

轮胎模具的滚花线加工研究

吴绍鑫

(巨轮智能装备股份有限公司, 广东 揭阳 515500)

摘要: 本文介绍了轮胎滚花线的分布、作用和其成型对应的轮胎模具部件, 并介绍了轮胎模具部件上滚花线的加工及各自的特点。首先介绍了直接雕刻、精密铸造、电火花加工三种主要的花纹块加工方法及其滚花线的加工, 其次介绍了滚花刀滚制, 数控刻字机雕刻和激光雕刻三种侧板与钢圈的滚花线加工方法, 最后介绍了涉及滚花线的 UG CAM 型腔铣、固定轴轮廓铣和可变轴轮廓铣三种铣加工方式及其编程方法。

关键词: 轮胎模具; 滚花线; 花纹块; 侧板; UG CAM

引用论文: 吴绍鑫. 轮胎模具的滚花线加工研究 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(10):37-42.

中图分类号: TQ330.41

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2026)10-0037-06

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.10.007

轮胎滚花线是一种较为特殊的轮胎花纹类型, 具有截面尺寸细小, 分布密集的特点, 也常被称为装饰线。本文将对轮胎滚花线的分布和其成型对应的轮胎模具部件进行介绍, 重点介绍花纹块和侧板的滚花线加工制造技术及其特点, 并对涉及滚花线的 UG CAM 铣加工方式展开介绍。

1 滚花线的分布与作用

轮胎外胎主要是由胎冠、胎肩、胎侧和胎圈几个部位组成, 这些部位经常设计有滚花线, 承担着不可忽视的作用。

胎冠区域的滚花线起到增加抓着力或降低胎噪等作用 (见图 1); 胎肩区域的滚花线起到降低胎噪或美观等作用。胎侧区域的滚花线分布范围广、样式多, 常起到显示字体或图案、提升轮胎外观视觉效果等作用; 胎圈处的滚花线则可以用来增强轮胎与轮辋之间的附着力, 防止在高速运行或剧烈操控中出现胎侧滑动的风险 (见图 2)。

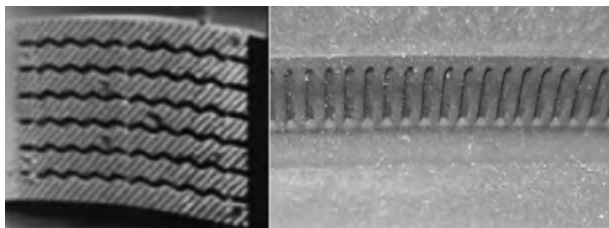


图 1 胎冠部位的接地面与花沟侧壁分布的滚花线

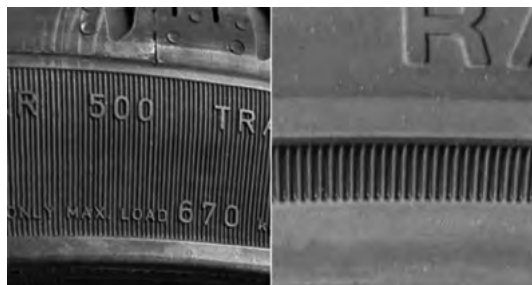


图 2 胎侧与胎圈处分布的滚花线

2 滚花线的对应轮胎模具部件及其加工

轮胎外形硫化需要用到轮胎模具, 轮胎模具零部件众多, 构成型腔的部件主要是花纹块、侧板和钢圈。

一般来说, 胎冠与胎肩滚花线成型的模具部件是花纹块 (见图 3), 胎肩区域的花纹与胎冠区域的花纹一起造型、编程与加工。少数情况下, 胎肩区域会有部分花纹被设计于侧板处, 此部分花纹将在侧板上加工成型。胎侧滚花线成型的模具部件是侧板。胎圈部位滚花线成型的模具部件则需要根据具体设计来确定, 如果胎圈滚花线被设计在侧板上, 则滚花线加工在侧板上, 如果胎圈滚花线被设计在钢圈上, 则滚花线加工在钢圈上, 二者的加工工件不同, 但 CAM 编程加工方法相同。实践中, 涉及到滚花线的加工有多种方式, 需要根据所在模具部件与加工要求来确定。

作者简介: 吴绍鑫 (1990-), 男, 本科, 工程师, 主要从事轮胎模具设计、开发与制造工作。

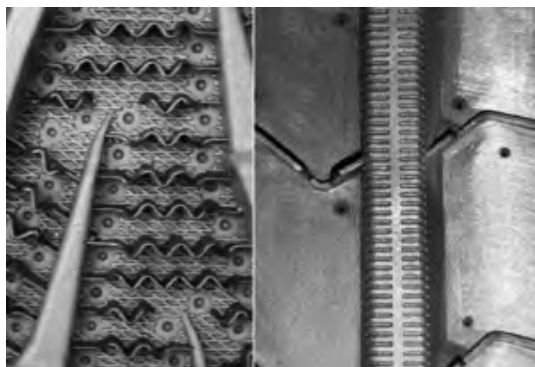


图3 铝花纹块胎冠部位的滚花线

2.1 花纹块的主要加工方法及其滚花线加工

目前花纹块的主要加工方法有：数控直接雕刻、精密铸造和电火花加工。

(1) 数控直接雕刻

数控直接雕刻是高速切削加工技术在轮胎模具加工中的应用（见图4），使用计算机做3D造型和数控编程，并采用多轴联动机床及高强度高韧性的刀具加工，实现五轴数控机床直接雕刻花纹块^[1]。

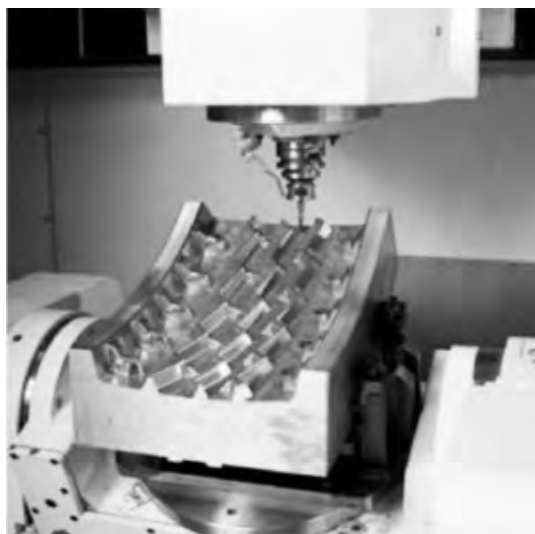


图4 五轴加工中心直接雕刻花纹块

在花纹块滚花线的加工实践中，由于大部分滚花线分布密集且深度浅，采用直接雕刻花纹块的方式，不仅加工限制多，加工效率低，加工质量也不高，故遇到设计有滚花线的轮胎花纹，一般不采用数控直接雕刻的方式加工。

(2) 精密铸造

精密铸造技术是目前绝大部分的半钢子午线轮胎模具铝花纹块的生产方式。精密铸造的花纹成型主要依赖于铸造过程中使用的基础模。基础模采用树脂材

料合成，其花纹是通过五轴数控机床雕刻成型的（见图5）。在基础模加工完成后，通过仿硅胶模，仿石膏，拼石膏块等工序，进入浇铸成型，再经过一系列加工，才能完成整块铝花纹块的最终成型。



图5 五轴数控机床加工基础模

因基础模形状与轮胎相同，故在其上加工滚花线这种既细又浅的特殊花纹是非常合理、高效的。实践中，绝大部分带有滚花线的铝花纹块都是采用精密铸造的加工方法成型的。而精密铸造的花纹成型所依赖的基础模，则是通过3D造型、数控编程和五轴数控机床加工得到滚花线等相应花纹的（见图6）。

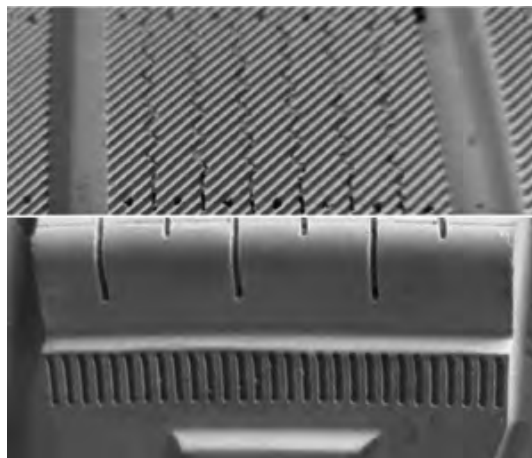


图6 基础模上加工的胎冠与胎肩部位的滚花线

(3) 电火花加工

电火花加工是利用加工有轮胎花纹的石墨电极浸在工作液中，并通过两极的脉冲放电蚀除花纹圈的材

料来形成花纹的（见图 7）。电火花加工工艺主要适用于全钢模具，在半钢模具加工中有较多的局限性。

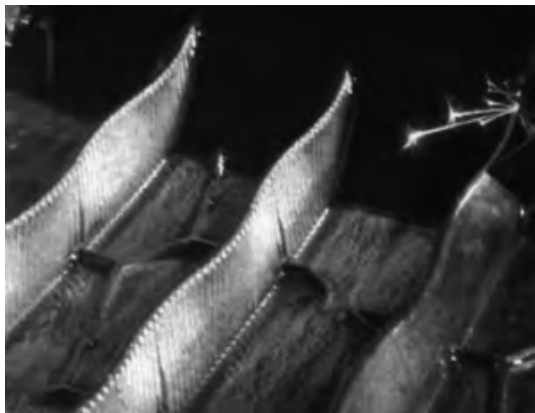


图 7 电火花腐蚀加工花纹圈

电火花加工所依赖的石墨电极，其花纹成型和基础模一样，二者的编程加工方法也大同小异。钢花纹块的滚花线成型与其他花纹一样，是先在石墨电极上加工出滚花线，再通过放电蚀除材料的方式将滚花线加工在钢花纹块上（见图 8）。

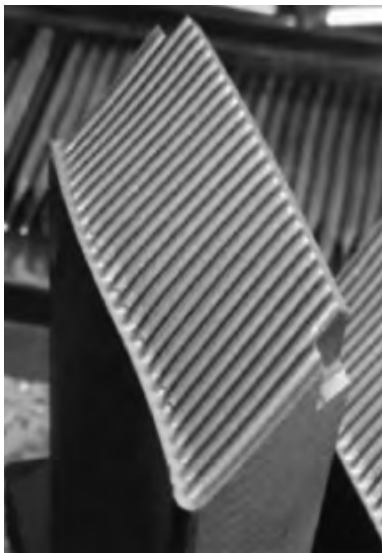


图 8 加工有滚花线的石墨电极

2.2 侧板和钢圈的滚花线加工

侧板和钢圈的滚花线主要加工方式是滚花刀滚制、数控刻字机雕刻和激光雕刻。

（1）滚花刀滚制

滚花刀滚制是一种滚花线加工工艺，其原理是：先按照滚花线的间距、深度、长度以及其位于工件所在位置的半径来设计滚花刀，将滚花刀夹在车床刀盘上，在需要制出滚花线的已加工好的侧板部位上直接

实施滚压，从而得到滚花线^[2]。滚花刀滚制的加工时间短，生产效率高，但其工艺复杂，且加工质量已远不能满足加工要求，在绝大部分情况下已被数控刻字机雕刻所取代。

（2）数控刻字机雕刻

数控刻字机雕刻是目前各大主要轮胎模具制造商普遍采用的侧板字体与图案的加工方法，一般采用四轴联动数控刻字机^[3]（见图 9），其在同区域内加工出来的滚花线的尺寸与表面光洁度等都高度一致，加工精度与加工质量高，可以满足绝大部分滚花线的设计与加工要求（见图 10）。



图 9 数控刻字机

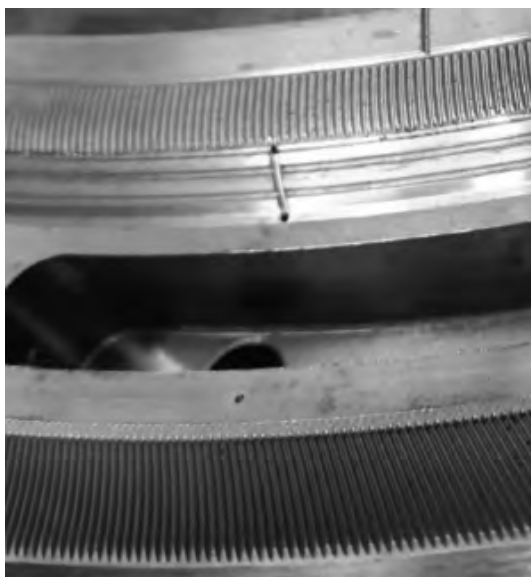


图 10 侧板上加工的胎侧滚花线和胎圈滚花线

使用数控刻字机加工侧板滚花线，需要采用 CAM 编程软件对加工部件进行精确建模与编程，最后生成可被数控刻字机系统读取的刀轨文件，从而实现高质量的加工效果。

(3) 激光雕刻

激光雕刻是采用高功率密度的激光束照射工件,使材料熔化、气化,从而实现非接触式高速雕刻的一种特种加工技术,与其他制造技术相比具有显著的优势,是现代制造技术的典型代表。激光雕刻的设备操作简单、加工效率高,避免了复杂的刀路编程以及冗长的加工时间,其卓越的加工精度和高效的作业速度,显著提升了现代制造业的加工能力与效率,对工业智能化进程产生了深远影响。

激光雕刻已被广泛应用于各行各业,越来越多的轮胎厂商选择采用激光雕刻加工滚花线以提高其加工精度与质量,从而实现其产品设计的效果。

与数控刻字机雕刻相比,激光雕刻的加工精度更高,通过突破传统刀具的限制进一步缩小滚花线之间的间距,实现在单位面积内达到更大的饱和度,从而使硫化后的轮胎字体或图案更黑,更醒目^[4](见图11)。同时,激光雕刻对加工图形的要求少,可加工形状也更加灵活多样。

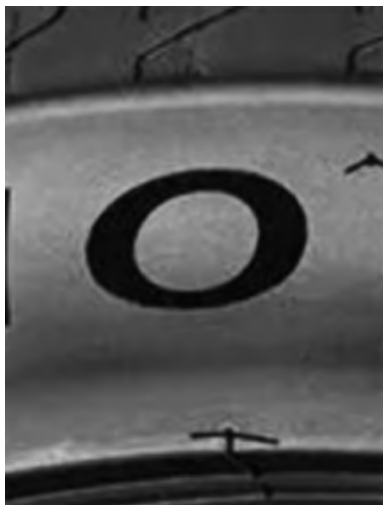


图 11 采用激光雕刻侧板滚花线后的胎侧字体硫化效果
(字体内部深黑色部分为滚花线)

尽管激光雕刻拥有众多加工优势,但激光雕刻设备的购买与保养较为昂贵。相比之下,数控刻字机可满足侧板大部分区域的字体与图案的加工要求,且加工成本相对更低,故目前除了特别设计与要求之外,轮胎模具行业对侧板滚花线的加工还是以数控刻字机雕刻为主。

3 滚花线的 UG CAM 编程

无论是采用五轴数控机床加工基础模滚花线还是

采用四轴数控刻字机加工侧板滚花线,机床执行加工任务所需要读取的刀轨文件都要依赖于 CAM 编程软件的加工刀路编程与后处理生成。

目前轮胎模具行业广泛采用 UG (Siemens NX) 软件进行各零部件的建模与编程。UG (Siemens NX) 是一款集 CAD/CAM 为一体的高端工业软件,其功能强大,口碑出众,故下面以具有代表性的 UG 软件来介绍滚花线的 CAM 编程。

在对加工部件完成 CAD 精确建模的基础上,UG CAM 可通过编程生成加工刀路,并提供加工仿真与验证功能。UG CAM 与 UG CAD 紧密集成,直接用 UG CAD 创建的模型进行编程,其生成的 CAM 数据与 CAD 模型相关,若 CAD 模型被修改,CAM 数据也适应模型变化自动更新,从而免除了重新编程的工作。UG CAM 提供了包括孔加工、车加工、铣加工和线切割加工等多种加工类型。其中,铣加工又可分为平面加工、型腔加工、固定轴加工、可变轴加工和顺序铣加工等多种方式,适用于不同的铣加工目的。

滚花线无论是加工于花纹块还是侧板,其编程加工类型采用的都是铣加工,涉及滚花线的铣加工方式分别是型腔铣、固定轴轮廓铣和可变轴轮廓铣,下面将对这几种铣加工方式进行介绍:

(1) 型腔铣

型腔铣是一种采用固定刀轴高效地等高逐层切削以去除大部分毛坯材料的加工方式。通过选择包括平行切削与环绕切削方式在内的不同切削模式,可改变刀具轨迹的切削方式,从而达到粗加工或精加工的目的。

(2) 固定轴轮廓铣

固定轴轮廓铣是曲面精加工的主要加工方式。其刀位轨迹点是由沿着某个指定的矢量将驱动几何体生成的驱动点投影到加工零件表面而生成的。通过对驱动方法与投影矢量的不同设置,可以形成不同的刀轨形式,从而适应不同的部件精加工要求。固定轴轮廓铣的驱动方法超过 10 种,其中,涉及滚花线 CAM 编程的驱动方法主要是“边界”驱动、“区域铣削”驱动和“清根”驱动这 3 种。

(3) 可变轴轮廓铣

可变轴轮廓铣是一种可以通过控制驱动方法、投影矢量和刀轴来沿加工部件轮廓出料的铣加工方式。其刀轴的轴线方向可在加工过程中改变,可以实现更加复杂的曲面精加工。“驱动方法”“投影矢量”和“刀

轴”这三项是可变轴轮廓铣最主要的设置项。

可变轴轮廓铣的驱动方法有“曲线/点”“曲面”“流线”“径向切削”等,对于滚花线这种特殊花纹的CAM编程,主要采用到的驱动方法是“曲线/点”驱动方法。

对滚花线进行CAM编程,在选择加工方式前,需要先对滚花线的加工工件与工件上滚花线的形状进行分析。

首先,需要知道滚花线对应模具部件的加工方法以及滚花线的CAM编程工件。在胎冠或胎肩部位带有滚花线的花纹块是采用精密铸造或电火花加工,其滚花线编程与加工的工件是基础模或石墨电极,加工的花纹形状与轮胎花纹一致。而胎侧和胎圈对应的模具部件为侧板或钢圈,其滚花线的编程与加工工件直接就是侧板或钢圈,加工的花纹形状与轮胎花纹互反。(见图12)。



图12 侧板上加工的字体形状与轮胎字体互反

再者,需要根据滚花线的形状来确定加工工艺并选择相应的铣加工方式。比如,滚花线相对其分布区域表面是凸起形状还是凹陷形状。

若工件上的滚花线相对其分布区域表面是成为下凹形状,则采用“可变轴轮廓铣”加工方式直接在其分布区域表面上进行精加工编程。(见图13、图14)在UG CAM后处理生成刀轨文件后,数控机床通过读取刀轨文件并结合使用与滚花线截面尺寸相同的成型刀具进行精加工,加工效率高。

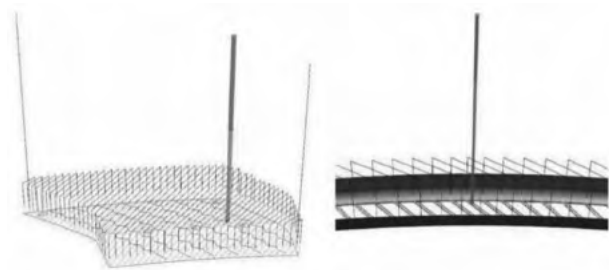


图13 UG可变轴轮廓铣在基础模接地面部位与花沟底部的下凹滚花线的刀路模拟

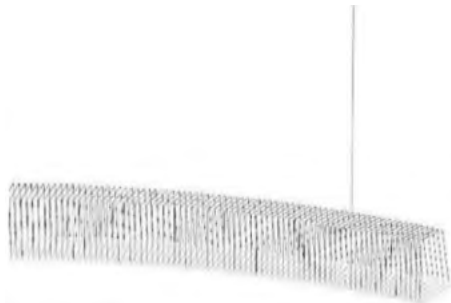


图14 UG可变轴轮廓铣在侧板的下凹滚花线的刀路模拟

若工件上的滚花线相对其分布区域表面为凸起形状,如花沟、字体或图案内部凸起的滚花线,则需要按照其形状尺寸进行CAD建模,并将滚花线的造型与其所分布区域的造型(如花沟、字体或图案的造型)视为一个区域整体,一起作为UG CAM的“部件几何体”进行编程。先采用“型腔铣”对区域整体进行粗加工,再采用“固定轴轮廓铣”的“边界”驱动或“区域铣削”驱动对区域整体进行半精或精加工(见图15),若滚花线的边缘凹处还有残料,则需要采用“清根”驱动方法做最后的清角精加工。

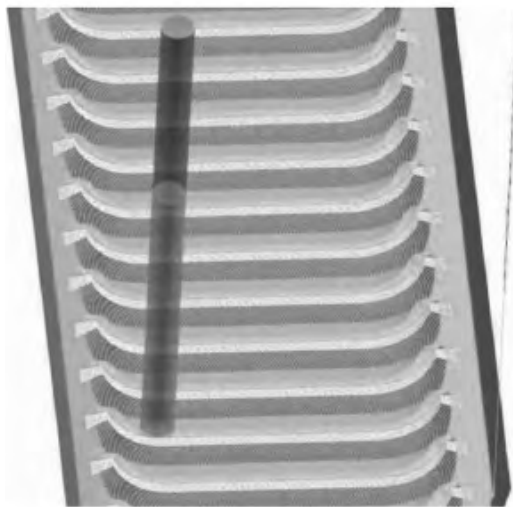


图15 UG固定轴轮廓铣在基础模花沟底部的凸起滚花线的精加工刀路模拟

在确定滚花线的加工工艺与铣加工方式后,通过对UG CAM操作对话框内的选项及参数进行不同的设置,就可以实现对各轮胎模具部件上的不同形状的滚花线进行加工刀路编程。

4 结束语

本文介绍了轮胎滚花线的分布、作用和其成型对应的轮胎模具部件,并介绍了轮胎模具部件上滚花线

的加工及各自的特点。首先介绍了直接雕刻,精密铸造,电火花加工 3 种主要的花纹块加工方法及其滚花线的加工,其次介绍了滚花刀滚制,数控刻字机雕刻及激光雕刻三种侧板与钢圈的滚花线加工方法及其特点。最后通过总结涉及滚花线编程的 UG CAM 型腔铣、固定轴轮廓铣和可变轴轮廓铣,介绍了如何根据铣加工工件和滚花线的形状来选择 UG CAM 的铣加工方式进行编程。

参考文献:

- [1] 林莉,陈庆湘.子午线轮胎活络模花纹块的加工方法[J].橡塑技术与装备,2018,44(13):19-22.
- [2] 石伟.浅谈轮胎侧滚花线的实现[J].本溪冶金高等专科学校学报,2001(1):28-29,33.
- [3] 胡海明,张浩.轮胎模具侧板装饰线 CAM 研究与应用[J].橡塑技术与装备,2010,36(8):43-45
- [4] 江苏通用科技股份有限公司.轮胎模具、充气轮胎表面装饰线及其应用:202311691042.X[P].2024-04-26.

Research on knurling line processing of tire molds

Wu Shaoxin

(GREATOO Intelligent Equipment Inc, Jieyang 515500, Guangdong, China)

Abstract: This article introduces the distribution and function of tire knurling lines, as well as the corresponding tire mold components for their formation. It also elaborates on the processing methods and respective characteristics of knurling lines on tire mold components. Firstly, it introduces three main processing methods for pattern blocks and their knurling line processing: direct engraving, precision casting, and electric discharge machining. Secondly, it introduces three processing methods for knurling lines on side plates and steel rims: knurling tool rolling, CNC lettering machine engraving, and laser engraving. Finally, it introduces three milling methods involving knurling lines: UG CAM cavity milling, fixed axis contour milling, and variable axis contour milling, as well as their programming methods.

Key words: tire mold; knurling line; tread block; side plate; UG CAM

(R-03)

