

齒輪強度的提高

[苏联] B. П. 奧斯特羅烏莫夫 著
M. A. 叶利札維京



國防工業出版社

齒輪強度的提高

〔苏联〕B. П. 奥斯特罗烏莫夫 M. A. 叶利札維京著

曹北武、佟基安譯



國防工業出版社

1965

內 容 簡 介

本书对齿輪强化的基本方法如化学热处理、表面淬火、塑性变形处理和齿輪工作表面上鍍以高使用性能金屬等方法进行了研究，并提出在实际工作中选择强化方法的建議和对其经济效果的評价。

本书供工程技術人員参考。

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

〔苏联〕В. П. Остроумов, М. А. Елизаветин

МАШИГИЗ 1962

*

齿輪强度的提高

曹北武、佟基安譯

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印張3³/₁₆ 67千字

1965年2月第一版 1965年2月第一次印刷 印数：00,001—14,150册

統一书号：15034·834 定价：(科七) 0.46元

目 录

序言	4
第一章 生产特点、磨損类型和試驗方法	5
1 生产工艺特点	5
2 磨損和断裂的类型	17
3 試驗方法	22
第二章 强化法的分类及实质	33
第三章 化学热处理 (热扩散) 强化法	44
1 渗碳	45
2 氮化	58
3 氰化	61
第四章 表面淬火强化	64
1 高频加热淬火	64
2 气体火焰淬火	71
第五章 塑性变形强化	81
1 喷丸处理	81
2 滚輪滚压	92
3 冲击	97
第六章 在工作表面上鍍以高使用性能金属层的 强化法	99
第七章 强化法的选择和对其經济效果的評價	101

序 言

齒輪乃是機器和儀表中最常用的零件。在機器製造業的生產實踐中，推行提高齒輪疲勞強度和可靠性的現代化方法將有助於製造出更為可靠的和耐用的機器與儀表。提高齒輪疲勞強度的主要方向之一就是採用現代化工藝方法來強化鋼材以提高其硬度。在齒輪生產中最普遍採用的方法有化學熱處理（滲碳、氮化、氰化），表面淬火（高頻加熱 淬火、氣體火焰淬火），塑性變形強化（噴丸處理、滾輪滾壓、衝擊）和在工作表面上鍍以高使用性能金屬的強化。

本書對上述各種方法的實質、所用設備、工藝規程和提高齒輪疲勞強度方法的應用均作了詳細研究。

為了獲得能保證齒輪具有最好耐用性和可靠性的結構和加工規範，在設計和生產過程中對齒輪所作的各項試驗有着很重要的意義。正是為此目的，本書一開始就對齒輪生產的特點、磨損類型和試驗方法進行了研究。

第一章 生产特点、磨損类型和試驗方法

1 生产工艺特点

現代化機器和儀表中所採用的齒輪，其直徑從3毫米到9米，模數從0.05到75毫米。

齒輪的使用條件也極不相同。例如，齒輪的轉速有時可達200米/秒，在中等模數齒輪上的單位負荷可達1500公斤/厘米。周圍介質的溫度有時高達數百度。

採用現代化的化學熱處理和機械加工來強化鋼材以提高其硬度，乃是提高齒輪質量的主要方向之一。

在實際應用中有直齒、斜齒和人字形正齒輪，直齒和斜齒的內嚙合正齒輪，直齒和曲線齒的錐齒輪以及蝸輪。對齒輪材料、製造精度和精加工質量以及強化的要求是按齒輪的用途和使用條件來確定的。圖1所示的齒輪標出製造上的一些技術條件。像這種齒輪在航空製造業中使用較多，因此，齒輪必須具有最小的外廓尺寸和重量。同時，這些齒輪應能傳遞較大扭矩並具有很高的精度和可靠性。

上述各項要求對齒輪製造的工藝過程及其材料的選擇有很大的影響。齒輪用特種高合金鋼製成並採用強化加工法以及輪齒齒型磨削、精研和很多按各項要素檢查的精加工的特種工藝過程。圖1所示為齒輪的製造工藝過程，列於表1。

製造高速傳動齒輪最常用的材料是12XH3A, 12X2H4A, 18XMA, 20XH3A等牌號的鉻鎳高合金滲碳鋼。應當指出，由於這些材料具有良好的抗彎疲勞斷裂強度和高的接觸疲勞

强度，上述牌号的铬镍钢最好用来制造重载荷齿轮。

为了提高强度，齿轮的全部表面都应进行机械加工、渗碳和淬火。采用磨削作为精加工工序，不仅对齿侧表面，而且对齿间底部也需进行磨削。磨削必须采用在不产生烧痕的规范下进行，为了提高可靠性应查明有无烧痕并用物理检验法（磁力和超声波探伤法）检验以发现磨削裂纹和金属的其它缺陷。为了消除金属在机械加工时产生的内应力，通常规定要热处理，并必须根据工艺规程规定的一段时间内完成。

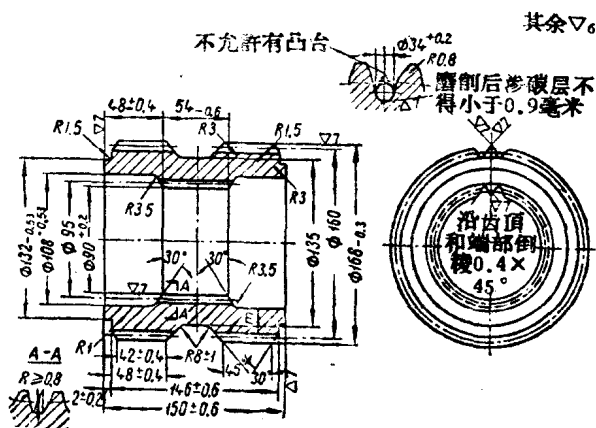


图1 齿轮的外径啮合模数 $m = 4$ 毫米，齿数 $z = 40$ ，原始齿型角 $\alpha_0 = 20^\circ$ ，花键数 $z_u = 38$ ，内径啮合模数 $m = 2.5$ 毫米，原始齿型角 $\alpha_0 = 30^\circ$ 。制造技术条件：

- 1—全部渗碳，渗碳深度 $1.1 \sim 1.3$ 毫米，淬火，渗碳表面硬度等于或大于 $62HRC$ ，心部硬度 $31 \sim 41HRC$ ；
- 2—花键与相配合的零件研配，贴合度不得少于全长的80%；
- 3—修钝齿顶两侧外缘，半径为 $0.6 \sim 1.0$ 毫米。

对汽车、机床、拖拉机的齿轮所提出的完全是另一些要求。汽车上用的齿轮很少进行磨齿。制造齿轮时通常采用这样的过程如：剃齿和研齿并采用综合检验法和啮合噪音检查。

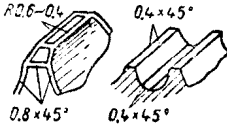
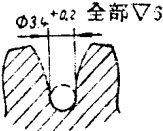
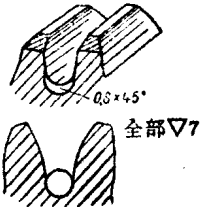
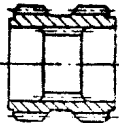
表 1 齒輪製造的工藝規程

工序 号	工 序 内 容	工 件 草 图	設 备
1	輪轂定中心，車 外圓表面到卡爪， 車第一端面		111365 型六 角車床
2	最后車外圓，鏜 孔，車第二端面		111365 型六 角車床
3	热处理	—	—
4	从一端轉車外圓 表面，鏜孔及槽		111365 型六 角車床
5	从另一端精車外 圓表面，鏜槽		111365 型六 角車床

工序号	工 序 内 容	工 件 草 图	設 备
6	磨削内孔和第一端面		3A 240 型内圆磨床
7	磨削第二端面		371M 型平面磨床
8	磨削外圆		312M 型外圆磨床
9	精车凸肩及倒棱, 鉸槽使底部形成圆根, 并从一侧倒圆		1A 62 型车床

(續)

工序号	工 序 内 容	工 件 草 图	設 备
10	精車凹槽并在零件外圓上倒棱, 車凸肩并鏜槽使底部形成圓根, 从另一側倒圓		1A62 型車床
11	插削漸開綫花鍵		514 型插齿机
12	銑齿		5A32 型滾齿机
13	預磨花鍵		专用磨齿机

工序号	工序内容	工件草图	设备
14	钳工加工輪齿 (倒棱并倒圆外徑 和內徑上的銳边)		钳工台
15	磨削齿間		花鍵磨床
16	钳工加工 (倒圆 齿間端部的銳边并 拋光齿間)		钳工台
17	中間檢驗几何尺寸	—	檢驗台
18	热处理 (渗碳和 淬火)	—	—
19	研磨端面		平台

(續)

工序号	工 序 内 容	工 件 草 图	設 备
20	磨削第二端面		361M-1型 平面磨床
21	热处理——零件 回火 (应在第20道 工序完成后 1.5 小 时内进行)	—	回火炉
22	磨削外圆		312M型外 圆磨床
23	磨削花键齿型和 齿间底部		专用磨齿机
24	磨削齿侧表面 (并检验齿型)		5861型磨齿 机

(續)

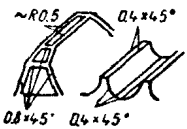
工序号	工 序 内 容	工 件 草 图	設 备
25	热处理——零件 回火 (应在第24道 工序完成后1.5小 时内进行)	—	回火炉
26	酸洗 (为了查明 烧痕)	—	酸洗槽
27	钳工加工并倒圆 齿上和花键上的全 部锐边		钳工台
28	抛光齿型	—	抛光机
29	在磁力探伤器上 预先检查零件	—	磁力探伤器
30	全部最后检查零 件	—	成套仪表

表 2 汽車拖拉機制造业生产齒輪用鋼的強度極限、
屈服點和疲勞極限

鋼材牌號	熱處理溫度(度)		強度極限	屈服點	疲勞極限(公斤/毫米 ²)		
	淬 火	回 火	σ_B (公斤/毫米 ²)	σ_m (公斤/毫米 ²)	$(\sigma-1)_p$	$\sigma-1$	$\tau-1$
35XГC	890	450	115.0	100.0	50~53	51~54	22~25
40XH	830	520	90.0	75.0	29.0	40.0	23~25
30XMA	880	560	95.0	75.0	—	47.0	—
12XH3A	860	560	95.0	70.0	27~32	39~47	22~26
18XHBA	950	200	115.0	85.0	36~40	54~59	33~36
	850						
35XMA	870	200	160.0			65.0	
	870	400	145.0			60.0	
	870	600	105.0			40.0	

在选择制造任何一种齿轮的钢材牌号时，一般来说，首先应考虑到材料的物理机械性能是否符合于根据这种齿轮使用条件所提出的那些要求。例如，40XГТ 鋼的含碳量比 18XГТ 鋼的多，宜于用来制造模数在 5 毫米以上的重载荷齿轮。汽车拖拉机制造业的齿轮是用 18XГТ、40XГТ、30XM、30XГC、40XH、12XH3A、18XHBA、35XMA、12X2H4A 等牌号的鋼制造的。表 2 中列有上述这些牌号鋼材的机械性能和疲劳极限。

现代化金属切削机床的所有齿轮有一半以上是用 45 和 50 牌号碳素鋼制造的，机床齿轮有很大部分（約 30%）是用 40X、45X 牌号鉻合金鋼制造的，而大約 12% 的齿轮則是用 20X 牌号鉻合金鋼制造的。在机床制造业中对 18XГТ、40XГТ、12XH3A 等牌号合金鋼目前采用得还比較少。为了提高齿轮工作时的允許温度规范并力图提高大型齿轮傳动件的硬度曾大量地采用了 38XMIOA 和 35XHIOA 牌号的氮化鋼。

应当指出，最近出现了新牌号的鋼如：能改善淬透性的加有硼的鋼；在热处理时能保証变形最小的鉻鉬鋼；具有細晶粒組織对过热敏感性小的加有鋇的鋼；淬透性差且外廓上能进行高频淬火而芯部硬度低的鋼。但对齿轮來說，特别是在普通机器制造业方面，上述这些新牌号的鋼目前使用的还不多。

起重运输机器的齿轮通常是用調质鋼制造的，随后不再进行热处理。只是在近几年，起重运输机器的齿轮开始采用了强化法。对在低速和受力不大条件下工作的齿轮齿圈除用鋼材外，还广泛采用 C415-32 和 C424-44 牌号的鑄鉄制造，

而对蜗輪和螺旋齒輪則用青銅制造。

目前，在齒輪制造方面广泛采用非金属材料。对于速度在 40~45 米/秒以下工作的齒輪采用塑料、夹布胶木和尼龙等材料，效果良好。用这些材料制成的齒輪，特点是工作中无噪声，傳动平稳并能吸收振动。最近开始采用粉末冶金，即用 96% 的铁、3% 的銅和 1% 的碳在 1160~1180°C 温度下燒結来制造齒輪。由于采用了粉末冶金，成功地提高了齒輪的耐磨性，降低了金屬的消耗量和加工的劳动量。

制造毛坯的方法对齒輪的使用性能、加工工艺和金屬消耗量有很大的影响。鋼制齒輪用軋件、鍛件和模鍛件制成。

直徑在 50 毫米以下不同形状的正齒輪以及直徑在 65 毫米以下无輪轂的平齒輪最好用棒材切截而成的毛坯制造。外徑大于 50 毫米的正齒輪多半是用自由鍛造和墊模或閉合模鍛成的鍛件制成的。閉合模鍛成的鍛件的尺寸精度在 5~7 級範圍內，不仅加工余量少，而且质量較高。用上述这些鍛件制成的齒輪一般來說，耐磨性較高（与用軋件制成的齒輪相比）和弯曲試驗时的疲劳强度較高。

近几年来，在提高齒輪质量的同时，在寻求生产率更高的齒輪制造方法上也給予了很大的注意。熱軋或冷軋齒輪就是这些制造方法中的一种。

直徑为 60~420 毫米的直齿、螺旋齿和人字齿的正齒輪可在 ЛКБММ-58 型軋鋼机上熱軋。毛坯在感应器中高频加热，且被送到軋鋼机的下分配輥上，分配輥的托架相互靠近直到剛性擋鉄为止，然后将带有初軋齿的毛坯傳送到校准輥上，校准輥相互靠近是用終点开关限制的。熱軋时輪齿的形成是由于金屬塑性变形的結果，其特性由各个方向的压缩条

件而定，这将使金屬組織紧密并使紋路按齿廓形定向。外层組織被压实得特別紧密，这将会大大地提高疲劳强度和耐磨性。例如，軋制齿的靜荷抗断强度和耐磨性比銑制齿要大到1.5~3.0倍。

尽管不同用途的齿輪在制造上有上述許多特点，但是还可以根据其形状制訂出典型工艺規程。图2中列出了包括蜗杆、齿条和扇形齿輪在內的最通用的各种結構形式的齿輪。这些齿輪按其形状可分成下列几类：

- 1) 套式齿輪 (图位 1, 2, 3, 4, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 22, 23, 25);
- 2) 軸式齿輪 (图位 5, 7, 8, 9, 15, 16, 21, 24);
- 3) 扇形齿輪 (图位 18);
- 4) 齿条 (图位 20)。

上面划分的每一种类都有其各自的加工特点，并且如上所述，由于这些齿輪的外形尺寸、嚙合特性和参数、齿輪材料等級、化学热处理方法、結構的基准位置、用途和生产批量都会影响制造过程，所以同一种类的工艺过程也可能各不相同。

齿輪制造的工艺过程一般分为两个阶段：第一阶段包括切齿前齿輪毛坯保証几何形状形成的全部工序，第二阶段包括切齿工序和切齿后与輪齿强化及其精加工和光加工有关的全部工序。第一阶段齿輪加工工序的性质和順序是根据齿輪的結構形式来决定的。第二阶段的加工过程在很大程度上取决于齿輪的用途和根据齿輪使用条件所提出的要求。

强化加工过程对第二阶段的加工順序和内容有很大的影响。例如，制造模数为5毫米和5毫米以上輪齿需渗碳和淬

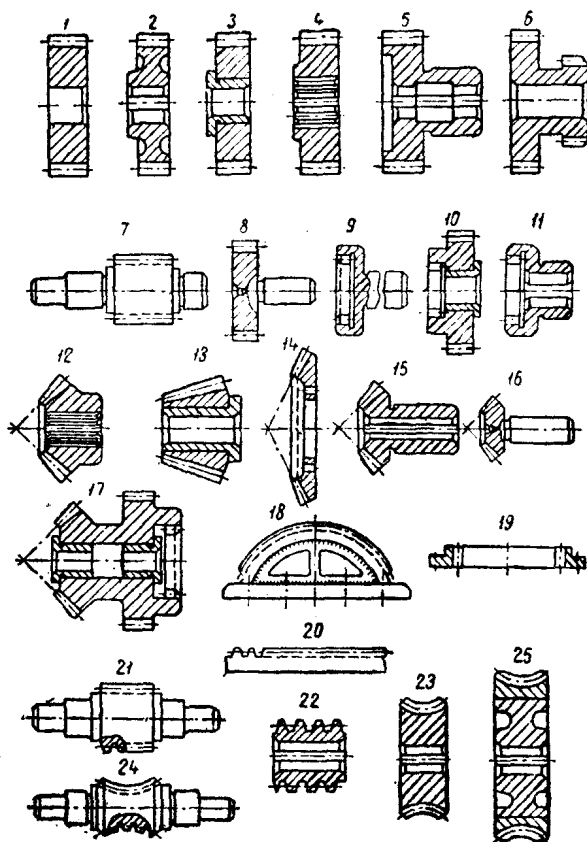


图2 齒輪的典型結構。

火的齒輪時最常見的是按下列順序加工的：切齒、中間檢驗、滲碳、機械加工、從非淬火的表面上切去滲碳層、熱處理、磨孔和端面、磨齒、拉削花鍵孔，最後檢驗。

第二階段還有另外一種加工齒輪方案。最常見的是用在汽車工業上。加工是按下列順序進行的：預切齒、精切齒、剃