多钢片子午线轮胎模具的电火花加工工艺研究

华中科技大学材料加工和模具国家重点实验室 （湖北武汉 430074） 冯民堂 李志刚

众所周知，普通轮胎在冰雪覆盖的道路上行驶时很容易打滑、失控，为了解决这个问题，一雪地胎应运而生。雪地胎与普通轮胎除了橡胶的配方不同外，其最大的特征就是雪地胎的胎冠花纹部位分布着大量的窄缝，如图1所示，这些缝在与地面接触时会产生变形，增加与地面的摩擦力，有效地防止轮胎打滑。

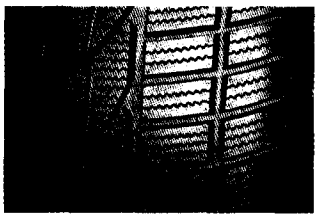
图1 雪地胎表面窄缝

轮胎的外形是橡胶在轮胎模具中硫化形成的，雪地胎上的窄缝是由模具上相应的钢片成型的。少量的钢片在模具制造中不成问题，但是当一副轮胎模具上的钢片数量多到一定的程度后，就会给轮胎模具的制造带来前所未有的困难。多钢片子午线轮胎模具的加工制造已成为轮胎模具行业的一个技术难题，其中解决多钢片的镶嵌问题是其关键。

解决多钢片镶嵌问题的途径

最近10年来，随着钢质雪地胎模具的快速增长，多钢片的镶嵌问题令模具制造商十分头痛，因为对于钢模来讲只能采取人工镶嵌的办法，即在模具型腔相应位置加工出钢片槽，然后用人工将事先准备好的钢片镶进去并压紧，以防止在使用过程中脱落，如图2所示。当钢片的数量太多时，钢片与钢片之间的距离很小，例如小于6mm时，由于缺少操作空间致使人工镶嵌的办法很难施展。另外，人工镶嵌不可避免的会损伤模具表面。

进入21世纪以来，电火花加工工艺在轮胎模具制造上的应用取得了长足的进步，尤其在钢质模具的加工方面具有明显的优势，给轮胎模具制造业的发展带来了新的契机。

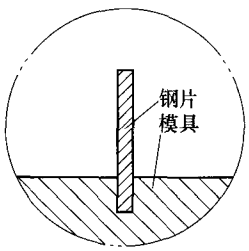

图2 钢片镶嵌

电火花加工工艺是利用浸在工作液中的两极间脉冲放电时产生的电蚀作用蚀除导电材料的特种加工方法。由于电极和工件之间始终存在一个放电间隙，二者之间没有刚性接触，因而也就不存在宏观力。这些特点决定了电火花加工工艺在加工复杂型腔、微孔和超硬、脆性材料等方面具有难以替代的独特优势。正是电火花加工的这些独特的工艺特点，使得电火花加工在过去短短几十年的时间得到迅速发展，现已成为制造业不可或缺的加工方法。

作者利用电火花加工工艺可加工复杂型腔中的特点，将其应用于钢质雪地轮胎模具的加工，成功地加工出由多钢片组成的型腔表面花纹，使之不再需要镶嵌钢片，从根本上解决了钢质雪地轮胎模具的加工难题。

多钢片子午线轮胎模具的电火花加工工艺

如前所述，采用常规的加工工艺加工多钢片轮胎模具时，钢片部分的模具材料被切除，同时还需要加工出相应的沟槽，将另外加工的钢片嵌入。作

者开发的电火花多钢片轮胎模具加工工艺，也可以称之为钢片保留加工工艺，用这种方法加工多钢片轮胎模具时，钢片的材料在电火花加工后被保留下来，钢片和模具本体是一个整体，因此无需另行镶嵌钢片。

1. 关键工艺技术

实现多钢片轮胎模具的电火花加工工艺的关键，是如何将众多的厚度小于1mm的钢片准确、完整地保留下来。为此，必须从两方面加以解决，即电极的制作和电火花加工工艺参数的确定。

（1）电极制作：钢片保留工艺需要在加工中心上铣出电极上的窄槽，槽宽的设计十分关键。否则，钢片就会被随后的电火花加工“打”没了，即得不到所要求的厚度，图3是放电间隙的局部放大图。

（2）电火花加工：有了合格的电极，还需特别关注电火花加工过程中放电间隙的变化，因为放电间隙是随着不同的放电参数的组合而变化的，放电参数包括A为加工电流、T为脉冲宽度、V为间隙电压等。通常情况下，间隙在0.8～0.02mm范围内，与放电能量成正比。

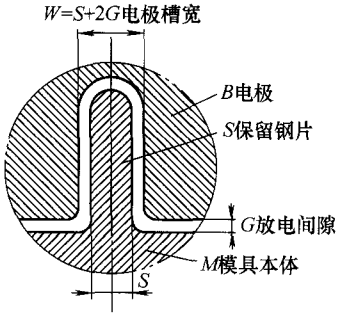

图3　放电间隙局部放大图

2. 电火花加工工艺

电火花加工工艺通常分为三个阶段：①粗加工。②半精加工。③精加工。但是，这种电火花加工工艺并不适合钢片保留加工工艺，原因是：①阶段的放电间隙要大于②、③阶段，这样在①阶段加工完成后，②、③阶段将无法再进行进一步的放电加工，钢片表面很粗糙，给后续的抛光带来很大困难。这种采用单一电极的加工工艺，放电参数必须根据精加工表面粗糙度的要求来确定，并且自始至终保持不变，结果将导致加工效率极低，因此这种加工方法并不适合钢片保留加工工艺的要求。

为解决这一问题，在作者开发的钢片保留加工工艺中使用了多电极加工。一般情况下需要三个电极，即粗加工电极、半精加工电极和精加工电极。粗加工的目的是快速去除大部分余量，半精加工的目的是降低表面粗糙度，而精加工的目的是保证钢片最后的表面粗糙度满足技术要求。精加工的速度虽然很低，但是因为加工余量小（小于0.2mm），所以所需的加工的时间不长。

上述三个阶段电极槽宽的计算公式如下

$$W_R=S+2G_R$$

$$W_M=S+2G_M$$

$$W_F=S+2G_F$$

$$G_R>G_M>G_F$$

式中，R为粗加工；M为半精加工；F为精加工；W为电极槽宽；G为放电间隙。

加工实例

这里介绍一个用电火花钢片保留工艺加工具有复杂花纹的雪地胎的例子，其上的钢片数多达5 600个，加工是在山东豪迈机械科技股份有限公司制造的轮胎模专用电火花机床上进行的（见图4）。该雪地轮胎的加工主要包括以下步骤。

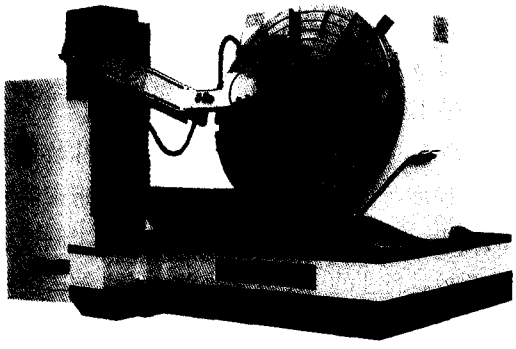
图4　轮胎模加工专用电火花成形机床

1. 电极准备

（1）分析用户提供的图样，确定电极的数量和分割面。

（2）利用三维设计软件完成电极的三维造型，图5为一个电极的三维模型，要完成一副雪地胎模具的加工，可能需要几百个不同形状的电极。

（3）编制电极的数控加工程序。

（4）在加工中心上加工电极（电极材料通常为石墨），如图6所示。

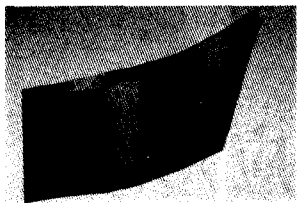

图5 单个电极的三维模型

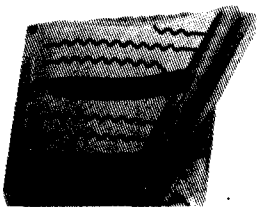

图6 加工后的石墨电极

2. 模具毛坯的机加工

将准备好的模具锻件毛坯装夹在立式车床上，将模具的回转体形状加工到位；在数控机床上铣削型腔，所留余量越小越好。

3. 电火花机床上的装卡找正

（1）将机加工后的模具装在电火花机床的卡盘上并找正。

（2）将电极安装在机床主轴下面连接板上。

（3）调整电极的方向和位置，直至达到模具上的正确的位置。

4. 放电加工

将编制好的加工程序输入机床；选择电加工参数参数；开始进行电火花粗加工；更换电极，完成半精加工和精加工，直至整个花纹加工完毕（见图7）。

图7 正在放电加工雪地轮胎模具

电火花加工参数的选择可以采用计算的方法，也可以采用经验值或者是二者的结合，加工参数的计算公式如下：

由于电火花的腐蚀速度v与单个脉冲能量w_m、脉冲频率f、脉冲利用率ϕ成正比，即

$$v = kw_m f\phi$$

式中，k为效率系数。w_m取决于间隙电压$u(t)$和工作电流$i(t)$，即

$$w_m = \int_0^{t_e} u(t)\, i(t)\, dt$$

由上述两式可得

$$v = kf\phi \int_0^{t_e} u(t)\, i(t)\, dt$$

计算结果根据经验值修正取整后（计算过程略），实际加工中采用的电加工参数如表1所示。

表1 电加工参数

项目 / 工序	T_{on} /μs	T_{off} /μs	I/A ·cm^{-2}	G /mm	E_w /mm	R_a /μm
粗加工	512	500	6	0.35	0.16	25.4
半精加工	256	250	3	0.18	5	12.5
精加工	64	50	0.8	0.05	20	3.2

一般情况下，型腔花纹的都要经过粗加工、半精加工和精加工三个阶段，因此加工一副雪地轮胎模具需要为数不少的电极。例如，型号为225/45R17的雪地轮胎模具需要电极数多达220个，整个加工约耗时450h。

5. 加工结果

采用作者开发的电火花加工工艺取得了良好的加工结果。利用三坐标测量机对已加工的型号为225/45R17的雪地轮胎花纹圈进行了检测，实际检测结果如表2所示。

表2 型号 225/45R17花纹圈的检验结果

项目 \ 结果	公差要求/mm	实测结果/mm
外圆径向圆跳动	≤0.2	0.11
钢片高度误差	+0.15	0.07
钢片宽度误差	±0.04	0.03

根据世界著名轮胎品牌固特异（美国）、普利司通（日本）、倍耐力（意大利）及大陆（德国）对轮胎模具的精度要求和检验标准，对花纹圈制造精度的要求如表3所示。进行比较可知，利用电火花保留钢片工艺加工的花纹圈的精度，完全可以满足上述品牌轮胎对模具的精度要求。

图8所示是利用钢片保留电火花工艺加工的雪地胎模具花纹圈的一部份。图9是利用上述模具硫化出来的雪地胎花纹的一部分，图10为225/45R17雪地轮胎。

表3 与国外著名公司精度对比结果

公司 / 项目	固特异	普利司通	倍耐力	大陆	钢片保留工艺的加工结果
外圆径向圆跳动/mm	≤0.5	≤0.2	≤0.2	≤0.35	0.11
钢片高度公差/mm	+0.245	+0.30	+0.30	+0.30	0.07
钢片宽度公差/mm	±0.127	±0.10	±0.15	±0.20	0.03

UG等高铣在结构面加工中的应用

四川成飞集成科技股份有限公司 （成都 610092） 王立民 贾凤瑞

随着近几年我国汽车模具工业的迅速发展，汽车模具设计与制造技术正逐步与世界接轨，各种高新技术越来越多地应用在汽车模具领域。面对日益激烈的市场竞争，更短的生产周期，更高的质量，更低的成本，已经成为模具制造企业发展的目标。汽车模具的数控加工，作为模具加工制造的重要环节之一，在整个模具生产周期中占有举足轻重的地位。结合现代高速铣削加工技术，推广实体基面3D编程，对提高数控加工效率和质量，并有效地控制数控加工成本有着重要意义。本文结合四川成飞集成科技现有技术和设备，讨论了基于UG NX6.0的实体基面3D编程的方法和具体应用。

UG CAM不仅提供可靠、精确的刀具路径，更让编程人员可以随心所欲地设计出心目中最有效的加工程序。具有提供可靠精确的刀具路径、支持直接在曲面及实体上加工、可选多样性的加工方式、完整的库管理功能等几个特点。这里和大家探讨一下UG三轴铣削中等高切削在模具结构面粗加工上的应用。

粗加工是为精加工提供更好更均匀的余量分配而做的准备。粗加工过程中，通常为达到最大化的Q值而采用满刀切削，刀具受力极大经常发生弯曲变形。等高切削通过控制有效切削深度的方式，将刀具受力限制在一个范围内；等高清根也能通过采用小切深跳直径切削方式，在提高效率的同时又保证了加工精度。

等高切削功能提供多样化的加工方式，保证刀具在整个加工过程中能在均匀的受力状态下实现较

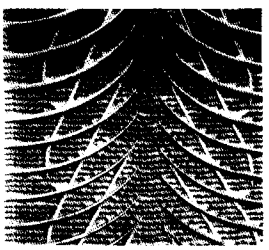

图8 利用新工艺加工的雪地轮胎模具花纹

图9 雪地轮胎上的花纹

图10 整个的225/45R17雪地轮胎

结语

笔者研究开发的电火花轮胎花纹加工工艺在多钢片轮胎模具的加工中已获得实际应用。与常规的加工工艺相比，该工艺最大的优点是花纹和型腔可以整体加工，不再需要单独地加工钢片，也不必人工镶嵌钢片，保证了钢片的牢固性，解决了钢片数量太多难以镶嵌的问题。用这种新的轮胎花纹加工工艺制造的模具，加工精度达到了世界著名轮胎企业的技术标准。实际使用结果表明，该电火花加工工艺在复杂轮胎模具的加工中将会发挥其独特的作用，尤其适用于加工具有为数众多钢片的雪地轮胎模具。

当然，作为一种新的电火花加工工艺技术，它还需要不断完善和提高，今后需要进一步提高其加工效率和自动化程度。 **MW**

（收稿日期：20120320）