

热轧齿轮 知识

辽宁人民出版社

熱軋齒輪知識

文 冰 潘 青 編



辽宁人民出版社出版(沈阳市沈阳路二里宫前里2号) 沈阳市书刊出版业营业许可登文出字第1号
北京新华印刷厂印刷 辽宁省新华书店发行

787×1092 1/32 · 2 7/8 印張 · 65,000 字 · 印數: 1~2,000 1960年8月第1版
1960年8月第1次印刷 統一書號: 15090·186 定價(5) 0.20 元

前 言

在机械制造业中，齒輪是一種使用得非常廣泛的零件。在許多機械製造廠內，製造齒輪的數量和所耗費的勞動量都很大，而且齒輪的加工也是一道最複雜、最繁重的工序。近年來雖然切齒機床的結構和製造工藝有了很大的改進，但用切削法製造齒輪始終是一個不夠完善的工藝過程。不但生產效率低，而且從齒輪毛坯上切下來的金屬，還要白白浪費。如果採用熱軋辦法就可解決這一問題。熱軋齒輪是一種製造齒輪的新方法，使用它來製造齒輪不但可以促進齒輪的大量生產，而且可以節約金屬，對於國民經濟的發展有重大的意義。

譬如，蘇聯每年要生產一億多個齒輪，其中約有60%為3~4級精度的齒輪。如果將這些齒輪全部採用熱軋法來製造，可以得到下列的經濟效果：

- (1) 省去10,000台切齒機床；
- (2) 節約50,000噸合金鋼；
- (3) 節約大量製造切齒刀用的貴重金屬。

蘇聯哈爾科夫拖拉機廠已成功地運用了高效率的熱軋、冷軋複合加工工藝，軋出的齒輪達到了2級精度。因此，使熱軋齒輪的使用範圍更為廣泛。

我国在最近一年来，热軋齿輪这一工艺有了很大的发展。在社会主义总路綫的光輝照耀下，在超英赶美大鬧技术革命的形势鼓舞下，重工业特别是机械工业必須快馬加鞭迎头赶上，以适应国民經济发展的需要；許多工厂发挥了敢想敢干的共产主义风格，先后試軋成功。为了更好更快地将这个新技术推广并应用到生产中去，我們把工作中得到的試驗結果和从苏联书籍上看到的一些資料綜合介紹出来，供大家参考。

由于笔者学識淺鮮，編写時間又很仓卒，錯誤或遺漏在所难免，尚祈工程界前輩及讀者們提出指正。

編 者

1959年7月1日于沈阳

目 次

前 言

第一章 概 述	1
一 什么叫热轧齿輪.....	1
二 热轧齿輪的优点.....	2
三 热轧齿輪法的分类.....	4
第二章 齿輪毛坯的加热	7
一 齿輪毛坯的塑性.....	7
二 用高频感应加热齿坯的方法.....	9
三 現有几种加热齿坯方法的比較.....	15
四 用土法加热齿坯的几个問題.....	17
第三章 热轧齿輪的工艺	19
一 齿坯的分度.....	19
二 齿坯的尺寸.....	20
三 軋輪的形状.....	22
四 齿坯的加热温度.....	24
五 加工速度与軋輪反轉的軋制方法.....	26
第四章 工作軋輪的設計和制造	29
一 軋輪材料及其使用寿命.....	30
二 軋輪的設計.....	31
三 軋輪的制造.....	34

第五章 热軋設各	36
一 热軋夹具	36
(1) 軸向送进夹具	
(2) 徑向送进夹具	
二 专用軋齿机床	39
(1) X.T.3型徑向軋齿机	
(2) 日本的徑向軋齿机	
(3) ЦКБММ—22型軋齿机	
(4) ЦКБММ—61型軋齿机	
三 軸向送进、徑向送进軋齿机的比較	46
第六章 热軋齿輪精度和它的精加工	47
一 影响热軋齿輪精度的因素	47
二 热軋齿輪的質量	42
三 热軋齿輪的精加工	50
附 录	
1. 齿輪模数.....	58
2. 圓柱齿輪嚙合几何学的主要术语和定义	58
3. 直齿圓柱齿輪的計算公式 (未修正的)	60
4. 嚙合要素偏差的术语及代号.....	62
5. 圓柱齿輪傳动的偏差及公差 (摘自ГОСТ1643—46)	66
6. 公法綫測量齿厚的公法綫长度 J_0	68
7. 齿輪加工机床的主要規格.....	84
8. 軸向送进的工作軋輪圖.....	85
9. 徑向送进的工作軋輪圖.....	86

第一章 概 述

一 什么叫热 軋 齒 輪

热軋齒輪是利用金屬的塑性变形,將鋼料加热到塑性状态,用带齿形的軋輥(軋輪)軋出輪齒的加工方法。

大家知道,在常温下用搓絲板或搓絲輪碾軋螺絲,就是利用金屬的塑性变形把棒料周圍的金屬碾壓成螺紋狀。如果把搓絲板換成齿条形工具,或者將搓絲輪換成軋輪來碾壓,就會得到齒輪。

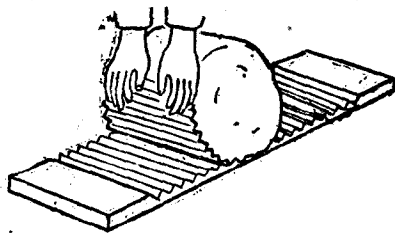


图 1

为了易于理解,現在再举一个例子。我們如果把面粉用水調好,揉成棒狀,作为假想的齒輪毛坯。取一块洗衣板,把揉好的这块棒狀面团放在洗衣板上搓动,表面上就会形成凹凸形状(如图1)。这时面团沒有切下,只是周圍发生变形而已。

假如將“洗衣板”弯成一个圓形工具(軋輪),使齒輪毛坯在这个工具上滾动,則不用从齒輪毛坯上切下金屬切屑,就

可以軋出齒來。這樣制成的齒輪便是軋制齒輪。

利用軋制法，在齒輪毛坯上作出齒形的时候，如果是在常溫下進行加工的則稱為常溫軋制法（冷軋法）。對於鋼質小模數齒輪（ $M \leq 1$ ），可以採用此法。但對於模數較大的齒輪，由於齒形較深，在常溫下鋼的塑性不能滿足這種變形的需要，所以要用加熱的方法來提高金屬的塑性，使齒輪毛坯象面粉摻上了水那樣變得柔軟，這樣才能制成齒形。這種對加熱後的齒輪毛坯進行軋齒的方法，就叫做熱軋齒輪法。如圖2所示，利用高頻加熱用的感應圈（2）先將齒坯輪緣加熱至塑性狀態，接着開始軋輪（1）的“進刀”，將齒坯（3）的輪緣逐漸擠壓呈輪齒形狀。

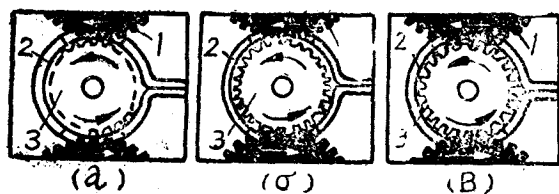


圖2 (a) → (b) → (c) —— 軋輪“進刀”

二 熱軋齒輪的優點

熱軋齒輪的優點很多，下面僅舉出一些主要的優點：

(1) 熱軋齒輪的生產率極高，一般比切削加工的生產率要高10到40倍。譬如用切齒機床作一個模數為1.5、厚1.2厘米的齒輪，需要4分鐘；用熱軋法只要10秒鐘。蘇聯“紅色冶金工人”工廠在熱軋機床上軋制模數1.5、齒數為23的齒輪時，每小時生產200個；熱軋模數為1.5、齒數為42的齒輪時，每小時生

产167个。与切齿法比较，生产率提高了十几倍。

(2) 能大大减少机床的数目，节省生产面积、节省生产工人和节约投资（见表1）。并且，对操作工人熟练程度的要求也低。

(3) 节省了大量的工具和工具的重磨费用，轧轮的寿命很长，因此使齿轮的制造成本低廉（见表2）。

表1

项 目	切 削 插 齿 法	热 轧 法
切 齿 机 床	50台	—
研 磨 齿 轮 机 床	3台	6台
轧 齿 机 床	—	1台
工 人	15人	4人
投 资 额	100%	26%

表2 滚齿、插齿、热轧齿工序的成本分析

工序名称	工具及重磨费用	工具的寿命 (到完全磨损为止)	每一产品的加工费用	工序全用	与热轧齿之比
	卢 布	加工件数	戈 比	戈 比	%
滚 齿	214	4000个	37.3	42.3	1880
插 齿	246	3500个	26.1	33.1	1410
热 轧 齿	80	30000个	2	2.27	100

(4) 加工过程中没有切屑，因而节省了大量的金属材料。例如，在苏联哈尔科夫厂设计的轧齿机上热轧齿轮时，与切齿法比较，可节约金属10~25%。

(5) 由于热轧齿輪表面具有很硬的金屬层，金屬纖維不象切制齿輪那样被割断（见图3），所以輪齿的强度高，齿面的光洁度也較切制的齿輪好。因此它的寿命高，工作时的噪音也小。

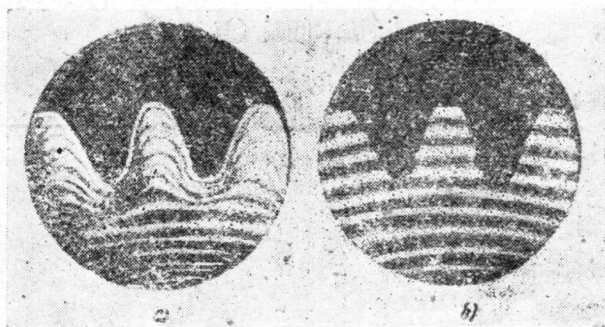


图3 a) 轧制的金屬紋路；b) 铣制的金屬紋路。

綜上所述，可以看出热轧齿輪在生产率、产品質量和节约金屬等等方面都更符合多、快、好、省的原则；尤其在目前缺乏切齿设备的情况下，推广和运用生产齿輪的新工艺，就更有其现实意义。

从科学技术的发展上来看，热轧齿輪縮短了从原材料到成品（齿輪）的生产过程，完全符合“精密鍛造——光整加工”的机械制造发展原则。因此它将成为齿輪制造的发展方向。

三 热轧齿輪法的分类

根据轧齿工具的形状，轧齿法可分为三类：

使用齿条形工具来轧輪齿的（见图4(a)），称为齿条形轧

齿法。用齿輪形工具（軋輪）来軋輪齿的，如图4（b）所示，称为小齿輪型軋齿法。使用內齿輪型作为軋齿工具的，則称为內齿輪型軋齿法（如图4（c））。

齿条形軋齿法对軋制細小工件，如帶軸小齿輪或漸开綫花鍵軸等，很有成效。但遇直徑較大的齿輪时，則齿条形工具必須很长，在工作上就感到困难。

內齿輪型軋齿法，使用的工具与齿坯的接触部分很大，并且工具的齿形是凹型的曲綫，与軋出輪齿之間の間隙很小，因此輪齿的成型

良好，軋出齿輪的精度也較高。但是，內齿輪型的工具很大，要制得較高的精度极为困难。

小齿輪型軋齿法，使用的工具为普通的齿輪，这种工具制造簡單，操作也比較容易。因此，一般都采用这种軋齿法来热軋齿輪。

在小齿輪型軋齿法中，按照軋輪送进方式的不同，基本上可以分为軸向送进軋制和徑向送进軋制两种。

軸向送进軋制法是采用轉动的齿輪毛坯，从轉动的軋輪中間一次通过的送进方式（如图5）。图中：1——分度齿輪；2——軋輪；3——組齿坯；4——下面的齿坯；5——心

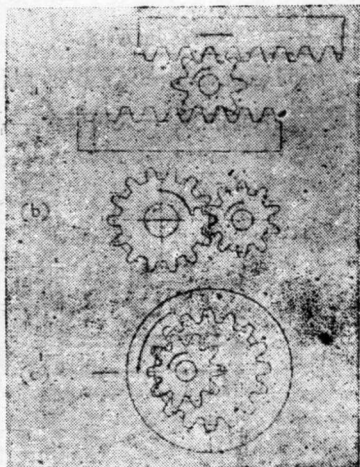


图 4

轴；6——齿坯送进方向；7——加热齿坯用的感应圈；8——上面的齿坯。径向送进轧制法是采用转动的轧轮逐渐向转动的齿坯挤压，而最后使轮齿成型的送进方式（如图6）。图中：1——轧轮；2——轧轮挡板；3——齿坯；4——心轴；5——轧轮送进方向。

径向送进轧制法只能单件轧制，故又称为单件轧制法。而轴向送进轧制法，一次可轧制一组齿坯，因此称为多件轧制法。

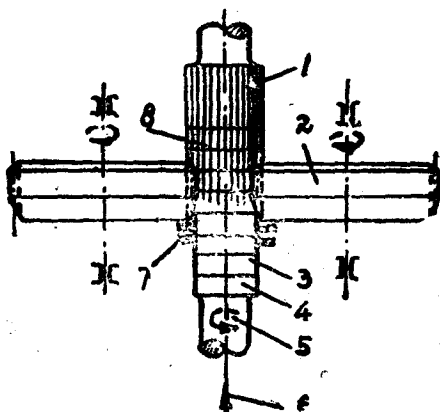


图5 轴向送进轧制法

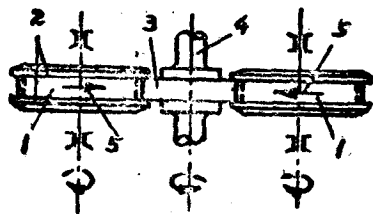


图6 径向送进轧制法

第二章 齒輪毛坯的加熱

一 齒輪毛坯的塑性

軋制和其他的壓力加工一樣，是以金屬的塑性為基礎，即金屬在外力作用下，形狀發生變化，而材料並沒有被破壞。因此，要求齒坯具有良好的塑性。

工業用的金屬中以鉛的塑性最大。鉛在室溫下受壓力作用很容易變形。圖 7 為在室溫下由於軋輪的作用擠出齒型的情形。但是，一般齒輪所用的材料，例如，碳鋼或合金鋼在冷態下的塑性較差，這時金屬的塑性遠不能滿足擠出輪齒所必需的變形。



圖 7

怎樣才能提高齒坯的塑性呢？為了解答這個問題，先應該研究一下應力——變形圖。金屬受外力作用後，即產生變形和應力。變形一般可分為二個階段：彈性變形階段和塑性變形階段。如圖 8 所示，在應力低於屈服點 $S_s(\sigma_{0.2})$ 時僅有彈性變形發生，應力再增加時（但小於破裂抗力 S_k ），便發生塑性變形。為計算方便起見，現用一折綫 OAB 來代表該曲綫（虛綫）。傾角 α 的正切即代表所謂的塑性係數 D 。

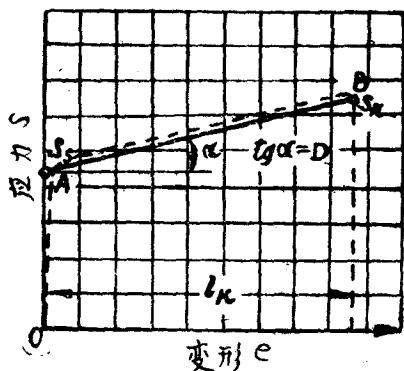


图8 真应力—变形图

由图可知:
$$D = \frac{S_k - \sigma_{0.2}}{l_k}$$

或
$$l_k = \frac{S_k - \sigma_{0.2}}{D}$$

換句話說，金屬的總塑性由破裂抗力、屈服點與塑性係數而定。

雖然 $\sigma_{0.2}$ 與 D 都是隨溫度的升高而急劇降低的，但 S_k 的變化程度則較小。所以塑性 (l_k) 是隨着溫度的升高而大大增加的。由此可知，要使塑性增加，使軋齒變得容易，必須對齒坯進行加熱。

現在的問題是什麼溫度最適於軋齒呢？塑性變形實質上是金屬晶格發生滑移，同時在滑移平面上產生許多細小的破碎晶粒，使滑移變得困難。因此，隨着金屬加工程度的增加，塑性地降低（即發生強化），當達到一定的變形程度後繼續加工是不利的或根本不可能。為了使該種金屬有可能進一步的加工，

需要使金屬再結晶，使金屬的性質發生相反的变化：塑性升高，剛度降低。因此，在再結晶溫度以下，顯然是不適合於軋齒的。必需將齒坯加熱到再結晶溫度以上，這樣在軋齒變形過程的同時，進行着再結晶——軟化——的過程。這就使齒坯在軋齒過程中一直保持很好的塑性。

其次，軋齒時只要求齒坯輪緣的金屬發生塑性變形，而擠成齒槽。因此，最理想的齒輪毛坯是輪緣十分柔軟，而越向中心越硬，越有剛性。如果輪緣和中心部分都同樣柔軟，那末當外部在軋齒時，齒坯的內部也隨之發生變形，這樣軋制出來的齒輪質量不會很好。

二 用高頻感應加熱齒坯的方法

(1) 簡單原理：

當一個線圈放在交流磁場中，線圈內便會產生交流感應電壓。假如使這一線圈的两端短路，那末因交流電壓而在線圈導體內可以產生電流。今在感應圈中通以交流電（產生交流磁場），并把齒輪毛坯放在中間（如圖9），這時齒坯（金屬物體）的作用正彷彿一個兩端短路的單匝線圈。于是在齒坯內也發生電壓和電流，這交流電流也即所謂渦流。這樣由於焦耳熱而使金屬體自身發熱。當感應圈內交流電的頻率很低時，整個齒坯加熱很均勻，隨着頻率的增加，渦流逐漸集中於表面。當使用高頻電流時，渦流全集中在齒坯的表面（見圖10），因此齒坯輪緣加

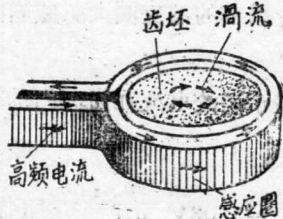


圖 9

热很快。

假通入感应圈内的高频电流为 I_1 ，由于通入电流 I_1 而使齿坯表面所感应的涡流为 I ，则表面所发生的热量为：

$$H = I^2 R t / J \quad (\text{卡})$$

式中：J——热当量。

从上面的公式可以看出，涡流 I 越大，加热的時間越长，则发热量也就越大。我們要求齿坯輪緣在短時間內达到所需温度（使热量来不及傳到齿坯的心部），則必須增大涡流 I 。而 I 又由高频电流 I_1 而定。因此要縮短加热時間，必須使高频裝置的輸出功率增大。

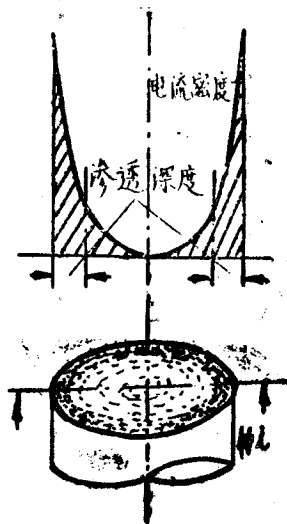


图 10

I 与 I_1 的关系为： $I = A \cdot I_1$ 。式中 A 为結合系数，它取决于感应圈与齿坯的結合状态，如感应圈的形状和尺寸、与齿坯的間隙、齿坯的导磁率等等。使用同心圆形的感应圈时，結合系数 A 就比扇形的感应圈大。感应圈与齿坯的間隙越小，則 A 也越大。

图10表示涡流电流在齿坯內的分布状况。渗入深度 Δ 由下式确定：

$$\Delta = 5.03 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}} \quad (\text{厘米})$$

式中： ρ ——电阻率（微欧——厘米）；

μ ——导磁系数；

f ——电流频率（周/秒）；

当8000周/秒时， $\Delta \approx 0.55$ 厘米；

当2500周/秒时， $\Delta \approx 1.0$ 厘米。

（2）具体的应用：

热轧齿轮时，要求的加热条件是：

①齿轮毛坯轮缘的加热温度为900~1050°C（再结晶温度以上），在轧制过程中要保持这一温度。

②为了满足对齿坯内刚外柔的要求，齿坯的加热层深度要为热轧齿轮模数的二倍。

③齿坯心部的温度要低，以保持心部的刚性；因此加热的速度要快。

④轧轮及安装用的夹具等不应该受热。

⑤加热装置不应妨碍轧制操作。

为了实现上述条件，应该怎样加热才好呢？要使齿坯轮缘很快的升到热轧温度，而内部温度不上升，必须缩短加热的時間。因为加热時間一长，齿坯轮缘的热便傳到了内部。为此，必须加大齿坯上所生的涡流；最主要的是感应圈与齿坯之間要保持良好的結合，即結合系数要大、效率要高，这样高频的热力就能很快的渗入齿坯中。結合最好的感应圈是同心圆形的感应圈。圆形感应圈在轴向送进轧齿时采用得很广泛。对于徑向送进轧齿，在轧制时必须将感应圈移开（见图11），以使轧轮与齿坯咬合。但在轧制时温度会迅速下降，齿坯又变硬，这样对轧制就不利了。图12所示的同心圆形感应圈，铜管在两个地方横着折曲过来（感应圈是由铜板或铜管制成的，内部通以冷