

论文汇编

(一)

中国仪器仪表学会机械量测试仪器学会
中国机械工程学会机加工学会切削专业委员会



前 言

我会自79年成立以来，已开展了十多次学术交流活动，每次活动都征集到大量的文章。这些文章都来自科研和生产第一线的经验总结，其内容十分丰富，比较全面地反映了我国在机械加工和测试方面的技术水平和动态。为适应机械工业发展的需要，满足广大科技人员的要求，我们整理编辑了这本论文集，并拟分期出版。

本论文集共分四册，其中第（一）册的内容包括：齿轮刀具方面十九篇。第二册的内容包括：齿轮加工方面十四篇。第三、四册的内容包括：齿轮测试方面八篇，三坐标测量机方面十篇，光栅测量方面十四篇，光电测量方面五篇和自动量仪方面五篇，传感器一篇。

由于篇幅所限，大量有水平的文章这次未能收入。为了在有限篇幅内，尽量多收录一些文章，我们对部分文章进行了删节，并删除了全部参考目录，对此，谨向各位作者深表歉意。

由于编者水平有限，缺乏经验，加上时间仓促，肯定会有许多错误。殷切期待广大读者批评指正。

中国仪器仪表学会机械量测试仪器学会
中国机械工程学会机加工学会切削专业委员会
一九八三年十二月

TG -53/39

《 论文汇编 》 第一册

目 录

硬质合金滚刀加工淬硬齿新工艺在机床等行业的应用.....	(3)
增加滚刀齿侧面齿形合格长度的探索.....	(10)
铲磨蜗轮滚刀的砂轮廓形计算方法的研究.....	(20)
非渐开线内啮合插齿刀的精确设计与计算.....	(30)
圆弧齿轮滚刀共轭接触线副控制算法.....	(40)
缩小节圆半径的花键滚刀设计.....	(48)
用径向铲磨法制造渐开线滚刀及其刃磨	
后齿形误差的计算方法.....	(69)
齿轮刀具齿顶特殊型面计算.....	(81)
展成滚刀齿形设计的三元方法.....	(97)
用空间啮合原理设计非渐开线齿轮滚刀	
齿形的新方法.....	(119)
用最小二乘法原理计算齿形的最优逼近	
圆弧与电子计算机辅助设计.....	(132)
关于大直径大模数直锥齿轮指形铣刀设计的探讨.....	(144)
交展法及其刀具研究.....	(157)
可调迭片剃齿刀的性能及受力分析.....	(166)
新型齿轮剃刀的设计与制造.....	(181)
专用直齿外插齿刀最佳设计参数的计算.....	(188)
插制基圆大于齿顶圆的内齿轮插齿刀的齿形设计.....	(205)
圆弧螺旋锥齿轮制造理论分析.....	(226)
大模数大螺旋角斜齿轮成型磨削法的计算和工艺分析.....	(235)

前 言

我会自79年成立以来，已开展了十多次学术交流活动，每次活动都征集到大量的文章。这些文章都来自科研和生产一线的经验总结，其内容十分丰富，比较全面地反映了我国在机械加工和测试方面的技术水平和动态。为适应机械工业发展的需要，满足广大科技人员的要求，我们整理编辑了这本论文集，并拟分期出版。

本论文集共分四册，其中第（一）册的内容包括：齿轮刀具方面十九篇。第二册的内容包括：齿轮加工方面十四篇。第三、四册的内容包括：齿轮测试方面八篇，三坐标测量机方面十篇，光栅测量方面十四篇，光电测量方面五篇和自动量仪方面五篇，传感器一篇。

由于篇幅所限，大量有水平的文章这次未能收入。为了在有限篇幅内，尽量多收录一些文章，我们对部分文章进行了删节，并删除了全部参考目录，对此，谨向各位作者深表歉意。

由于编者水平有限，缺乏经验，加上时间仓促，肯定会有许多错误。殷切期待广大读者批评指正。

中国仪器仪表学会机械量测试仪器学会
中国机械工程学会机加工学会切削专业委员会
一九八三年十二月

《 论文汇编 》 第一册

目 录

硬质合金滚刀加工淬硬齿新工艺在机床等行业的应用.....	(3)
增加滚刀齿侧面齿形合格长度的探索.....	(10)
铲磨蜗轮滚刀的砂轮廓形计算方法的研究.....	(20)
非渐开线内啮合插齿刀的精确设计与计算.....	(30)
圆弧齿轮滚刀共轭接触线副控制算法.....	(40)
缩小节圆半径的花键滚刀设计.....	(48)
用径向铲磨法制造渐开线滚刀及其刃磨	
后齿形误差的计算方法.....	(69)
齿轮刀具齿顶特殊型面计算.....	(81)
展成滚刀齿形设计的三元方法.....	(97)
用空间啮合原理设计非渐开线齿轮滚刀	
齿形的新方法.....	(119)
用最小二乘法原理计算齿形的最优逼近	
圆弧与电子计算机辅助设计.....	(132)
关于大直径大模数直锥齿轮指形铣刀设计的探讨.....	(144)
交展法及其刀具研究.....	(157)
可调迭片剃齿刀的性能及受力分析.....	(166)
新型齿轮剃刀的设计与制造.....	(181)
专用直齿外插齿刀最佳设计参数的计算.....	(188)
插制基圆大于齿顶圆的内齿轮插齿刀的齿形设计.....	(205)
圆弧螺旋锥齿轮制造理论分析.....	(226)
大模数大螺旋角斜齿轮成型磨削法的计算和工艺分析.....	(235)

硬质合金滚刀加工淬硬齿轮新工艺 在机床等行业的应用

机械工业部成都工具研究所 胡孝忠 卢道猜

成都工具研究所自1971年以来,先后研制成功了加工夹布胶木齿轮用的整体硬质合金滚刀,高速滚切球铁齿轮和中碳合金钢齿轮用的镶齿式硬质合金滚刀,解决了制造硬质合金滚刀的加工技术问题,十年来每年为有关工厂提供了各种用途的硬质合金滚刀。自1981年开展了硬质合金滚刀滚切淬硬齿轮的试验研究工作,现已在实际应用中取得了成效,并已为使用厂提供所需之硬质合金滚刀,现将滚切硬齿面齿轮用的硬质合金滚刀的使用情况做如下介绍,

一、在机床行业的应用情况

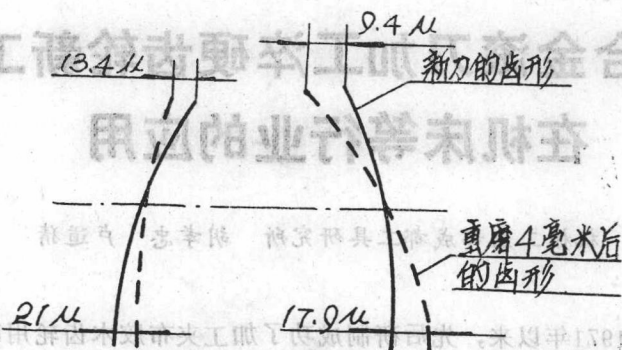
机床是工作母机,与其它机械相比,其齿轮的精度要求较高,通常在6级左右,以能保证传动平稳、运动精确、噪声小。对高精度的机床齿轮,国内、外大都采用磨齿法作为齿轮的精加工手段。但是由于机床齿轮的产量较大,而磨齿的效率又低,满足不了生产的需要,因此目前我国有相当数量的机床齿轮是采用滚(插)一剃一淬硬的工艺。由于淬火时的变形和重新加工基面,所以齿轮的齿向,齿形以及周节都要发生扭曲或偏移,齿轮的精度难以控制。这是目前机床齿轮生产中的一个突出矛盾。为了能发挥磨齿机精度高的特点,克服其效率低的缺点,使更多的机床齿轮能采用磨齿,或者对一定精度的齿轮直接用高级的精滚来代替磨齿,近年来对采用硬质合金滚刀作为磨前半精加工或代替部分磨齿工序进行了试验研究,并取得了明显的效果,这是七十年代发展起来的一项新技术,日本、西德、苏联已用于高速机车、透平机械等高精度齿轮的磨前加工,收到了很好的经济效益,与传统的磨齿工艺相比,可节省制造成本20%—60%。

为了减少当前机床行业磨齿工序的压力,根据部机床工具总局的安排,我所与北京第二机床厂和昆明铣床厂等单位合作,开展了这项新工艺的试验,初步使用表明,对于模数2.5至4毫米的齿轮,淬硬后用硬质合金滚刀滚齿,精度可达到周节累积6级以上,齿形7级,齿面粗糙度 $R_z = 2.5\mu m$,齿向6—7级。因此,磨齿留量可由原来的0.3毫米减为0.06毫米。例如模数3毫米,齿数为65的齿轮,单件磨齿工时至少可节省1.5小时以上;齿数越多,收效越显著。现将初步应用情况介绍于后。

关于硬质合金滚刀的结构参数,刀片牌号的试验结果及其试验方法的研究,国、内外均已进行了相应的试验研究工作并已有所报导,故对此本文不予重复论述。

本文所介绍的硬质合金滚刀是采用0度和负12度的前角,根据日本与苏联的介绍,采用 $-40^\circ \sim -45^\circ$ 前角的滚刀可以提高刀刃的抗崩刃能力,滚刀的寿命最长。但是采用大

负前角的滚刀也带来一些弊病：切削刃弯曲得很厉害，很难保证齿形精度；另一方面在重磨之后滚刀的齿形精度急剧变化。下图是滚刀重磨之后精度的变化实例：



右旋：右侧为上凹，左侧为上凸，左旋则相反。

模数6毫米、滚刀外径120毫米，顶刃径向前角 -30° ，新刀和重磨4毫米后的齿形的变化量。这样大的变化量已超过8级精度齿轮的允许值。在机床和起重机行业中，齿轮的硬度大都为HRC45~53，要求精切到8级或8级以上的精度，因此采用较小的负前角滚刀。

（一）北京第二机床厂的试用情况、

该厂与日本合资生产LEO—80y车床，所有齿轮都要求磨齿，精度须达到Jls 2级，齿形误差不大于0.009毫米，噪音不大于76分贝，原工艺是先在Y7131磨齿机上粗磨，留0.1毫米余量，再在Maag磨齿机上精磨并达到图纸要求，因此半精磨工序的负荷很大。现采用硬质合金滚刀半精滚代替粗磨齿，公法线留0.08至0.06毫米，后在AZA或Maag上进行精磨达到要求，加工效率提高6倍。

1、模数3毫米齿轮的切削情况：

齿轮：模数3毫米；材料为35CrMo和45号钢；HRC48~53；直齿。

刀具： $\phi 112 \times 55 \times \phi 40$ 镶齿硬质合金滚刀； $\gamma = 0^\circ$ ；刀片牌号为X30。

机床：YM3180H。

切削用量：滚刀转数 $n = 160$ 转/分；进给量 $S = 1.8, 1.16, 0.8$ 毫米/转；公法线方向上的切除量为0.25~0.3毫米；干切。

机床在空载和切削时的功率消耗没有显著变化，为1.82瓩。

刃磨一次滚刀所加工的齿轮的规格数量见表1；切削的总长度为92.554米，刀具侧刃的磨损量 $VB = 0.1 \sim 0.15$ 毫米，无崩刀，无梳状裂纹；每把刀约可重磨50次。

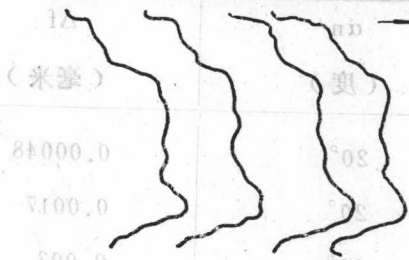
滚削后齿轮的齿形、齿向、周节差和径向跳动的检查结果如下，记录曲线见图。

$\Delta J = 0.01 \sim 0.012$ 毫米； $\Delta B_x = 0.004 \sim 0.025$ 毫米

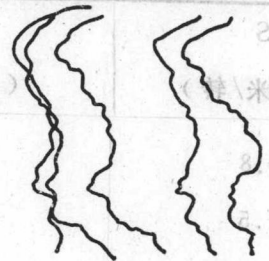
$\Delta t = 0.004 \sim 0.006$ 毫米； $\Delta E_j = 0.02 \sim 0.035$ 毫米

表1 蜗轮齿面齿形

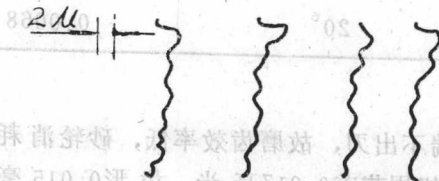
模数 (毫米)	齿数	齿宽 (毫米)	加工件数	单件工时 (分)	总的切削长度 (米)
3	22	31	15	8	10.23
3	47	12	53	2	29.892
3	39	12	41	2	19.188
3	20	35	14	4	9.8
3	65	32	8	9	16.64
3	54	14	9	3.5	6.804
			共140件		共92.554米



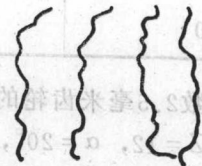
右侧齿形



左侧齿形



右侧齿形



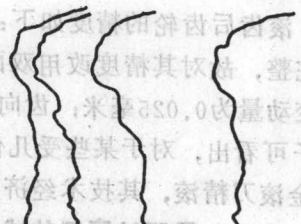
左侧齿形

$a, m3, z54, 20^\circ$ 直齿

$B=14$ 毫米



右侧齿形



左侧齿形

$b, m3, z54, 20^\circ$ 直齿

$B=30$ 毫米

用硬合金滚刀加工淬硬齿轮的误差记录曲线

仪器: PH60

按下式计算所得具体数值见表2。

Δf —由进给量引起的齿面波纹度; S —进给量,
 R —滚刀半径; α_n —滚刀齿形角。

表 2

S (毫米/转)	R (毫米)	α_n (度)	Δf (毫米)
0.8	56	20°	0.00048
1.5	56	20°	0.0017
2.0	56	20°	0.003
2.5	56	20°	0.0048
3.0	56	20°	0.0068

2、模数2.5毫米齿轮的切削情况：

齿轮： $Z=12$ ， $\alpha=20^\circ$ ，齿长177毫米；两端不出刀，故磨齿效率低，砂轮消耗大。原工艺是在Y7131磨齿机上磨齿。精度要求为：相邻周节差0.017毫米，齿形0.015毫米，齿圈径向跳动0.042毫米。

滚刀的参数同上。

机床: Y3180H。

切削用量：滚刀转数 $n=125$ 转/分，进给量 $S=0.8$ 毫米/转；公法线方向上的切除量为0.3毫米。

滚齿后齿轮的精度如下：由于齿轮的齿数少，在万能渐开线检查仪上所测得的齿形曲线不完整，故对其精度改用双面啮合检查，结果为：一齿中心距变动量为0.01毫米；一转中心距变动量为0.025毫米；齿向误差为0.007毫米，啮合噪音较磨齿件降低4dB(A)，由这个例子可看出，对于某些受几何形状的限制难以用磨齿的方法进行精加工的轴齿轮直接用硬质合金滚刀精滚，其技术经济效果更好。

(二) 昆明铣床厂的试用情况

该厂自X8126万能工具铣床投产以来，此铣床上的一个模数2.5毫米的长齿轮在淬火之后的磨齿工序一直存在着效率低的问题，同时，由于齿宽尺寸大（222毫米），现有磨齿机均不能一次磨出全齿宽，而必须移动一次砂轮架。因此，磨出后留有“接刀”痕迹，上、下两部分的相对错位难以完全消除。而采用硬质合金滚刀精滚后不仅提高了效率，而且也解决了此项精度问题，经试验后，该厂已将硬质合金滚刀精滚正式纳入工艺，代替原粗、精磨齿

工序。

1. 试验另件的参数：模数2.5毫米，材料：40Cr钢：淬火后的硬度为HRC48；外径100毫米，齿数38，齿宽222毫米，精度为7级。

2、原工艺在淬火后需进行磨齿，每件粗磨工时3小时，精磨工时5小时，共8小时，磨齿机为Y7131和Y7150。

3、试验条件和试验结果：

机床：现用于生产的Y38滚齿机；

滚刀的参数同上；

切削用量：滚刀转数 $n=155$ 转/分（ $V=53$ 米/分）；进给量 $S=1.1$ 毫米/转；公法线方向的切除量为 $0.35\sim0.45$ 毫米，一次滚成。逆铣，干切；加工每件的机动时间为55分钟。精度符合要求，具体数值如下：

检 定 项 目	允 许 值	实 验 结 果
任意周节差	0.016	0.007
周节累积误差	0.06	0.019
齿形误差	0.018	0.014~0.018
齿向误差	0.028	0.02

共切削11件齿轮，合切削长度110米；硬质合金滚刀的侧刃后面磨损为 $0.2\sim0.25$ 毫米；共有66个刀齿参加切削，每个刀齿的切削长度为 $110/66=1.7$ 米；滚刀总的刀齿数为76个，故精滚此种另件刀具的耐用度为15件。

机床噪音试验：精磨齿：84分贝；精滚齿：83.5分贝。

（三）经济效益估计

1、用硬质合金滚刀滚齿，代替半精磨齿工艺的效益：

以模数3毫米、z65、齿宽32毫米的齿轮为例，其半精磨齿工时为 $1.5\sim2$ 小时。

（1）半精磨齿的工时费用为： 6 元/小时 $\times(1.5\sim2)$ 小时 $=9\sim12$ 元/件；

（2）半精滚齿的工时费用为： 4 元/小时 $\times0.4$ 小时+刀具费用 $=1.6+0.4=2$ 元/件；

刀具费用 $\approx \frac{1600}{4000}=0.4$ 元/件。

（3）机床投资比：一台YM3180H滚齿机可顶5台磨齿机， 4.8 万： 5×4 万 $=1$ ：

4；

（4）占地面积：1：5；

（5）能源消耗：电力： 5.5 瓩： 5×4 瓩 $=1$ ：3.6；

油料：滚齿为干切，不消耗冷却油；磨齿每天要消耗2—4公斤冷却油。

2、用硬质合金滚刀精滚齿代替磨齿可获得的经济效益：

根据上述之昆明铣床厂的试验结果，做如下的经济分析：

各项费用	加工方法	磨齿工艺	硬质合金滚刀精滚工艺
单件加工时间（小时）		8	1.3
每小时设备费用（元）		5	4
单件工具费用（元）			$1600/300 = 5.3$ 米
单件加工费用（元）		$8 \times 5 = 40$	$1.3 \times 4 + 5.3 = 10.5$
年产500件的加工费用（元）		20000	5250
年经济收益（元）			$20000 - 5250 = 14750$

*一把硬质合金滚刀最少可加工此种另件300件、硬齿合金滚刀的单价是1600元。

此外，加工效率提高五倍以上。

二、在起重机行业的应用情况：

起重机ZQ型减速器在我国应用极广，但由于其齿轮为软齿面的，所以寿命达不到要求。根据一机部80—81年度主要基础件攻关计划，上海起重运输机械厂承担“起重机ZQ减速器寿命攻关”的任务。由于该厂采用了双感应淬火齿轮付，将齿轮硬度提高到HRC50，因此，使减速器齿轮的寿命显著提高、使低速级齿轮运转达到 10^7 次，而齿轮无任何损伤，达到了攻关目标，能使减速器的寿命由原来的三年左右提高到十年以上，并已于82年11月在机械工业部重型矿山机械局主持召开的鉴定会上获得通过。

为加工出8级的HRC50的硬齿面齿轮，上海起重机厂与成都工具研究所合作，由成都工具研究所提供硬质合金滚刀、使用技术和刃磨技术，并共同对模数3、4和6毫米的硬质合金滚刀进行了切齿试验，加工出200余件齿轮，提供了鉴定用的硬齿面齿轮。

现以模数6毫米的滚刀为例，将滚切的情况介绍如下：

齿轮：模数6毫米，齿数16，螺旋角 $\beta = 8^\circ 6' 34''$ ，左旋精度要求：8—8—7—DC，HRC50，淬火后精滚留量0.61~0.81毫米，齿宽143毫米。

刀具： $\phi 120 \times 55 \times \phi 40$ 镶齿硬质合金滚刀， $\gamma = -12^\circ$ 。

机床：YB3120滚齿机。

切削用量：切削速度 $V = 94$ 米/分，进给量 $S = 1.28$ 毫米/转；二次切削，第一次切除公法线方向上的留量0.4毫米左右，第二次切除0.3毫米左右。

在此切削用量下的滚齿精度如下：

周节累积误差：左：27.1 μ ，右：20.5 μ ；

齿形误差：左：20.5 μ ，右：18.6 μ ；

基节差：左：12.4 μ ，右：12.4 μ ；

周节差：左：12.9 μ ，右：12.2 μ ；

齿向误差：16 μ ；

齿面光洁度 $\nabla 7$ 。

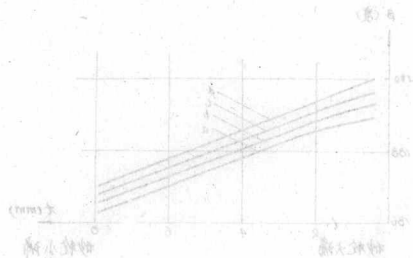
当进给量保持不变，将切削速度由 $V = 94$ 米/分降为 $= 75$ 米/分时，滚齿精度没有变化；但将进给量由 $S = 1.28$ 毫米/转提高至 1.57 毫米/转时，则齿形精度下降，这表明，加工系统的刚度，特别是机床的刚度对切齿精度的影响是不容忽视的。

由于硬齿面齿轮能显著提高ZQ减速器的使用寿命，因此，上海起重运输机械厂将逐步全面的采用硬质合金滚刀精滚的新工艺。为了不断地提高滚齿精度，机床和刀具的精度也应相应地提高，以便使硬质合金滚刀滚切淬硬齿轮的新工艺不断完善和发展。

滚齿加工精度与进给量、切削速度、滚刀精度、机床刚度、工件材料等因素有关。在滚齿加工中，进给量对齿形精度的影响最为显著。当进给量增大时，齿形精度会下降。因此，在滚齿加工中，应根据工件的要求，选择合适的进给量。此外，切削速度对齿面光洁度的影响也很大。当切削速度降低时，齿面光洁度会提高。因此，在滚齿加工中，应根据工件的要求，选择合适的切削速度。滚刀精度对齿形精度的影响也很大。滚刀精度越高，齿形精度越高。因此，在滚齿加工中，应选择精度高的滚刀。机床刚度对齿形精度的影响也很大。机床刚度越高，齿形精度越高。因此，在滚齿加工中，应选择刚度高的机床。工件材料对齿形精度的影响也很大。工件材料的硬度越高，齿形精度越高。因此，在滚齿加工中，应选择硬度高的工件材料。

滚齿加工精度与进给量、切削速度、滚刀精度、机床刚度、工件材料等因素有关。在滚齿加工中，进给量对齿形精度的影响最为显著。当进给量增大时，齿形精度会下降。因此，在滚齿加工中，应根据工件的要求，选择合适的进给量。此外，切削速度对齿面光洁度的影响也很大。当切削速度降低时，齿面光洁度会提高。因此，在滚齿加工中，应根据工件的要求，选择合适的切削速度。滚刀精度对齿形精度的影响也很大。滚刀精度越高，齿形精度越高。因此，在滚齿加工中，应选择精度高的滚刀。机床刚度对齿形精度的影响也很大。机床刚度越高，齿形精度越高。因此，在滚齿加工中，应选择刚度高的机床。工件材料对齿形精度的影响也很大。工件材料的硬度越高，齿形精度越高。因此，在滚齿加工中，应选择硬度高的工件材料。

滚齿加工精度与进给量、切削速度、滚刀精度、机床刚度、工件材料等因素有关。



增加滚刀齿侧面齿形合格长度的探索

大连工学院

姚南琦

韶关工具厂

王荣林

〔摘要〕本文探讨了增加滚刀齿侧面合格长度的机理。采用电子计算机模拟的方法计算分析了铲磨中各工艺参数对齿形合格长度的影响规律、并对合理选择这些参数提出了意见，文中最后还提出一种可增加齿形合格长度的新工艺一变K值铲磨，此外，铲磨中应考虑的一些实际问题，文中也作了讨论。

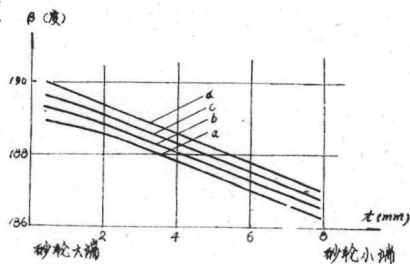
一、铲磨原理的简述

滚刀齿侧面是砂轮曲面在铲磨运动中形成的共轭曲面。理论上要求它应该是阿基米德螺旋面。

实际铲磨运动中砂轮曲面和滚刀齿侧面总保持线接触的啮合关系，其共轭特点为：按照共轭定理，两曲面在接触线处任一点上必具有公法线且接触线上每一点的公法线必与该点处两曲面的相对运动速度相垂直。因此如用 $\vec{n}_i$ 、 $\vec{V}_i$ 分别表示该接触点的公法线与相对速度的方向矢量，即有 $\vec{n}_i \cdot \vec{V}_i = 0$ (1) 式(1)是共轭曲面的接触条件式，只要给出砂轮的曲面方程，利用(1)式就可以解得每一瞬时砂轮与滚刀齿侧面的瞬时接触线。不难理解，滚刀齿侧面就是这些瞬时接触线在运动中的集合，因此接触线方程经过转化就可与成滚刀齿侧面的方程。

所以，由以上概括的滚刀齿侧面在铲磨过程中形成的原理可知：滚刀齿侧面的形状和特点，本质上将决定于铲磨过程中形成它的瞬时接触线的形状和特点，通过研究瞬时接触线就能阐明铲磨后齿侧面将产生的问题，这就是我们分析研究问题所持的基本观点。

值得注意的是：铲磨过程中由砂轮曲面求得的瞬时接触线具有不断变化的特点，这是铲磨加工的一个突出问题。因为铲磨运动中砂轮轴线对于滚刀轴线的距离不断在变化，造成条件式(1)不断发生变化，接触线变化的问题也就产生了。这种接触线变化的特点，可用 $m=8$ 的标准齿轮滚刀铲磨为例，计算其接触线反映在砂轮曲面上的位置和形状变化的情况



t , β 分别为砂轮曲面的轴向距离和角度参数， a , b , c , d 曲线分别为滚刀转角 ψ 为0, 0.1, 0.2, 0.3弧度时，接触线在砂轮曲面上位置的变化情况 图中 $\beta=180^\circ$ 为砂轮轴线零位， $\beta>180^\circ$ 为零位以下。

图1 接触线位置在砂轮表面的变化

来说明(图1)。由图可知接触线每个瞬时都在变化,在砂轮曲面上它不能保持在固定位置和保持固定形状,但此时砂轮轴线相对滚刀轴线却是按照铲磨的动作规律运动,因此由这样形成的滚刀齿侧面,将难以成为理论上所要求的规律曲面(即除了刀刃的齿形可以正确的外,铲磨得到的整个曲面不能是一种理想的阿基米德螺旋面),铲磨的结果必然会引起“畸变”。关于这一点(即阿基米德螺旋面的不可铲磨性)还可用其他方法作出证明,其根据是:这种曲面在铲磨动作下的回转体共轭曲面,只能是一种点接触共轭曲面。本文限于篇幅,兹不赘述。

概括起来说:滚刀齿侧面铲磨从原理上就不能得到完全正确的理想阿基米德螺旋面。在铲磨中如规定滚刀刃口处必须保持完全正确的齿形,则齿侧面从原理上讲就必然会有畸变。这种畸变是一般径向铲磨加工方式所固有的,应该把它当成一种滚刀的附加造形误差看待,它就是影响齿形合格长度的直接原因。因此要增加齿形合格部分的长度,就必须设法减少或最好消除这种畸变,但如果只是改变铲磨工艺中的某些参数,则铲磨的基本性质没变,也即产生畸变的根源——接触线瞬时变化的特点没变,畸变是无法消除的。不过从工程上讲,只要能寻找一些使接触线变化较小,产生畸变量也很小的方案,能满足工程上对齿形合格部分长度的实际要求也就行了。这就是现在一般所进行的工作的实质所在。

二、予测铲磨后齿形合格部分长度的方法

既然铲磨后的齿侧面畸变是铲磨原理所固有的性质,则这种畸变量是可以计算的,我们就可以通过计算取得畸变量的数据,来予测采用各种铲磨上的工艺措施后,在滚刀齿侧面上可能达到的齿形合格部分长度。本文就是靠这种计算方法的帮助来分析研究问题的。现将这种计算方法的思路介绍如下

首先,要用畸变量来予测齿形合格部分长度必先弄清两者之间的关系。显然,曲面的畸变既会反映在齿形上也会反映在螺旋导程上,但是直接涉及齿形合格部分长度的则是齿形方面的畸变。因此,我们在计算畸变量时把它分解成两个部分(齿形上的畸变 Δ 形和螺旋导程上的畸变 Δ 螺)来考虑。 Δ 形指齿侧面上各轴截面由畸变造成的齿形最大误差, Δ 螺指各轴截面计算 Δ 形时的基准点在螺旋线上的误差。分析合格齿长的问题只要着重研究 Δ 形大小就可以了。但作为曲面上各点总的畸变量 Δf 来说,则是 Δ 螺和 Δ 形的代数和

$$\Delta f = \Delta \text{螺} + \Delta \text{形} \quad (2)$$

式(2)中 Δ 螺在计算中根据实际情况将取负值,它反映了侧后角的齿厚是减小及后角是加大的。

由于实际生产中滚刀齿侧面铲磨是一个试凑过程,在试凑时不断修正砂轮廓形,直到实现滚刀刀刃齿形符合精度要求为止。所以一般要简单列出方程来计算畸变量比较困难。我们是利用电子计算机模拟实际的铲磨过程的方法来解决。模拟试凑过程的源程序中把计算刀刃上每一点的误差都控制在小于 ε (取 $\varepsilon = 10^{-6}$)作为计算合格的目标,然后再确定畸变量。图2是模拟程序的示意框图。

用这种方法计算出在 $1/2$ 齿长处处的 Δ 形,应考虑到实际生产中还有刀刃的制造误差以及其他方面的工艺误差,故必须小于齿形允许公差 $1/3$ 才能认为达到新标准的要求。同时,采用这种计算结果,滚刀前刃面在制造时的齿形公差还应适当压缩或采取限制齿形偏差分布趋

向的措施，才能确保齿形合格长度达1/2齿长。

三、铲磨工艺中有关参数对齿形合格长度影响规律的分析

铲磨工艺中可调的工艺参数有五个：铲齿量 K ，砂轮半径 R_w ，砂轮轴的水平搬角 φ ，砂轮轴的垂直搬角 λ 以及砂轮轴线对刀高度 H 。

这些参数原来各工厂一般都是这样规定的： K 取滚刀设计值； $\varphi = 0^\circ$ （直磨）； $R_w = 50$ 左右； $\lambda =$ 滚刀升角 λ_g 以及取 $H = 0$ 。关于这种情况的实际铲磨后效果已为大家熟知，今用上节介绍的计算方法再对这种情况理论上会产生的畸变作一校验。图3是新标准中 $m = 2, 5, 8$ 的三种齿轮滚刀在齿侧面各处 Δ 形计算的结果。由图可知，计算结果和实际情况是相符的，滚刀合格齿长很短，尤其滚刀的右侧齿面问题更为严重。分析其原因就在于铲磨中这样规定参数使铲磨时的接触线位置很不理想（如图4所示）处于低于水平轴截面的位置上，因而造成接触线形状变化大，且在铲磨过程中还容易进一步变化，畸变量 Δ 形自然也就大了。

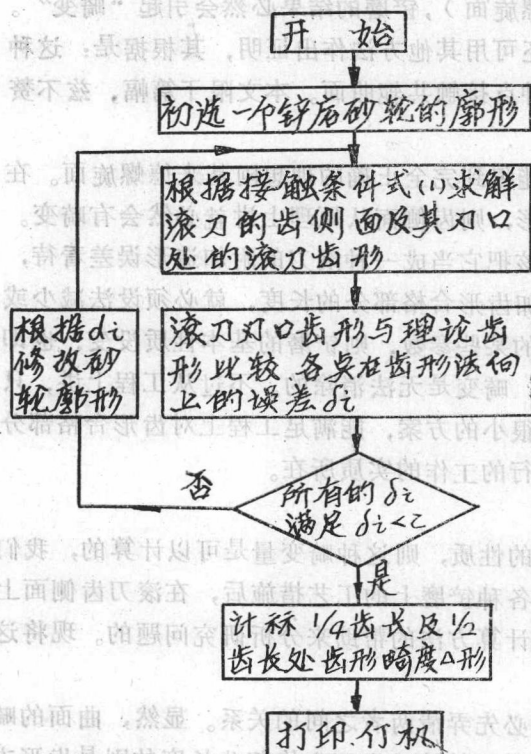


图2

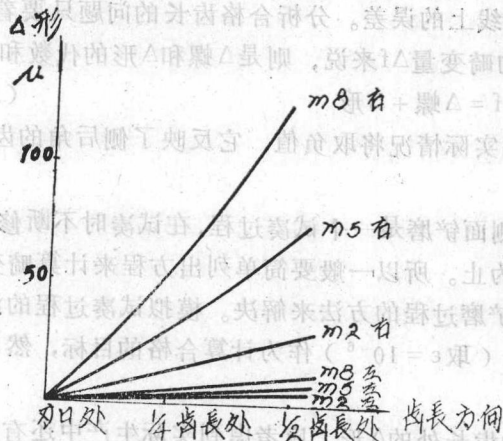


图3