

95-306

78.1.

圆弧齿轮

YUANHU CHILUN



上海市机电设计院

内 部 资 料
注 意 保 存

圆 弧 齿 轮

(不定期专刊)

1977年 第1期

(总第1期)

1977年1月出版

印数 5000份

上海市机电设计院印刷
新华书店(河南中路)内部发行

工本费 0.35元

毛主席语录

自力更生,艰苦奋斗,破除迷信,解放思想。

人类总得不断地总结经验,有所发现,有所发明,有所创造,有所前进。

中国人民有志气,有能力,一定要在不远的将来,赶上和超过世界先进水平。

我们不能走世界各国技术发展的老路,跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规,尽量采用先进技术,在一个不太长的历史时期内,把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

世上无难事,只要肯登攀。

前 言

我们热烈欢呼华国锋同志任中共中央主席和中央军委主席，热烈欢呼以华国锋主席为首的党中央一举粉碎“四人帮”反党集团篡党夺权阴谋的伟大胜利！这是无产阶级文化大革命的伟大胜利，是毛泽东思想的伟大胜利，是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利！

当前，革命形势一派大好，祖国大地到处莺歌燕舞，社会主义事业欣欣向荣，前途无限光明。就在这样的时刻，我们汇编了“圆弧齿轮”这份专刊。我们决心响应党中央的号召，以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，抓革命、促生产、促工作、促战备，鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义，进一步发展大好形势；决心按照毛主席提出的宏伟规划，为在本世纪内全面实现农业、工业、国防和科学技术的现代化，把我国建设成为社会主义强国而作出应有的贡献。

圆弧齿轮是飞跃中发展起来的一项新技术，特别是无产阶级文化大革命以来，新生事物不断涌现，圆弧齿轮也从单圆弧齿轮发展到一种更新型的、传动强度更高、传动性能更好的双圆弧齿轮，并且，在试验研究方面，已经取得了不少成果。

为了更好地开展圆弧齿轮的试验研究和应用推广工作，上海市机电一局指定我院为圆弧齿轮技术归口单位。在局的直接领导下，按照一机部、局和上海市、局关于双圆弧齿轮试验研究以及单圆弧齿轮减速器标准贯彻与推广计划，组成了由上海重型机器厂、上海汽轮机厂、上海工具厂、上海冶金矿山机械厂、上海起重运输机械厂、上海振动器厂、上海鼓风机厂、上海量具刀具厂、第一机床厂和上海机械学院等单位共同参加的双圆弧齿轮试验工作组以及局的ZQH圆弧齿轮减速器贯彻工作组开展有关工作。我们汇编这份不定期的“专刊”（内部技术资料），目的是为了进行广泛的技术交流和促进这项新技术获得更迅速的应用与发展。其内容主要报导高速和低速重载双圆弧齿轮的试验研究成果、设计计算、制造工艺、检测技术以及贯彻应用等方面的经验与资料。

我们的工作得到了一机部、局、机械研究院和郑州机械科学研究所的支持，也得到了太原、洛阳、沈阳、大连、唐山等很多地区兄弟单位的有力支持。我们将更好地向各兄弟单位学习，请将有关圆弧齿轮传动以及其他齿轮传动的技术资料与工作经验告诉我们，经常给我们指导。为了加强联系，随寄“齿轮情报卡”一份，请回寄至上海福州路89号我院标准组圆弧齿轮工作组。

由于我们的工作刚开始，汇编这份“专刊”缺乏经验；同时因编写时间仓促和水平有限，对错误之处，请批评指正。

上海市机电设计院

1976.12.

目 录

前 言

新型齿轮——圆弧齿轮	1
------------------	---

· 调 查 研 究 ·

上海地区部份钢厂轧钢机齿轮使用情况小结	3
★“67型”圆弧齿轮滚刀以及圆弧齿轮量具定点供应单位★	

· 试 验 研 究 ·

分阶式双圆弧齿轮的高速运转性能试验小结	上海汽轮机厂齿轮工部、设计科	11
ZQH 25圆弧齿轮减速器承载能力试验小结		
.....	上海振动器厂 上海机械学院机械零件试验室	16
ZQH 65圆弧齿轮减速器的试制与试验	上海起重运输机械厂	20
双线啮合诺维柯夫齿轮传动承载能力的研究		23

· 原 理 · 计 算 ·

双圆弧齿轮传动的啮合性质	徐忠义 华申吉	36
圆弧齿轮的强度计算		42
一、单圆弧齿轮传动强度的计算		
二、双圆弧齿轮传动强度的计算		
圆弧齿轮的原始齿廓及几何尺寸计算		49
一、单圆弧齿轮的原始齿廓及几何尺寸计算		
二、“S74”型双圆弧齿轮的原始齿廓及几何尺寸计算		
双圆弧齿轮弦齿深计算公式的推导		53

· 贯 彻 推 广 ·

以阶级斗争为纲贯彻 ZQH 圆弧齿轮减速器		
.....	上海市机电一局 ZQH 圆弧齿轮减速器贯彻工作组	54
贯彻 ZQH 圆弧齿轮减速器标准工作的汇报	上海振动器厂	56
减速器密封试验		
.....	一机部圆弧齿轮减速器系列标准工作组 上海市机电一局科技组情报站	58
ZQH 圆弧齿轮减速器承载能力的基本分析		63

附： 圆弧齿轮技术情报联系卡

新型齿轮——圆弧齿轮

1958年,在“鼓足干劲,力争上游,多快好省地建设社会主义”总路线的指引下,我国机械制造业战线的广大工人、干部、技术人员研究和发展了一种新型齿轮——圆弧齿轮。十多年来,特别是无产阶级文化大革命以来,有关工厂、院校和设计研究单位遵照毛主席关于“独立自主,自力更生”的教导,狠批刘少奇一类政治骗子鼓吹的“洋奴哲学”和爬行主义。抓革命,促生产,对圆弧齿轮进行了大量的科学研究工作,不仅自行设计和制造了一大批圆弧齿轮减速器和增速器供冶金、矿山、起重、运输、轻工、建筑、石油化工、造船和电力等各工业部门广泛使用,取得了较为显著的技术经济效果;而且,还发展了一种更新型的圆弧齿轮——双圆弧齿轮,取得了不少成果。

众所周知,圆弧齿轮在中、低速重载齿轮传动以及高速重载齿轮传动方面,与一般渐开线齿轮相比,具有很多优点,主要是承载能力大,传动效率高。因此,在实际使用中,有不少事例可以说明,圆弧齿轮不仅使用可靠,而且还具有强大的生命力。

首先是圆弧齿轮在轧钢机中的应用,效果十分显著。例如太原重型机器厂制造的中心距为2748毫米和3400毫米的大型圆弧齿轮减速器在1200薄板轧机中使用,其中一台2748毫米的圆弧齿轮减速器已经使用了十年,使用寿命比原来的渐开线齿轮减速器提高了好几倍。这台减速器重100吨,原来的高速齿轴和中间齿轴使用二、三个月就出现点蚀,使用一年就须更换,有时还发生断轴事故,以致经常影响轧钢生产,造成损失极大。但是,在改用圆弧齿轮以后,生产情况发生改变,不仅提前完成了轧钢生产任务,而且还降低了轧钢机组的功率消耗达15%,每年可为国家节约资金数十万元。太原重型机器厂为首钢设计制造的650圆弧齿人字齿轮机座,使用至今也已七、八年,说明用圆弧齿轮代替渐开线齿轮在轧钢机齿轮机座中使用,也是经得起考验的。此外,太原重型机器厂于1972年完成的1700四辊可逆冷轧机的人字齿轮机座以及4200厚板矫正机的主减速器均采用了圆弧齿轮。十多年来,洛阳矿山机器厂也设计制造了许多大型圆弧齿轮减速器,圆弧齿轮在轧钢机中的应用数量是不不少的。

又如鞍钢第一初轧厂24"连轧机主减速器,系德国克鲁伯厂制造,原为渐开线齿轮,主电机功率为2950千瓦,进料坯断面为196×196毫米,只轧普碳钢。随着轧钢生产的发展,进料坯断面不断增大,现在最大断面达250×260毫米,还要轧合金钢,于1955年起,主电机功率就增至4000千瓦。在此情况下,原减速器使用寿命仅一、二年,并曾发生断齿断轴事故,严重影响轧钢生产。1961年起,沈阳重型机器厂通过不断实践,设计制造了功率为4000千瓦达140吨的大型圆弧齿轮减速器,前述生产问题全部解决,目前的轧钢产量已为原设计的五倍。实践证明,圆弧齿轮用于轧钢工业生产是安全可靠的,使用寿命长,它的应用必将进一步扩大。

调查表明,圆弧齿轮在其余几个方面的应用也极为广泛,数量很大。

例如抽油机是石油工业战线的关键设备,由于抽油机负荷率很大,原有的减速器采用渐开线齿轮,使用寿命不能满足生产要求,但在改用圆弧齿轮以后,使用寿命就成倍提高。近五年来,兰州石油化工机器厂已生产了三、四千台抽油机圆弧齿轮减速器,有力地支援了石油工业生产。

在起重机械方面,上海起重运输机械厂在桥式起重机的行走机构中以及胶带输送机中均采用着圆弧齿轮,历年来,生产的圆弧齿轮减速器的总数已经超过一万台。特别是太原重型机器厂在350吨、400吨、450吨龙门吊主提升机构中也采用了圆弧齿轮,自行设计制造了中心距为1300毫米的圆弧齿轮减速器,使用情况很好。

此外，沈阳矿山机械厂、洛阳矿山机械厂、上海冶金矿山机械厂等单位在生产球磨机、卷扬机等矿山机械设备中也大量采用圆弧齿轮，自行设计制造的圆弧齿轮减速器总数已超过一万台，效果均很显著。

圆弧齿轮在中小型电站汽轮机、工业汽轮机、燃气轮机、鼓风机、透平压缩机等高速齿轮传动方面的应用也很突出。例如大隆机器厂早于1960年生产的300余台200立方米/分高炉鼓风机用圆弧齿轮增速器，功率为350千瓦，转速为10000转/分，由于采用圆弧齿轮而实现了产品改革，整机重量从8吨降至2.8吨，节约材料2000多吨。这些产品在全国各地20余个钢铁厂使用，至今已十多年。又如上海、杭州汽轮机厂和沈阳、上海鼓风机厂生产的350立方米透平空压机用圆弧齿轮增速器也有100多台，功率为1800千瓦，线速为72米/秒，在上海吴泾化工厂等单位使用，八、九年来，运行情况很好。在无产阶级文化大革命期间，沈阳鼓风机厂等单位还编制了“高速圆弧齿轮变速器系列”在鼓风机行业广泛采用。目前，我国已有十余个工厂生产高速圆弧齿轮，在已安装试车和投入运行的产品内，最高功率已达6000千瓦，最高线速已超过100米/秒，最高转速超过10000转/分。对齿轮传动有更高要求的例如大型制氧设备、合成氨设备、大型石油化工设备，要求最大传动功率达2~3万千瓦，转速在2万转/分以上，线速为120~150米/秒，而圆弧齿轮在这方面是很有发展前途的。

实践证明，这些高速齿轮如果采用渐开线齿轮，则制造工艺就会变得十分复杂。因为这种齿轮的工作表面硬度要求很高，还要求齿轮有很高的精度，并经常要求达到4级、5级精度。为了达到这些要求，除了齿轮本身必须使用高强度以及热处理性能好的合金钢以外，还须进行剃齿磨齿等工艺。换句话说，要加工高精度的渐开线齿轮，必须具备高精度剃齿机、齿轮磨床等条件。但是，这些条件并不是很多工厂都能具备的。例如有的工厂在生产750千瓦、1500千瓦电站汽轮机时，曾采用渗碳淬硬磨齿的渐开线齿轮，由于缺乏磨齿设备而未磨齿，结果在开车试用时就发生断齿；又如山东掖县电厂一台1500千瓦电站汽轮机，改用调质精滚的渐开线齿轮，结果一年内损坏了三套齿轮，矛盾不能解决。但是，在采用圆弧齿轮以后，由于它的接触强度很高，它不要求有硬度的工作表面，也不要求剃齿、磨齿，而只需要调质精滚，以致工艺大大简化，加工周期缩短，并使制造成本大为降低。因此，原来不具备高速齿轮生产条件的工厂也都能生产高速齿轮。目前，我国生产的齿轮增速器中，大多是圆弧齿轮增速器，约占增速器总数的80%以上，而渐开线齿轮增速器只占很少一部份。

综上所述，圆弧齿轮有很多优点，因此，现在正处于应用推广阶段。但是，上述圆弧齿轮（单圆弧齿轮）也有不足之处，主要是它的弯曲强度还不够高，而小齿轮做成凸齿，大齿轮做成凹齿，加工时须用两把滚刀很不方便。因此就发展了双圆弧齿轮。

已如前述，双圆弧齿轮具有更多的优点，它克服了单圆弧齿轮须用两把滚刀加工的缺点，同时由于它在传动时参与接触的齿数较多，不论是接触强度或弯曲强度都有很大提高，并且传动平稳。太原重型机器厂、太原工学院、沈阳重型机器厂、上海汽轮机厂、上海冶金矿山机械厂等单位已进行的低速重载和高速重载的双圆弧齿轮的试验表明，使用双圆弧齿轮增速器或减速器不仅传动功率大，传动性能好，而且对于各种技术经济指标都将具有相当先进的水平，因此，它是一种很有发展前途的新型齿轮，是圆弧齿轮的发展方向。

圆弧齿轮的发展和应用具有十分广阔的前景。在毛主席的无产阶级革命路线指引下，在热烈庆祝华国锋同志任中共中央主席和中央军委主席以及粉碎“四人帮”篡党夺权阴谋的大好革命形势鼓舞下，全国人民决心继承毛主席的遗志，坚持以阶级斗争为纲，认真贯彻“抓革命、促生产”方针，有关圆弧齿轮设计制造和使用单位，也正在进一步组织起来，加速开展双圆弧齿轮的试验研究工作。我们深信，通过“实践、认识、再实践、再认识”，双圆弧齿轮这项新技术必然会达到更高的水平！

调 查 研 究

上 海 地 区 部 分

钢厂轧钢机齿轮使用情况调查小结

双圆弧齿轮是无产阶级文化大革命中发展起来的一项新技术。按照一机部1976~1977年科研计划与上海市机电一局1976~1977年科研计划,双圆弧齿轮在轧钢机中的应用与试验研究是双圆弧齿轮课题的重要内容之一。当前,由伟大领袖毛主席亲自发动和领导的回击右倾翻案风的斗争中,我们遵照毛主席关于“安定团结不是不要阶级斗争,阶级斗争是纲,其余都是目”的教导,坚持以阶级斗争为纲,坚持科研联系生产实际的方向,坚持“三结合”的道路,批判了脱离无产阶级政治、脱离工农群众、脱离生产实践的修正主义科研路线,以实际行动参加了上海地区有关钢厂的轧钢机齿轮使用情况的调查,从而掌握了第一性资料,获得了一定的成绩。

“科学的发生和发展一开始就是由生产决定的”。因此,从生产实际需要出发,为生产服务是开展双圆弧齿轮试验研究课题的根本原则和目的。这次调查的目的主要是从钢厂实际生产中选择一定数量的和具有代表性的轧机齿轮作为研究对象,拟采用双圆弧齿轮代替渐开线齿轮进行工业性试验。通过试验,不仅要解决生产上的某些矛盾,还将取得双圆弧齿轮的使用性能、承载能力与寿命提高的实际数据和直接经验,为1700冷连轧机和我国轧机齿轮中的进一步应用与推广提供可靠的依据和经验,走我国工业自己发展的道路。

因此,这项任务曾得到了一机部、局和有关单位领导的极大重视和支持,并在上海市冶金工业局和有关钢厂的积极支持下,我们从2月16日起至3月16日初步调查了上钢一厂、二厂、三厂、五厂、十厂和砂钢片厂等六个具有代表性的钢厂的轧机齿轮使用情况,计有大小减速机9台,人字齿轮机座7台。此外还调查了冷轧带钢厂的齿轮使用情况,现将调查的基本情况与我们的一些看法汇报如下:

一、基 本 情 况

无产阶级文化大革命以来,冶金战线上的广大职工在“鞍钢宪法”的指引下,大搞技术革命与技术革新,充分挖掘生产潜力,改造了一批陈旧的轧钢机械,不断地提高轧钢机的轧制能力,同时还制造了一批新型的轧钢机械,钢材的品种有很大的发展,产量增加,质量也达到了新的水平。

例如上钢五厂的750开坯热轧机,现在的最高年产量达到 $\times\times$ 万吨,比文化大革命以前提高1.6倍。上钢二厂生产的线材是短线产品,现在的400线材轧机年产量达到 $\times\times$ 万吨,比解放初期提高了30多倍,轧制速度达到15米/秒,超过设计能力一倍。又如上钢十厂500热轧机的年产量也要比文化大革命前增长三倍以上。

随着轧钢工业生产的迅速发展,轧钢机的负载能力也逐渐增大。例如上钢十厂的500轧机,其电机功率从1000千瓦改到1600千瓦;上钢三厂的650热轧机,主电机容量却从2300千瓦增加到3200千瓦。这说明轧钢生产正向着高速度、大功率方向发展,要求越来越高,这正是当前轧钢生产的主要特点。

轧钢机主减速机与人字齿轮机座是轧钢厂的关键设备,它的好坏与轧钢生产有直接的影响。我们重点调查了一些使用较好的齿轮。例如前述上钢十厂500热轧机主减速机 $A=1400$,

大小齿轮均经表淬,从59年10月至今已使用15年以上,除大齿轮齿根部分有局部剥落以外,小齿轮使用情况很好。又如上钢二厂的350和400线材轧机的齿轮机座,500热轧机齿轮机座,齿轮寿命均在10年以上,达到了国内轧钢机齿轮使用质量的先进水平。

在生产实践中,上述各厂对于齿轮的制造和使用,也摸索和积累了很多好的经验。主要是:

1. 正确选择齿轮的设计参数方面:例如上海矽钢片厂950热轧薄板轧机主减速机 $A=3000$, $N=1000$ 千瓦,原设计高速级齿轮模数 $m_n=18$,低速级 $m_n=30$,在使用一个月后齿面就出现了点蚀,后改用较小的模数 $m_n=14$ 和 $m_n=24$ 并采用较多的齿数,经过多年的反复使用比较,认为减小模数增加齿数的办法可获得较好的传动性能,由于齿面接触应力的降低,齿轮的使用寿命也相应的延长了好几年。

2. 齿轮的材质方面:上钢二厂对于小齿轮曾采用40Cr和50Mn2,大齿轮用55Mn等不同材料进行对比,实践证明材料用锰钢比较耐磨,除个别齿轮也有损坏外,有的已使用10年,磨损量仍很小。因此,在较多的减速机中齿轮均采用50Mn2和55Mn制造。但是这种材料有热脆性,切削性能也较差,刀具易于磨损,在其余钢厂很少采用。

3. 齿轮的热处理方面:很多钢厂认为轧机的冲击负荷很大,冲击次数频繁,齿轮采用软齿面(调质或正火)较好,不易因断齿而影响生产。因此所调查的这些钢厂,基本上都是以软齿面为主。

4. 严格建立定期检查检修制度。上钢十厂四车间500轧机主减采用40~50号机械油润滑,平时加强观察清除微粒,每半年换油一次,有效地提高了齿轮的使用寿命。

但是,在调查中,我们也看到不少齿轮,包括主减速机齿轮,辊道齿轮,特别是人字齿轮机座中的人字齿轮轴,由于承受的冲击负荷很大,齿轮本身的制造质量等多方面原因,齿轮损坏严重,使用寿命一般只有2~3年,最短的仅二个月。并且,只要不断齿,这些齿轮还得继续使用。

调查表明,齿轮的主要损坏形式不是断齿,而是轮齿表面的损坏——胶合、塑变、点蚀、剥落和磨损。

例如上钢十厂的五连轧冷轧机,为上海重型机器厂制造,其中2号机架的联合齿箱,人字齿轴材料为40Cr,虽经调质和表淬,但使用不到2年,齿面即发生严重剥落、塑变和胶合;5号机架的联合齿箱,十厂于75年10月自己更换了齿轴,至今使用才三个月,齿面已发生塑变和点蚀(见汇总表序号7)。这台轧机的轧制线速为2米/秒,还未达到原设计4.5米/秒的要求。上钢三厂2300中板热轧机的齿轮机座 $A=800$, $N=2300$ 千瓦, $m_n=45$ 的人字齿轴,仅使用半年齿面就严重塑变和胶合,齿形全部破坏。又如上钢一厂650热轧机的齿轮机座 $A=650$, $N=2300$ 千瓦,三班制工作,轧制力矩从过去的29吨—米加大到65吨—米,齿轮使用一年就发生严重塑变和胶合(序号2),齿形也全部破坏。又如上钢五厂的750热轧机机架辊减速箱, $A=275 \times 2$, $N=72$ 千瓦,由于电机容量的增大,而齿轮尺寸未变,材质与热处理以及加工精度均存在问题,以致齿轮仅使用三个月就损坏,甚至出现二星期内有四付齿轮报废(序号6)。再如上钢二厂线材车间轧机的复二重式联合齿箱, $N=1250$ 千瓦,五年内就换了五套齿轮,而主动齿轮仅使用半年就损坏。这些情况不仅造成齿轮的消耗量很大(45模的人字齿轴达8吨),齿轮备件制造紧张,并且还严重地影响了轧机的正常生产,这是远远不能适应我国工业生产发展形势的要求的。

调查也表明,这些钢厂在轧机上所使用的基本上都是渐开线齿轮,而尚未采用圆弧齿轮。上钢三厂的 $A=3400$ 的圆弧齿轮主减也只准备在今年安装使用。在这些钢厂的起重机上,大车行走机构曾采用过圆弧齿轮,但由于缺乏圆弧齿轮滚刀,齿轮备件不易解决,技术资料也很少等

原因,以致仍采用了渐开线齿轮,寿命问题未获很好解决。

二、损坏原因的基本分析与我们的看法

已如前述,齿轮大量的损坏形式主要是胶合、塑变、点蚀、剥落和磨损而不是断齿。这种损坏形式尤以开坯轧机人字齿轴最为显著。由于轧制钢锭材质的变化,钢锭轧制温度的变化,轧机的负荷变化很大,特别是冲击负荷很大,冲击次数极其频繁,传动机构也没有缓冲装置,而齿轮材料的屈服极限又较低,齿面的硬度偏低,实际负荷所产生的接触应力远远超过轮齿工作表面的接触强度,这样就出现了各种损坏形式。分析序号2的照片图可以知道,这对调质齿轮的主动轮齿,其节线附近产生了凹槽,而从动轮齿节线附近则产生了凸棱,同时在齿面上还有严重的金属粘连和撕痕,这种典型的塑变和胶合损坏现象,完全是由于上述原因造成齿面接触应力过大所致。齿面间的油膜被破坏,并曾发生了直接摩擦而产生极高的温升,以致轮齿表面的金属发生了“流动”。实践证明,经过表淬的轮齿,表面剥落是其主要的损坏形式。因此,我们认为:对于软齿面的齿轮来说主要是表面接触强度的矛盾,需要适当提高齿面硬度并适当选择大小齿轮的硬度差;对于硬齿面的齿轮来说,主要是改善轮齿芯部的组织与提高强度,而淬硬层与芯部之间过渡区域的应力集中与接触疲劳强度尚须深入研究。

根据调查到的情况,合理的选择设计参数,正确选择齿轮材质,控制热处理质量,控制制造和安装精度是保证齿轮使用质量的很基本的一个方面。除此以外,还须掌握实际负荷的大小、负荷变化的情况以及润滑等使用条件。我们认为适当选用润滑油也应予以重视。某些钢厂的轧机齿轮采用机械油润滑的粘度(30号机械油)还可适当提高。

通过这次为期一个月的初步调查,我们有下述几点看法:

1. 因齿轮损坏事故而停机检修的时间所造成的经济损失是以钢厂生产的产值和以每分钟时间来计算的,而每分钟生产的产值最少也要数十元、数百元,因此保证轧机的连续生产是最基本的要求,这也就是要求齿轮须具有足够长的使用耐久性和安全可靠性能。

2. 轧机齿轮基本上是在低速(今后还将提高速度)、重载、频繁冲击和三班连续工作等条件下工作的。如上所述,为了保证齿轮使用的安全可靠,设计上并不完全要求减小齿轮传动的尺寸和减轻它的重量。但是,由于现有轧机设备的条件,也不能任意增大齿轮传动的中心距,所有提高齿轮使用寿命的措施都必须在现有基础上进行。

3. 调查表明,目前的轧机还大量使用着渐开线齿轮,而使用情况不能满足生产要求。对于这些轧机齿轮(包括软、硬齿面)失效规律的进一步分析研究,对于影响齿轮寿命的各种因素的分析研究,以及对于齿轮实际使用情况进行系统的观察、测试和记录等还须组织一定力量进行工作。努力提高渐开线齿轮的传动性能、使用寿命和制造质量,减少齿轮备件,仍是当前轧钢生产的一项重要任务。

4. 密切结合生产,迅速开展双圆弧齿轮的试验研究是生产发展的需要,而在轧钢机中的应用也是有可能的。这是因为双圆弧齿轮比渐开线齿轮具有更大的承载能力,在中心距与渐开线齿轮中心距相同的情况下,并在材质热处理等均与渐开线齿轮相同的条件下,用双圆弧齿轮可以成倍提高使用寿命。由太原、沈阳以及上海地区曾进行的工业性试验已证实单圆弧齿轮的承载能力比渐开线齿轮至少可提高50%,而双圆弧齿轮更比单圆弧齿轮优越(例如上海冶金矿山机械厂在上海冷轧带钢厂氧化皮清除机中进行初步试验的减速器),不仅具有更高的接触强度和弯曲强度,并且大小齿轮可用一把滚刀加工。因此,抓紧双圆弧齿轮的试验研究工作,包括台架对比试验和工业性试验,并把试验成果迅速用于工业生产,特别是轧钢工业,这是我们的主要任务。

对于工业性试验,上海工具厂已完成 $m_n = 4、6$ 两种双圆弧齿轮滚刀,因此,拟先从上钢十

厂五连轧的联合齿箱以及上钢五厂的机架辊道齿箱、500轧机辊道齿箱以及 $\varnothing 150/\varnothing 380/320$ 四辊冷轧机齿箱着手。与此同时,还须抓紧大模数双圆弧齿轮在轧机上的工业性试验工作。例如650热轧机具有一定的代表性,进行这方面的工业性试验工作也具有一定的代表性。因此须着手进行大模数滚刀的设计与制造。

5. 大模数双圆弧齿轮滚刀的制造是个关键问题,须请部、局重点安排。另一方面还须把地区的有关力量组织起来,大力协同,充分发挥各厂的积极作用,力争在短期内造出大模数双圆弧齿轮滚刀。

6. 关于双圆弧齿轮在1700冷连轧机中的应用,主要采用“换肚子”方法。也即按上海重型机器厂的生产计划进行设计的一部分或全部渐开线齿轮减速机中,在双圆弧齿轮工业性试验成功的基础上采用双圆弧齿轮。因此,当前的任务除了抓好工业性试验以外,应充分做好双圆弧齿轮的技术准备工作。有关滚刀的设计、制造也须请部、局安排和请上海工具厂与上重厂为主抓紧进行。

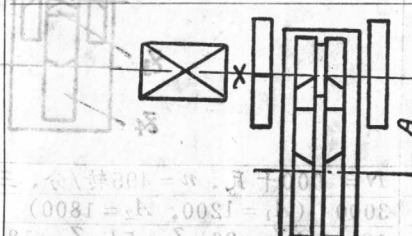
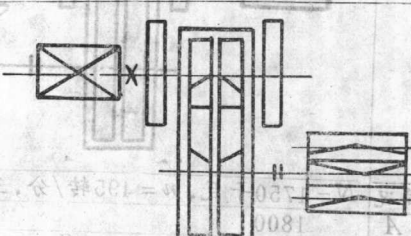
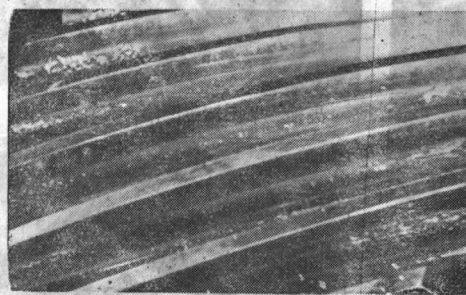
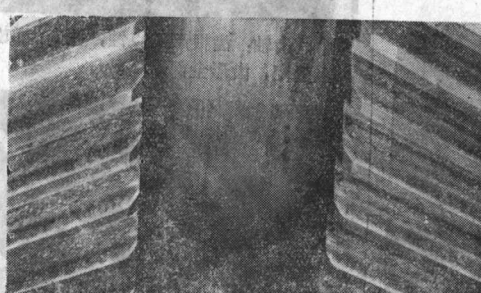
综上所述,双圆弧齿轮是项新技术,所有工作还仅仅是开始阶段,困难不少。但是,“世上无难事,只要肯登攀。”我们坚持以阶级斗争为纲,在部、局的正确领导下,在各有关单位的相互支持、相互协作与共同努力下,这项新技术必然会获得更快的发展,并在较短的时间内取得更多的经验、更显著的效果和达到先进的水平!

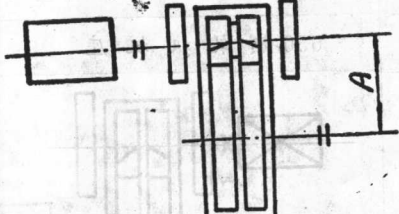
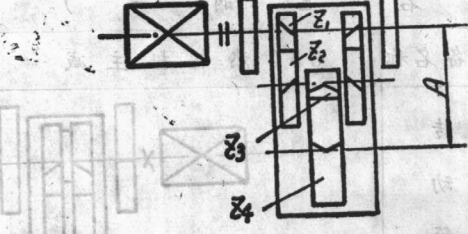
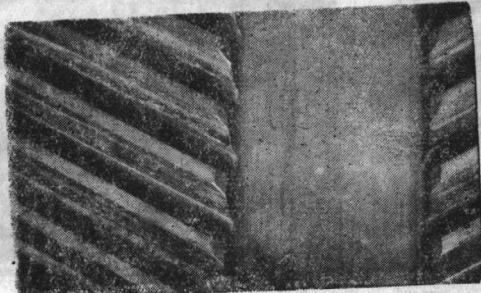
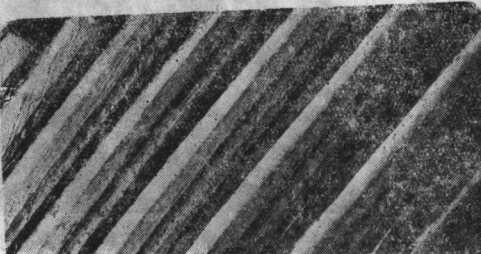
★“67型”圆弧齿轮滚刀以及圆弧齿轮量具定点供应单位★

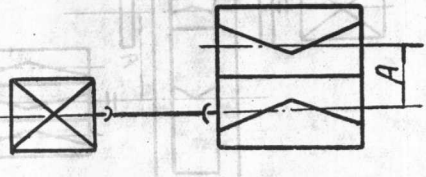
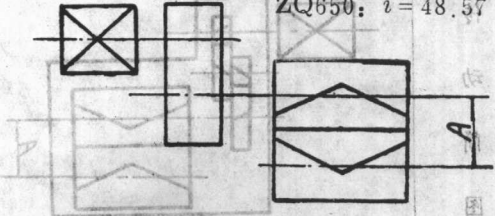
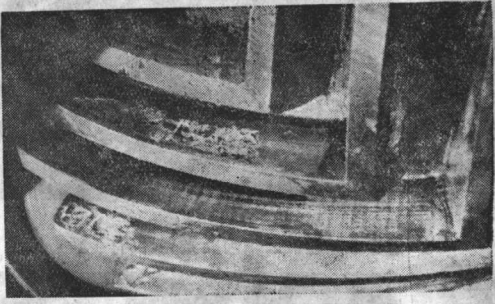
为了便于应用推广圆弧齿轮和开展圆弧齿轮减速器(JB1585—75)的贯彻工作,对于法向模数 ≤ 8 毫米“67”圆弧齿轮滚刀供应以及圆弧齿轮量具的供应,上海工具厂与上海量具刃具厂按照(73)一机床1428号文的精神,继续实行定点供应办法,用通讯订货方式订货。现将有关定点供应单位名单公布于后,各省市有关圆弧齿轮制造、使用单位可按实际需要向就近地区定点单位提出,以便各定点单位统一报送上海工具厂与上海量具刃具厂安排。

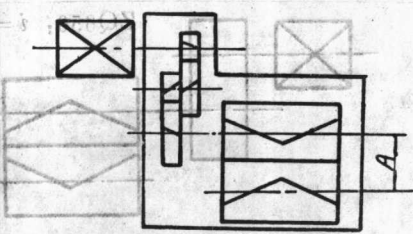
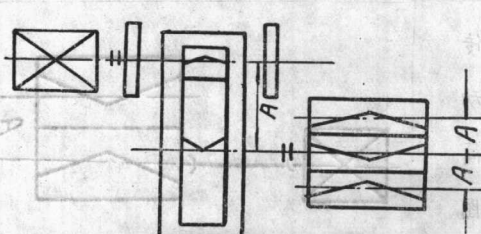
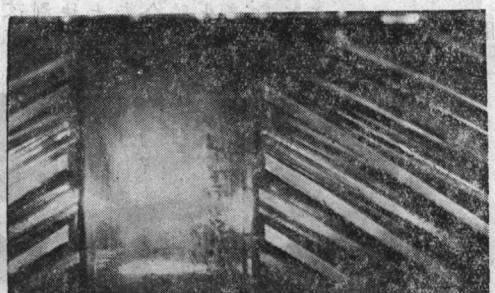
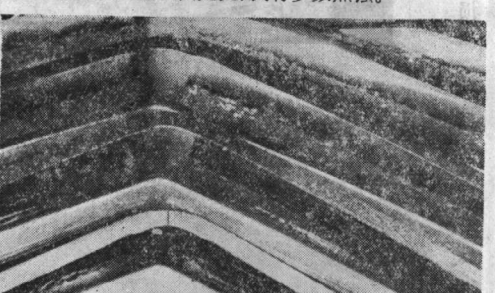
- | | |
|--------------|---------------|
| 1、云南重型机器厂 | 2、长沙矿山通用机器厂 |
| 3、鄂城重型机器厂 | 4、洛阳矿山机器厂 |
| 5、开封空分设备厂 | 6、秦皇岛轻工机械厂 |
| 7、三明矿山冶金机械厂 | 8、江西矿山机械厂 |
| 9、太原重型机器厂 | 10、青岛汽轮机厂 |
| 11、兰州通用机器厂 | 12、银川通用机器厂 |
| 13、哈尔滨汽轮机厂 | 14、第一重型机器厂 |
| 15、第二重型机器厂 | 16、合肥重型机器厂 |
| 17、淮南煤矿机械厂 | 18、广州重型机器厂 |
| 19、柳州空压机厂 | 20、吉林省机械工业局 |
| 21、长春机车工厂 | 22、沈阳矿山机器厂 |
| 23、沈阳重型机器厂 | 24、鞍钢机修总厂 |
| 25、大连工矿车辆厂 | 26、南京汽轮机厂 |
| 27、陕西鼓风机厂 | 28、泰州市第二机械厂 |
| 29、杭州运输设备厂 | 30、杭州齿轮箱厂 |
| 31、北京第二通用机器厂 | 32、北京化工机械一厂 |
| 33、邯郸石油化工机械厂 | 34、乌鲁木齐钢铁厂 |
| 35、江西省冶金工业局 | 36、贵州省冶金工业局 |
| 37、天津减速机厂 | 38、青海农机铸造厂 |
| 39、上海起重运输机械厂 | 40、上海冶金矿山机械厂 |
| 41、上海振动器厂 | 42、上海冶金局第三机修厂 |
| 43、上海传动机械厂 | |

轧钢机齿轮使用情况调查汇总表

序 号	1		2	
厂 名	上 钢 厂		上 钢 一 厂	
设备名称	650 热 轧 机 主 减		650 热 轧 机 机 座	
传 动 简 图				
使用简况	$N=2300$ 千瓦, $n=495$ 转/分。三班制工作, 轧制力矩 M 输出 = 65 吨—米			
主要啮合参数	A	1800	650	
	i	6.07 ($Z_1=28, Z_2=170$)	1 ($Z=21$)	
	m_n	16	$m_s=30$	
	β	$28^\circ 21' 27''$	30°	
	B	360×2	1300	
齿型	渐开线		渐开线 $\xi=0.36, \alpha_s=26^\circ 40' 16'', f_o=0.8$	
齿材	小	$35CrMn$ 调质 $HB\ 220 \sim 260$	$35CrMn$ 调质	
轮料	大	$50Mn$ 正火		
使用年限	70年使用至今约五年		72年10月使用一年后, 即发生点触, 至今约3年多。	
齿 面 损 坏 形 式				
	齿轴两端大块剥落, 节圆部位有凹槽, 齿面塑变。		中间齿轴(主动): 齿顶严重胶合, 齿面严重塑变, 齿根严重剥落, 最大达 $\varnothing 6 \times 1$ 毫米, 齿形全部破坏。	
齿 面 损 坏 形 式				
	大齿轮齿根部位全部点触, 最大达 $\varnothing 3 \times 0.5$ 毫米, 齿顶擦伤。		下齿轴(从动): 齿顶严重胶合, 齿面严重塑变, 节圆部位有凸棱, 齿根凹进, 齿形全部破坏。	

序号 厂名 设备名称	3 上钢二厂 650 热轧机主减	4 上钢三厂 1200 热薄板轧机
传动简图		
使用简况	$N = 1750$ 千瓦, $n = 495$ 转/分, 三班制工作	$N = 1000$ 千瓦, $n = 495$ 转/分, 三班制工作
主要啮合参数	A 1800	3000 ($A_1 = 1200, A_2 = 1800$)
	i 6.07 ($Z_1 = 28, Z_2 = 170$)	12.95 ($Z_1 = 26, Z_2 = 74, Z_3 = 18, Z_4 = 82$)
	m_n 16	$m_{n1} = 20, m_{n2} = 30$
	β $28^\circ 21' 27''$	$33^\circ 33' 26''$
齿材	B 360×2	$B_1 = 255 \times 2, B_2 = 370 \times 2$
齿型	渐开线	渐开线
小	$35 CrMo$ 调质	$Z_1: 35CrMo, HB348; Z_3: 40Cr, HB274$
大	$ZG 55$ 正火	$Z_2: 35CrMo, HB242; Z_4: ZG35 S, M_nM_o$
使用年限	75 年 2 月使用至今	$HB130$ 使用 3 年, 中间齿轴使用 5 年
齿面损坏形式	 齿轴: 齿面有刀花, 尚未磨亮。	 齿轴: 节圆部位凹陷, 有轻微点蚀。
	 大齿轮: 齿根部位点蚀。	 中间齿轴: 齿根严重点蚀, 并向齿顶发展, 齿面严重塑变, 齿形全部破坏。 低速齿轮: 齿根点蚀, 齿面严重塑变与磨损, 齿形全部破坏。

序 号		5	6
厂 名		上 钢 五 厂 七 车 间	上 钢 五 厂 十 三 车 间
设备名称		750 可 逆 式 热 轧 机 机 座	$\varnothing 150/\varnothing 200/320$ 四 辊 冷 轧 精 轧 机 机 座
传 动 简 图			
使 用 简 况		$N_{\text{直 流}} = 2800$ 千瓦, 轧制力矩 $M = 120$ 吨-米, $n = 0 \sim 120$ 转/分, 常用 $n = 80 \sim 100$ 转/分, 三班制工作	$N = 40$ 千瓦 $n = 980$ 转/分 三班制工作
主 要 啮 合 参 数	A	800	143.44
	i	1 ($Z = 19$)	1 ($Z = 22$)
	m_n	36	6
	β	$31^\circ 14' 20''$	$23^\circ 15'$
	B	145	100×2
齿 型		渐开线	渐开线
齿 材 料		小 $35S_iM_n$ 大	45 表淬 $HR_c \geq 45$ (实际未淬)
使用 年限		一年后即产生胶合与大块剥落, 平均寿命7年	使用 3~4 个月即损坏
齿 面 损 坏 形 式		 齿面胶合与大块剥落, 经键修。	 人字齿轴的齿面严重塑变, 齿顶变尖, 节圆部位有凹槽。 下图为轮齿全部破坏后的情况。

序 号	7		8	
厂 名	上 钢 十 厂 七 车 间		上 钢 十 厂 四 车 间	
设备名称	五 机 架 连 轧 冷 轧 机 机 座		500 热 轧 机 主 减 及 机 座	
传 动 简 图				
使 用 简 况	$N_{\text{直流}} = 100$ 千瓦, $n = 400 \sim 200$ 转/分 轧制速度 $V_{\text{设计}} = 4.5$ 米/秒 $V_{\text{实际}} = 2$ 米/秒, 两班制工作		$N = 1600$ 千瓦, $n = 590$ 转/分 三班制工作 (75年10月以前) $N = 1000$ 千瓦)	
主要啮合参数	A	120	主减: 1400	机座: 500
	i	1 ($Z = 18$)	5.9 ($Z_1 = 29, Z_2 = 171$)	1 ($Z = 25$)
	m_n	6	12	18
	β	$25^\circ 50' 54''$	$31^\circ 10' 10''$	
	B	170×2	360×2	
齿型	渐开线		渐开线	渐开线
齿材小	40Cr调质 HB220~260 表淬 HRC45~55		35Cr HB 400~450	45
轮料大	2号机座: 使用二年左右。 5号机座: 仅使用三个月。		ZG55 表淬	
使用年限			15年以上	1 年
齿 面 损 坏 形 式				
	2号机座的人字齿轴: 齿面严重剥落、塑变、胶合。		主减速机齿轴齿面光亮, 仅有少数点蚀。	
				
	5号机座的人字齿轴, 原来材料与2号机座相同。后因损坏而改为30CrMn调质, 仅使用了三个月齿面就严重胶合、塑变。		机座的人字齿轴, 齿面严重塑变, 齿根剥落, 齿形全部破坏。	



分阶式双圆弧齿轮的高速运转性能试验小结

上海汽轮机厂齿轮工部、设计科

一、前言

随着机械工业生产的飞跃发展,对齿轮传动也不断提出了新的要求,高速重载已成为现代齿轮传动的显著特点。五八年以来,圆弧齿轮在冶金、化工、矿山、发电及交通等部门的应用已取得了显著的经济效果。已有数百台高速圆弧齿轮在发电、化工及冶金等部门成功应用,目前高速圆弧齿轮达到的最大功率为6000千瓦,最高圆周速度约100米/秒。现正朝着更大的功率、更高的速度发展,功率近二万千瓦,圆周速度达140米/秒的高速圆弧齿轮正在制造。近年来,圆弧齿轮又有新的发展,提出了双啮合圆弧齿轮,在中、低速机械试用中也已取得成效。这种齿型能否在高速的透平类机械上应用?其运转性能如何?这是一个有实际意义的课题。遵照伟大领袖毛主席“古为今用,洋为中用”和“实践——理论——实践”的教导,根据一机部75——76年重点科研项目结合我厂产品发展要求,开展了分阶式双圆弧齿轮的高

速运转性能试验,对双圆弧齿轮的高速性能,包括承载能力、噪音及振动等项目进行初步摸索和分析。试验工作在我厂研究所的大力协同下于74年底开始筹备,于75年8——10月完成了疲劳试验。该项试验得到太原工学院和郑州机械研究所的大力协助,并派人莅临现场指导。现将试验情况整理汇报如下:

二、试验方案的确定

齿轮疲劳试验按一般情况应采用闭式试验台方法比较经济,但考虑到高速加载器动态加载存在一定技术困难,为了抓紧时间,按厂里现实条件,决定采用开式试验方法,利用现有的250千瓦直流电动机和300——400千瓦高速水力测功器,仅需改装原渐开线齿轮箱制造一套双圆弧齿轮即可组成试验台。

设计参数的选择原则主要按现有设备条件,使试验齿轮能承受较高的载荷和速度,以期获得较理想的效果。试验台系统见图1,设计参数见表1。

分阶式双圆弧齿轮设计参数

表1

传 动 型 式			单 斜 齿 止 推 盘	节 圆 直 径	小 齿 轮	毫米	8 1 . 9 5
功 率		千 瓦	2 5 0		大 齿 轮	毫米	4 7 8 . 0 5
转 速	小 齿 轮	转/分	1 7 5 0 0	齿 轮 宽 度		毫米	3 8 ; 3 0
	大 齿 轮	转/分	3 0 0 0	轴 向 重 合 系 数			1.2;1.13.
圆 周 速 度		米/秒	~ 7 5	增 速 比			5.83
中 心 距		毫 米	2 8 0	负 荷 系 数			15~16;18~19
齿 斜 角			28°31'46.5"	材 料 及	小 齿 轮		*
法 向 模 数		毫 米	4	热 处 理	大 齿 轮		* *
齿 数	小 齿 轮		1 8	精 度			~ 6 级
	大 齿 轮		1 0 5	齿 型			太 工 FSPH 标 准 型

* 25Cr2M₀V调质 HB280~300 ** 35CrM₀调质 HB260~280

齿 轮 强 度 计 算

表 2

序号	名 称	符 号	单 位	计 算 公 式	计 算 结 果
1	中心距	A	厘 米	选 定	28
2	法向模数	m_n	厘 米	选 定	0.4
3	齿数	Z_2/Z_1	—	选 定	105/18
4	增速比	i	—	$i = Z_2 / Z_1$	5.83
5	齿斜角	β	度	$\cos\beta = m_n (Z_1 + Z_2) / 2A$	28°31'46.5"
6	分度圆直径	d_2/d_1	厘 米	$d = m_n Z / \cos\beta$	47.805/8.195
7	轴向节距	t_a	厘 米	$t_a = \pi m_n / \sin\beta$	2.65
8	轴向重合系数	ε_a	—	选 定	1.13
9	齿宽	b	厘 米	$b = \varepsilon_a t_a$	3.0
10	重合度影响系数	K_α	—	图 11	2
11	载荷集中系数	$K_{HP.K}$	—	按我厂经验选取	1.5
12	齿廓系数	K_{KHm}	—	选 取	0.65
13	齿数系数	K_Z	—	图 1	0.955
14	精度系数	Ω	—	选 取	15
15	系数	$m_n^{2.4}$	—	表 1	0.111
16	材料及硬度			小齿轮 25C, 2M ₀ VA-5 HB280~300 大齿轮 35C, M ₀ A-5 HB260~280	
17	在变载荷作用下的寿命系数	$K_{P.K}$		按连续运转条件选取	0.85
18	材料接触应力系数	$[C_{KB}]$	公斤/厘米 ²	表 2	18
19	许用接触应力系数	$[C_K]$	公斤/厘米 ²	$[C_K] = [C_{KB}] K_{P.K}$	15.3
20	接触许用扭矩	$[M_1]$	公斤-厘米	$[M_1] = \frac{\Omega Z_1 m_n^{2.4} K_{KHm} K_Z K_\alpha \sqrt{\frac{d_1 i}{i+1}} [C_K]}{K_{HP.K} \sin\beta}$	2100
21	转速	n_2/n_1	转/分		3000 / 17500
22	功率	N_1	千 瓦		300
23	小齿轮轴扭矩	M_1	公斤-厘米	$M_1 = 97500 \frac{N_1}{n_1}$	1670
24	接触安全系数	n_K	—	$n_K = [M_1] / M_1$	1.26
25	精度系数	Ω_u	—	选 取	0.56
26	系数	F	—	图 8	5.2
27	系数	$1.25 \frac{\rho_{np}}{m_n}$	—	$1.25 \frac{\rho_{np}}{m_n} = 1.25 F Z_1$	117
28	曲率半径系数	K_ρ	—	图 7	2.5
29	齿形系数	Y	—	图 12	0.50
30	载荷集中系数	$K_{HP.u}$	—	图 6	1.04
31	速度系数	K_u	—		1.7
32	模数系数	K_m	—		1
33	材料极限强度	σ_B	公斤/厘米 ²		8700
34	许用弯应力	$[\sigma]$	公斤/厘米 ²	$[\sigma] = \frac{0.35 \sigma_{B.C} + 900}{[n_u]}$ 取 $[n_u] = 1.8$	2190
35	弯曲许用扭矩	$[M_1]$	公斤-厘米	$[M_1] = \frac{\Omega_u Z_1 m_n^3 K_\alpha K_\rho (Y[\sigma])}{K_{HP.u} K_u K_m}$	1990
36	弯曲安全系数	n_u	—	$n_u = [M_1] / M_1$	1.19