以发生勉强变形，而金属材料的凸起状态也不良。

滚轧齿坯的加热层深度，视齿形的大小而有不同。因此，为了获得良好的金属材料凸起，必须根据齿形的大小来决定必要的加热层的深度。为此，改变了滚轧的齿轮的模数 m 、并改变加热层的深度 d_h （毫米）进行了试验。用以进行试验的齿轮诸参数如下：

- (1) 模数 $m = 3$ 的正齿轮；
- (2) 模数 $m = 3$ 、螺旋角 $\beta = 30^\circ$ 的斜齿轮；
- (3) 模数 $m = 2.5$ 的正齿轮；
- (4) 模数 $m = 2.25$ 、螺旋角 $\beta = 13.5^\circ$ 的斜齿轮；
- (5) 模数 $m = 2$ 的正齿轮；
- (6) 模数 $m = 1.75$ 、螺旋角 $\beta = 45^\circ$ 的斜齿轮。

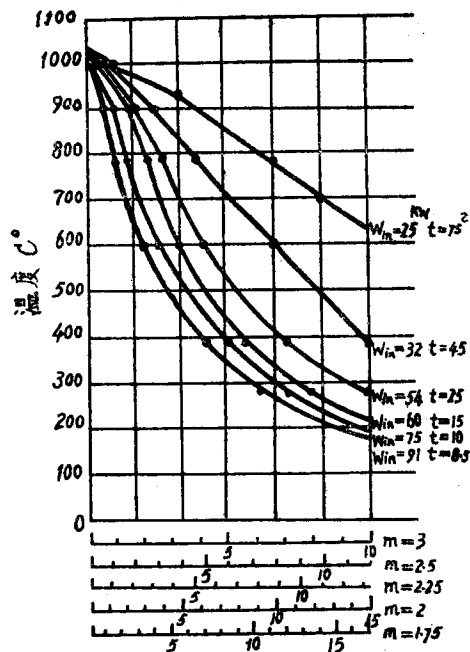
改变齿坯加热层深度，对其温度分布进行测定的结果如图4所示。



距表面的距离（毫米/模数（ $m = 3$ ））；

W_{in} ：中频率电力（阳极输入Kw）；
 t ：加热时间（秒）。

图3 变化滚轧温度时齿坯的温度分布



距表面的距离（毫米/模数）；

W_{in} ：中频电力（阳极输入）Kw；
 t ：加热时间（秒）。

图4 改变加热层深度时齿坯的温度分布

作为加热层的深度，据观察滚轧最适合的温度为从齿坯表面加热到 $900^{\circ}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 深度的部分。以模数 $m=3$ 的正齿轮，进行了改变其加热层深度 $d_h/m=1.7, 2.7$ 和 4 ，以观察滚轧时其金属材料凸起状态的试验。在 $d_h/m=1.7$ 时，金属表面的延展性和凸起状态都好；然而在较此深些的地方，金属材料的凸起状态不良，并发生包顶。在加热层深度过浅时，当金属材料凸起时，因为金属材料表面附近柔软，延展性好，材料凸起状态也好。然而，在较此深些的地方，因为温度低，金属材料的延展性不好，材料凸起的状态有各种各样。结果，据观察，仅表面附近的材料凸起，而齿的中心部分材料凸起不良。在 $d_h/m=2.7$ 的场合，金属材料的凸起状态一致，无包顶。当 $d_h/m=4$ 时，凸起也良好，无包顶产生。试以上述两种情况下金属材料的凸起状态进行对比，发现齿坯材料的变形深度和轧轮的轧进量相等，但几乎和加热层的深度无关。两者从齿根到变形的地方都约为 1.5 毫米。因此，如说 $d_h/m=4$ ，就成为加热达到必要的深度。符合需要的、充分的加热层深度，须视轧轮轧进去时齿坯材料有良好变形来决定。

对滚轧各种模数的齿轮所产生的金属材料凸起的形状和齿坯材料所获变形深度同齿根的距离 d_h' （毫米）进行测定的结果如图 5 所示。从该项结果明显看出，由被滚轧齿轮的齿根到获得变形的齿轮模数 m 的深度约为 1.5 倍。

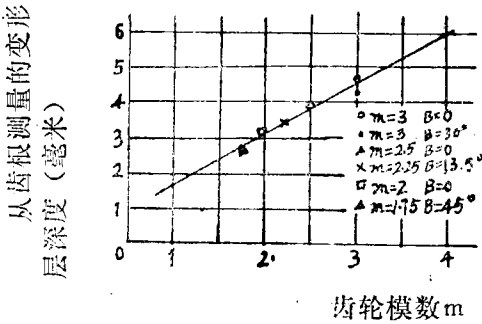


图 5 齿坯变形层深度和齿轮模数的关系

因此，所获变形深度取决于加热层深度。加热到滚轧温度的齿坯外周部分的深度 d_h ，可用下式表示：

$$d_h = 2.7 \times m + a_2 \text{ (毫米)} \dots\dots (1)$$

∵ m 为滚轧齿轮的模数， a_2 则可由下式求得：

$$a_2 = D_2 - R_2 \text{ (毫米)} \dots\dots\dots (2)$$

D_2 ——齿坯半径（毫米）；
 R_2 ——滚轧齿轮的节圆半径（毫米）。

结论：作为齿坯加热的条件，从齿坯外周表面起，如加热到 $900^{\circ}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 直达到（1）式的深度，则能滚轧出无包顶的齿轮。

3、滚轧速度：

所谓金属材料的凸起状态受轧轮进给速度和齿坯圆周速度影响的说法，已为基础试验的结果所证明。在采用一般钢材作为热滚轧齿轮用材料的场合，试考查轧轮进给速度和金属材料凸起状态的关系时表明，为要滚轧出无包顶的齿轮，要求出最合适的滚轧速度是必要的。因此，改变了模数的大小、齿轮的形状和齿坯的材质，对滚轧速度和金属材料凸起状态的关系进行了试验。

用以进行试验的齿轮的诸参数如下：

- （1）模数 $m=3$ 的正齿轮；
- （2）模数 $m=3$ 螺旋角 $\beta=30^{\circ}$ 的斜齿轮；

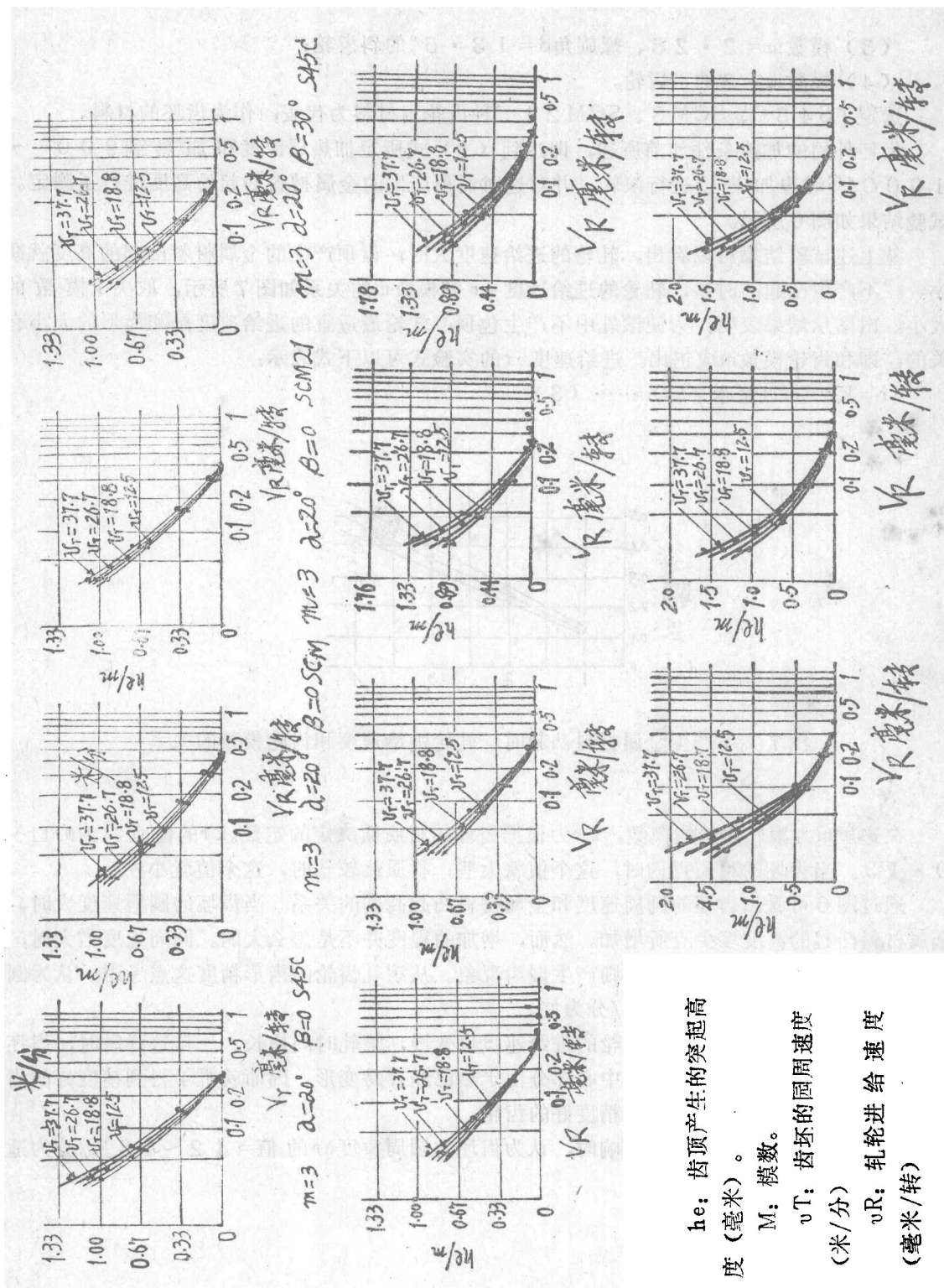


图6 热滚轧时，滚轧速度和齿顶产生的金属材料凸起高度的关系

h_e : 齿顶产生的突起高度 (毫米)。

M : 模数。

v_T : 齿坯的圆周速度

(米/分)

v_R : 轧轮进给速度

(毫米/转)

(3) 模数 $m = 2.25$ 、螺旋角 $\beta = 13.5^\circ$ 的斜齿轮,

(4) 模数 $m = 2$ 的正齿轮。

选定了S45C、SCM3、SCM21三种齿轮用材料为代表, 作为齿坯的材料。

齿坯外周的加热条件如前所述, 即达到(1)式所定加热层深度和加热到 $900^\circ \sim 1000^\circ\text{C}$ 时边加热边进行滚轧, 并对这时齿顶产生的金属材料凸起的高度进行了测定。试验结果如图6所示。

从上述试验结果可以看出, 轧轮的进给速度大时, 齿顶产生的金属材料凸起的高度就减小。在不产生凸起的时候, 轧轮的进给速度 v_r 和模数 m 的关系如图7所示, 取决于模数的大小。由图示结果表明, 为使滚轧中不产生包顶, 轧轮最适宜的进给速度是和齿形的大小有关的, 即和齿轮模数 m 成正比。进给速度 v_r 的实验式可以下式表示:

$$v_r = k_r \cdot m \text{ (毫米/转)} \cdots \cdots (3)$$

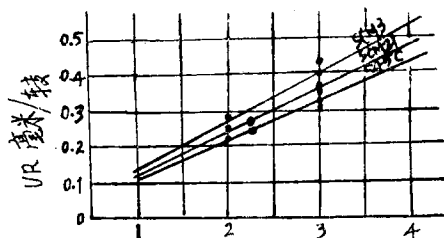


图7 不产生金属材料凸起时, 轧轮进给速度和齿轮模数的关系

在这里 m 为滚轧齿轮的模数, k_r 为根据齿坯的材质而决定的定数。 k_r 的值大约为 $0.11 \sim 0.13$ 。当齿坯的材质强韧时, 这个值就大些; 材质比较软时, 这个值就小些。

通过图6可看出齿坯的圆周速度和金属材料凸起高度的关系。当齿坯的圆周速度大时, 金属材料凸起的高度多少有所增加。然而, 增加的程度并不是怎么大的。圆周速度增大时, 如图8所示, 被滚轧齿轮的齿形则产生倒齿现象。从滚轧齿轮的齿形精度这点考虑, 认为圆周速度 v_t 的值以小于 18.8 米/分为好。

一方面, 圆周速度慢时, 轧轮的进给速度也变慢, 滚轧时间拖长。一旦这样做时, 齿坯外周部分的热向内部渗透, 齿坯中心部分由于热已经容易变形, 因而就难于得到精度好的齿轮。只在滚轧时间短时, 能得到精度好的齿轮。

当考虑到齿形精度和热的影响时, 认为齿坯的圆周速度 v_t 的值 $= 12 \sim 18$ 米/分为适宜。

4、热轧齿轮的金相组织

滚轧温度不同，滚轧齿轮的金相组织也就各异。进行冷轧时发生金属结晶组织畸变，由于残留应力的作用，引起加工硬化。滚轧后不进行热处理就照样使用的齿轮，由于冷轧中产生的加工硬化而使齿轮表面硬化，就这点来说也意味着齿轮的耐磨性增大。

作为传动用的齿轮，多数在滚轧成形后经过热处理再使用。在热处理时，畸变结晶组织或残留应力的存在，是热处理发生变形的原因。对于齿轮来说，因为精度是很受重视的，所以在热处理时不发生变形是很重要的。为此，把齿坯外周加热到适当的温度进行滚轧，以及使齿坯中无畸变结晶组织都是必要的。

除齿形成形这个目的外，从改进金相组织这一目的考虑，应选择合适的温度进行滚轧也是重要的。将钢加热到 A_{r3} 变态点以上温度进行热滚轧，从滚轧完了到 A_{r3} 变冷期间生成结晶粒。在 A_{r3} 和 A_{r1} 的变态区域以下的温度时结晶粒停止形成。这时仍有一定的大颗粒出现，直到常温冷却。结晶粒的粗细度和热滚轧时的加工温度有关，当在高于 A_{r3} 变态点以上温度进行滚轧时，结晶粒就变粗大。金属结晶

组织的粗大化，是热处理时产品发生裂纹的原因，同时产品的机械强度也降低。当在低于 A_{r1} 变态点的温度进行滚轧时，就不形成结晶粒，即使有结晶粒也是小颗粒的。然而，由于滚轧，出现了残留应力，结晶组织发生畸变。这就成为热处理时产品发生裂纹的原因。

由此考虑，热轧时的滚轧温度以稍低于 A_{r3} 变态点以上的温度为适宜。

5、结论：（下转第10版）

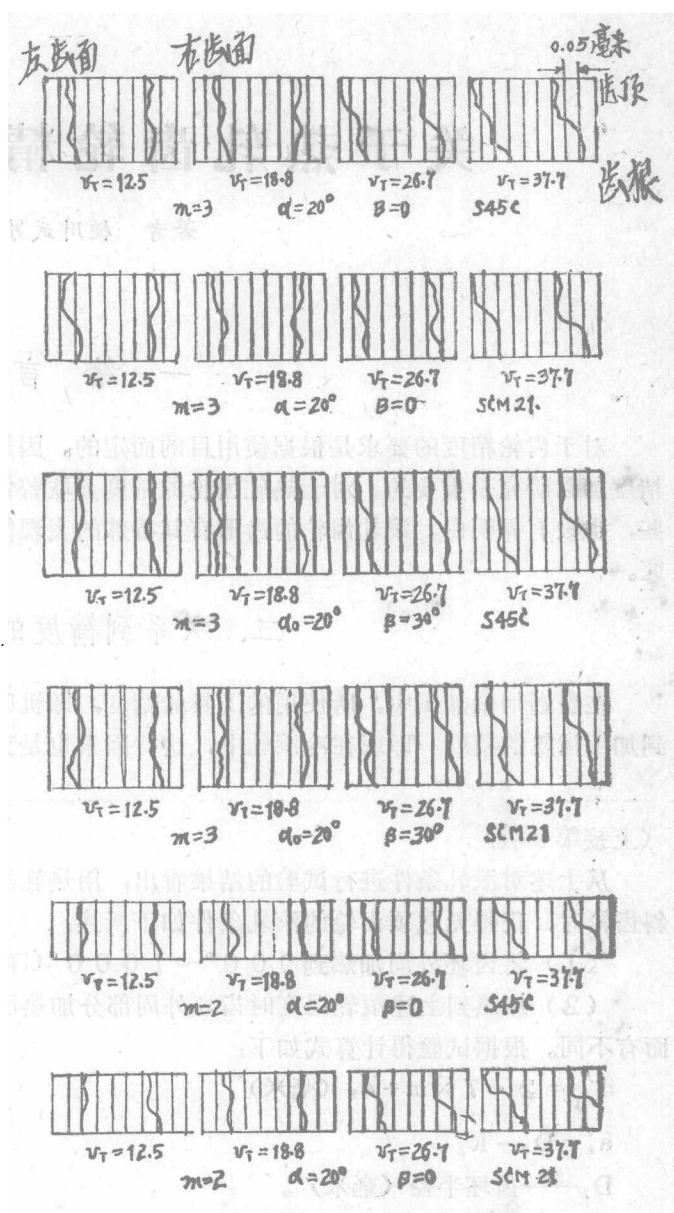


图 8 改变圆周速度 v_r （米/分）对齿轮齿形测定的结果

关于热轧齿轮精度的研究

著者 樋川武男

一、绪 言

对于齿轮精度的要求是根据使用目的而定的。因此，为了探讨热轧齿轮的实用性，对其精度加以研究是重要的。对于热轧齿轮的精度苏联曾做过测量。但对影响其精度的因素有哪些，也没有弄明白。滚轧齿轮的齿形有其特殊的表现倾向，因此要对其产生的原因进行研究。

二、关系到精度的因素

在普通切削加工中，所使用的工具的精度，即机床的精度及刚性、齿坯的精度等都关系到加工齿轮的精度。即或在冷滚轧中，这些因素也是支配精度的基本东西。在热滚轧中，这

(上接第9版)

从上述对滚轧条件进行试验的结果看出，用热轧法制造模数 $m = 2 \sim 3$ 的钢制正齿轮和斜齿轮时，获得无包顶齿轮的滚轧条件如下所述：

(1) 将齿坯外周加热到 $900^{\circ} \sim 1000^{\circ} \text{C}$ 再进行热轧；

(2) 加热到上述滚轧温度时齿坯外周部分加热层深度 d_h (毫米) 视齿轮模数的大小而有不同。根据试验得计算式如下：

$$d_h = 2 \cdot 7 \times m + a_2 \text{ (毫米)}$$

$$a_2 = D_2 - R_2$$

D_2 ——齿坯半径 (毫米)。

R_2 ——滚轧齿轮的节圆半径。

(3) 不产生包顶的最适宜的轧轮进给量 (齿坯每转一周相当于轧轮的进给量) v_r 毫米/转可由下列试验式求得：

$$v_r = k_r \cdot m \text{ (毫米/转)}$$

$k_r = 0.11 \sim 0.13$ ，材质较强韧时该值可较大些，材质较软时该值可较小些。

(4) 从滚轧齿轮的精度考虑，齿坯转动时的圆周速度 v_T 米/分的值约为 $v_T = 12 \sim 18$ (米/分) 为合适。

(曾淑英译自《日本机械学会论文集》1961年第27卷第175号。

谭国钧校)

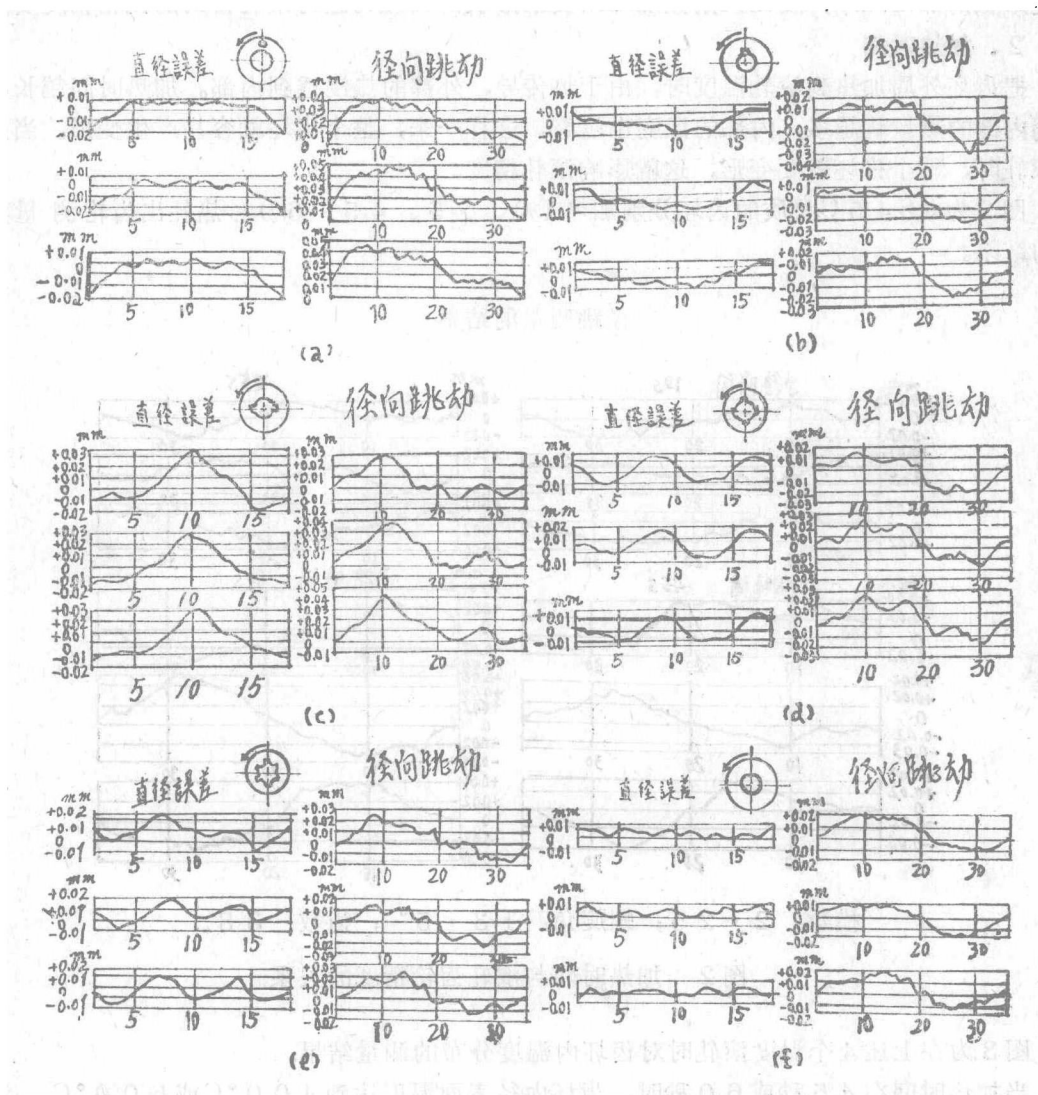
些也是完全适用的。在热滚轧中，除上述因素之外，齿坯的形状、加热时间、平均转数、轧轮的进给方式对滚轧齿轮的精度都有影响。

1、齿坯形状

在滚轧加工中，是借助轧轮轧进齿坯使齿坯外周产生塑性变形。此时在齿坯的周围开口、或开减轻重量孔都对中心部分变形有影响，这也影响滚轧齿轮的精度。

图 1 为用 S 45 C 的齿坯的形状与滚轧齿轮的精度关系实验的结果。

图 1 a 是对用开了销孔的齿坯滚轧的齿轮的直径误差和径向跳动测量的结果。



模数：3；螺旋角： 2.3° ；齿数：35。

图 1 齿坯的形状和滚轧齿轮精度的关系

从测量直径误差的结果来看, 由于滚轧把销孔压破, 对径向跳动也有影响。

图 1 从 b~e 为使用内径有键槽的齿坯滚轧时, 对齿轮的椭圆度、径跳状态的影响。其测量结果表明, 由于键槽数的不同, 滚轧出的齿轮产生的变形也不同。两个键槽在对称的位置时, 产生的变形最大, 齿轮呈椭圆形。对径跳测量的结果也可看出这个变形的影响。其变形情况是 4 个键槽、6 个键槽、1 个键槽顺次减小, 径跳精度也顺次提高。

图 1 f 为使用无键槽的齿坯滚轧后测量的结果, 几乎看不出变形, 径跳的精度也是最好的。

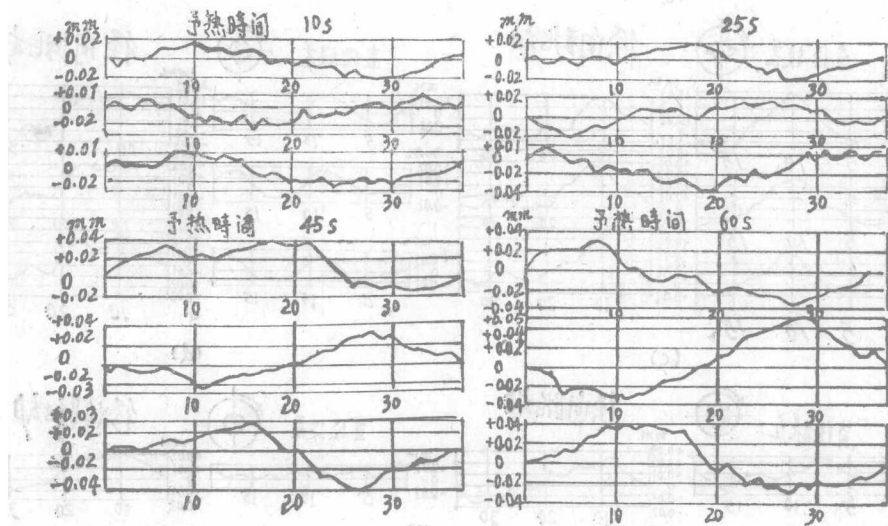
上述结果说明, 滚轧形状复杂的齿轮时, 采用形状简单的齿坯进行滚轧, 然后再加工成规定形状的加工工序, 要比采用先加工出复杂形状的齿坯再进行滚轧得到的齿轮精度要好。

2、加热时间

把齿坯外周加热到滚轧温度时, 由于热传导, 外部的热浸透到内部。加热时间越长, 浸透到内部的热量就越多, 内部的温度也越高。这样一来, 整个齿坯就容易产生变形。当外部受滚轧时, 整个齿坯就要变形, 这就影响滚轧精度。

图 2 为对 S45C 材质的齿坯分别加热 10、25、45、60 秒热轧出齿轮测量其径跳的结果。

径跳测量的结果



模数: $2 \cdot 25$; 螺旋角: $13 \cdot 5^\circ$; 齿数: 38。

图 2 加热时间与滚轧齿轮精度的关系

图 3 为在上述 4 个温度滚轧时对齿坯内温度分布的测量结果。

当加热时间在 45 秒或 60 秒时, 齿坯内径表面温度达到 400°C 或 500°C , 滚轧的结果是齿轮径跳为 60 微米或 80 微米。当加热到 25 秒时, 齿坯内径表面温度达到 250°C , 径跳为 40 微米左右。加热时间为 10 秒, 齿坯内径表面温度达到 170°C , 径跳为 35 微米。

从上述结果可以看出, 加热时间越短, 就越能保持齿坯内部温度低, 从而能获得精度高的滚轧齿轮。

3、平均转数

在滚轧齿轮时, 齿坯和轧轮是边转动边进给。当轧轮达到规定深度时, 如果轧轮就立即全部退出, 在齿坯尚未完全成形之时, 就与轧轮完全脱离接触, 则齿轮就不能达到规定的形状、尺寸。为了达到规定的形状、尺寸, 轧轮在达到规定进给深度之后, 并在齿坯外周完全滚轧出齿形时, 有必要保持深度不变地光整。

轧轮的精度对滚轧齿轮的影响程度, 也和用插齿刀切削加工齿轮时一样。在切削加工中, 根据插齿刀和齿坯的转数不同, 插齿刀的精度对齿轮的精度影响是不同的。而热滚轧中, 根据光整的转数不同, 轧轮的精度对滚轧出的齿轮精度的影响也是不一样的。

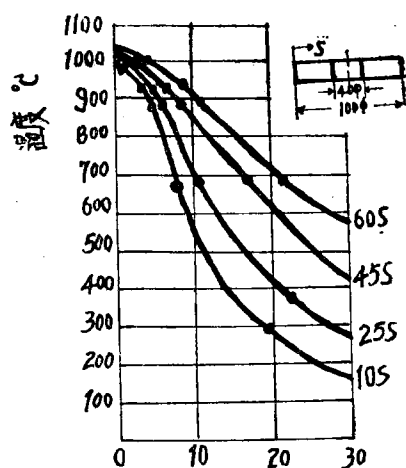
因此, 对光整转数对滚轧齿轮的尺寸、精度的影响进行了试验。图4~6为光整转数与滚轧齿轮的精度关系的试验结果。

图4为用光整转数 N_f 为0·1、3、7、12几个转数滚轧出的5个齿轮, 对其公法线齿厚测量的结果。图5为对其径跳测量的结果。图6为对其相邻周节误差、单周节误差和累积周节误差测量的结果。从上述结果可以看出, 当 $N_f = 0$, 即不进行光整时, 公法线齿厚、径跳、相邻周节误差等各方面误差都大, 破坏了真圆。光整转数多, 椭圆被校正, 误差减小。

图7是综合上述结果, 当 $N_f = 0$ 时, 径跳、相邻周节误差都是最大。当 $N_f = 1$ 时, 其误差显著变小。随着光整转数增加, 上述误差则变小。当 $N_f \geq 7$ 时, 测量上述结果, 其精度大致相同。由此可知, 光整转数达到7转以上, 滚轧齿轮精度可以稳定。

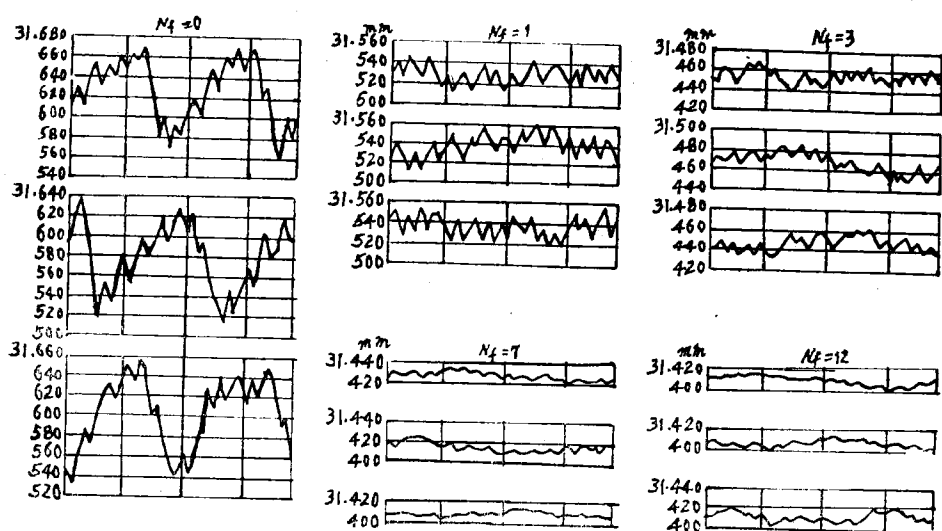
如果考虑到公法线齿厚的尺寸, 当 $N_f = 0$ 时, 公法线齿厚尺寸最大, 误差也最大。当 $N_f = 1$ 和3时, 随着光整转数增加, 公法线齿厚尺寸减小, 误差变小。当 $N_f = 7$ 和12时, 公法线齿厚尺寸稳定在30、40~31、44毫米之间。当 $N_f = 0$ 时, 因轧轮达到规定深度后立即后退, 滚轧齿轮的尺寸变大, 椭圆度不好, 因此, 齿厚的误差大; 当 $N_f = 1$ 和3时, 光整转数多了, 椭圆度得到校正, 齿厚误差变小, 但成形达不到充分尺寸。当 $N_f \geq 7$ 时, 成形完全可以达到尺寸, 滚轧出来的齿轮的尺寸是稳定的。

如上所述, 光整转数对滚轧齿轮的尺寸及精度有影响。当光整转数不足时, 滚轧齿轮不能完全成形, 尺寸及精度误差也大, 也不稳定。因此不能得到规定尺寸的滚轧齿轮。为了得到尺寸和精度稳定的滚轧齿轮, 光整转数必须达到7转以上。



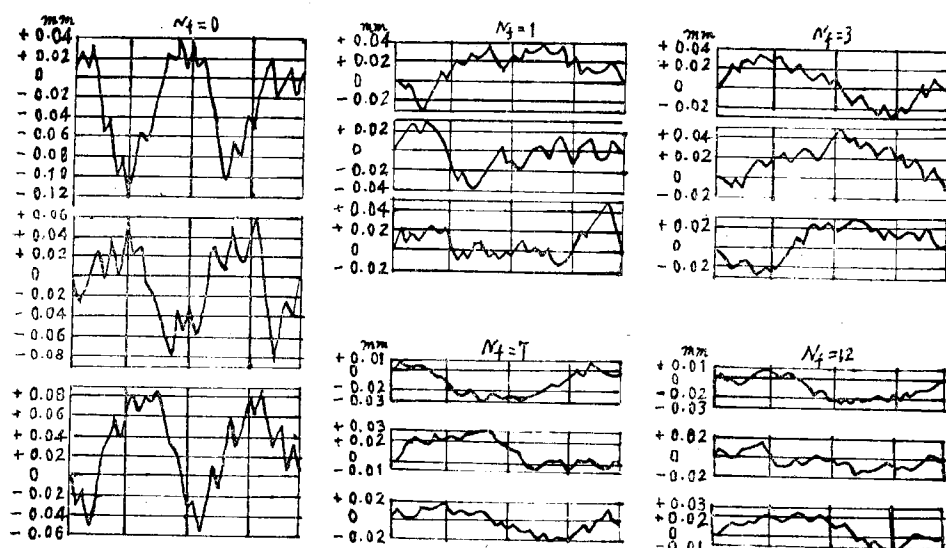
从表面深入的距离 (毫米)

图3 改变加热时间时齿坯内部温度分布 (齿坯材质: S45C钢)



模数：2·25；螺旋角：13·5°；齿数：38。

图4 改变光整转数 N_f 时滚轧齿轮公法线齿厚的变化



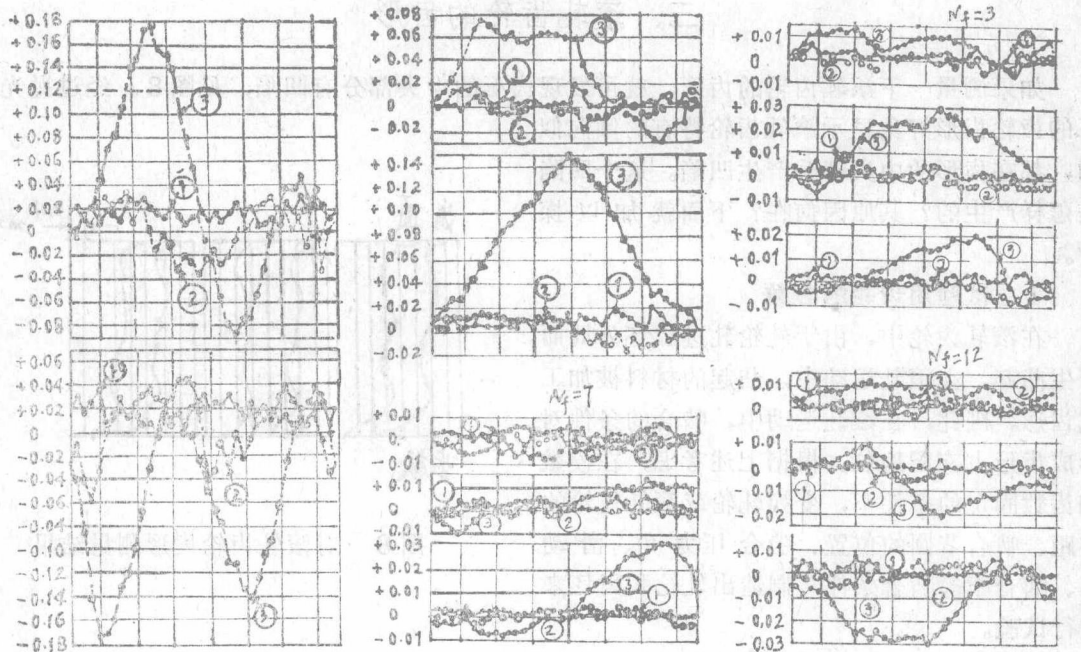
模数：2·25；螺旋角：13·5°；齿数：38。

图5 改变光整转数 N_f 时滚轧齿轮的径跳的变化

①：相邻周节误差

②：单周节误差

③：累积周节误差



模数：2 · 25；螺旋角：13 · 5°；齿数：38。

图6 改变光整转数 N_f 时滚轧齿轮周节误差的变化

4、轧轮的进给方式

轧轮的进给方式有单轧轮的单向进给和双轧轮的双向进给，后者是两个轧轮同时向齿坯进给。有用丝杠或凸轮推动轧轮前进运动，或用液压和弹簧推动轧轮。这几种进给方式对滚轧齿轮的精度影响如何？有何不同？将在最后滚轧装置部分详述。双向进给方式比单向进给方式滚轧出的齿轮径跳小。在双向进给方式中，液压比丝杠这种机械式要好，滚轧出的齿轮径跳小。为了滚轧出高精度的齿轮，最好采用双向进给的液压式。

图7 光整转数 N_f 与滚轧齿轮的公法线齿厚、相邻周节误差、径跳的关系

