

碟形弹簧制造工艺在汽车零配件机械零件设计中的应用

胡文正

广州日弘机电有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025120051

摘 要： 碟形弹簧制造工艺对汽车零配件机械零件设计至关重要。从选材、成型、热处理到表面处理，各环节影响其性能。通过优化结构参数、改进成型工艺、运用回弹补偿算法，结合无损检测与在线监测，提升产品质量。在离合器、变速箱等组件应用广泛，未来需面向新能源汽车研发耐高温弹簧工艺。

关 键 词： 碟形弹簧；汽车零配件；制造工艺

Application of Disc Spring Manufacturing Process in the Design of Mechanical Parts for Automotive Parts

Hu Wenzheng

NHK Spring Precision(Guangzhou) Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： The manufacturing process of disc springs is crucial for the design of mechanical parts in automotive parts. From material selection, forming, heat treatment to surface treatment, each step affects its performance. By optimizing structural parameters, improving forming processes, using rebound compensation algorithms, and combining non-destructive testing and online monitoring, product quality can be improved. Widely used in components such as clutches and transmissions, high-temperature resistant spring technology needs to be developed for new energy vehicles in the future.

Keywords： disc spring; automotive parts; manufacturing process

引言

随着《新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）》在2020年11月的颁布，新能源汽车快速发展，对碟形弹簧在汽车零配件机械零件设计中的性能提出更高要求。碟形弹簧的材料加工、表面处理等制造工艺对其性能至关重要，合理设计工艺参数能使冷冲压与热处理协同，提升耐腐蚀性能。同时，优化材料选择、精准协调结构参数、改进成型工艺、运用回弹补偿算法、升级检测与监测系统等，有助于满足汽车不同系统需求。面向新能源汽车研发耐高温弹簧工艺，将推动汽车零配件机械零件设计的发展与创新。

一、碟形弹簧制造工艺关键技术

（一）材料加工工艺

碟形弹簧的材料加工工艺对其性能至关重要。在选材方面，需依据弹簧钢选材标准，充分考虑材料的强度、韧性、疲劳性能等，确保能承受汽车运行时的动态载荷^[1]。精密成型技术为关键环节，冷冲压工艺可实现碟形弹簧的初步成型。通过精确控制模具尺寸与冲压参数，保证弹簧外形精度。然而，冷冲压会使材料产生加工硬化，影响弹簧综合性能，此时需配合热处理工艺。热处理能消除加工应力，恢复材料塑性与韧性，调整硬度与强度等力学性能。合理设计热处理工艺参数，如加热温度、保温时间、冷却速度等，使冷冲压与热处理相互协同，最终制造出满足汽车零配件机械零件设计要求的碟形弹簧，确保其在汽车复杂工况下

可靠运行。

（二）表面处理工艺

碟形弹簧在汽车零配件中使用，其表面处理工艺对性能影响重大。磷化处理是通过化学反应在弹簧表面形成一层磷酸盐转化膜。这层膜能有效隔离空气、水分等腐蚀性介质，防止弹簧生锈，其防腐机理在于磷酸盐晶体结构紧密，阻碍了腐蚀介质的渗透。研究表明，合适的磷化处理可显著提高碟形弹簧在潮湿、酸碱等恶劣环境下的抗腐蚀能力，延长产品服役寿命^[2]。镀层工艺也是常用的表面处理手段，比如镀锌、镀镍等。锌、镍等金属镀层能在弹簧表面形成致密的保护膜，凭借自身的电化活性，在一定程度上牺牲自己保护弹簧基体，进一步提升碟形弹簧的防腐性能，从而确保其在汽车复杂工况下长时间稳定工作，延长在汽车零配件中的服役寿命。

二、工艺特性在机械设计中的应用

（一）材料选择优化设计

在汽车零配件机械零件设计中，基于碟形弹簧制造工艺特性来优化材料选择至关重要。通过制造工艺的材料特性反向推导设计参数选择范围，可有效提升零件性能。不同材料在碟形弹簧制造工艺下展现出各异特性，例如钢材的强度、弹性模量等参数会因制造工艺而改变。设计时，需依据这些特性来精准选择材料。若片面追求高强度材料，可能忽视制造工艺对其韧性的影响，导致零件易脆断。所以要综合考量，根据碟形弹簧的实际工况与性能需求，结合制造工艺对材料特性的作用，确定适宜的材料。通过这种方式优化材料选择，能让汽车零配件机械零件更好地契合设计要求，满足汽车运行时对零件可靠性、耐久性的严格标准^[3]。

（二）结构参数协调设计

碟形弹簧的厚度、锥角与外内径比是影响其性能的关键结构参数。

厚度不同，弹簧的承载能力有显著差异。厚度越厚，弹簧承载能力更强，弹簧刚度增加；厚度越薄，弹簧承载能力更小，弹簧刚度减小。

锥角不同，弹簧受力时各部分变形程度有差异，从而改变应力分布。当锥角较大时，弹簧外缘的应力集中更显著，承载能力相对较强，可能更适合在特定结构约束下需要更大承载的应用；锥角较小时，弹簧应力分布相对均匀，变形范围更大，更有利于需要整体变形或大变形量的场合。

外内径比（碟簧外径和内径之比）同样重要。外内径比减小，弹簧刚度显著增加，承载能力提高，适用于需要承受较大载荷和抵抗较大冲击力的零件，如汽车离合器压盘或某些重型设备的缓冲元件；外内径比增加，弹簧刚度降低，柔性更好，变形能力增强，适用于对弹性变形量要求较高、载荷相对较小的部件。

在汽车零部件设计中，需综合考虑零件的实际工况（如载荷大小、方向、频率、空间限制）与性能需求（如刚度、变形量、疲劳寿命），合理匹配碟形弹簧的厚度、锥角与外内径比，以优化应力分布、提高承载效率、避免局部应力过大，从而提升零件的可靠性与使用寿命，满足汽车不同系统对碟形弹簧的多样化需求。

三、制造工艺优化方向

（一）成型工艺改进

1. 多工位冲压模具设计

在碟形弹簧制造应用于汽车零配件机械零件设计中，多工位冲压模具设计是成型工艺改进的关键。设计需综合考虑汽车零配件的复杂形状与精度要求，优化模具的工位布局。合理安排落料、冲孔、弯曲等工位顺序，以确保碟形弹簧逐步成型且尺寸精准。通过精确计算模具的间隙、冲裁力等参数，保障冲压过程的稳定性^[6]。同时，采用高强度、耐磨的模具材料，提高模具使用

寿命，降低生产成本。还要运用先进的模具制造技术，如电火花加工、线切割、仿形研磨等，保证模具的加工精度，从而提升碟形弹簧在汽车零配件中的成型质量，满足汽车机械零件对于碟形弹簧高精度、高性能的使用需求。

2. 回弹补偿算法

在碟形弹簧制造工艺用于汽车零配件机械零件设计时，回弹补偿算法至关重要。通过建立基于材料本构模型的回弹预测修正体系，可实现精准的回弹补偿。此算法依托对材料力学性能的深入分析，以准确的本构模型为基础，能有效预测碟形弹簧成型过程中的回弹量。在实际应用中，借助该算法对模具参数进行动态调整，使得模具设计更贴合实际成型需求，从而补偿回弹带来的尺寸偏差。该算法不仅考虑材料特性，还结合汽车零配件的具体使用工况，确保碟形弹簧在满足设计尺寸精度的同时，也能适应汽车复杂的工作环境，提高其在汽车机械零件中的应用性能^[6]。

（二）检测技术升级

1. 无损检测体系

在碟形弹簧制造工艺应用于汽车零配件机械零件设计中，无损检测体系的升级意义重大。X射线检测可有效识别碟形弹簧内部结构缺陷，通过精确的成像分析，清晰呈现内部裂纹、气孔等问题，其检测精度可达微米级，有助于对微小缺陷的早期发现^[7]。涡流检测则凭借对表面及近表面缺陷的高灵敏度，能快速检测出因加工工艺导致的表面裂纹或材料不均匀性。例如，在弹簧成型后的热处理过程中，涡流检测可及时发现因热应力产生的表面缺陷。通过这两种检测技术的综合应用，构建更完善的无损检测体系，能全面提升碟形弹簧的质量检测水平，确保其在汽车零配件机械零件设计中的可靠应用，减少因潜在缺陷引发的安全隐患。

2. 在线监测系统

在碟形弹簧制造工艺应用于汽车零配件机械零件设计时，在线监测系统的升级至关重要。通过构建先进的在线监测系统，可实时掌握碟形弹簧制造过程中的关键参数，如冲压压力、温度变化等。利用高精度传感器收集数据，借助大数据分析 with 人工智能算法对数据进行深度挖掘，及时发现工艺偏差与潜在问题，从而实现制造过程的精准调控。该系统还能对生产设备的运行状况进行监测，提前预警设备故障，减少因设备异常导致的产品质量问题。这不仅有助于提高碟形弹簧的制造精度和产品质量稳定性，也为汽车零配件机械零件设计提供更为可靠的基础，进而优化整个制造工艺流程^[8]。

（三）耐高温弹簧工艺研发

为应对新能源汽车电驱、制动等高温工况对碟形弹簧的耐温要求，耐高温弹簧工艺研发成为关键方向。在材料方面，优先选用高温合金（如 Inconel 718）或特种不锈钢（如 SUS631），并通过固溶处理与时效硬化提升其高温强度。热处理工艺需针对性调整，采用多阶段控温回火以稳定组织，避免高温下性能衰减。针对高温环境下的蠕变与疲劳问题，需通过热-力耦合仿真分析及高温持久试验，评估弹簧在长期高温载荷下的变形与寿命，并基于试验数据优化结构设计，如调整厚度与锥角分布，以提升其在高温工况下的可靠性与耐久性。

四、汽车零配件应用案例

（一）变速箱弹簧组件

1. 离合器回位碟簧

在变速箱的弹簧组件中，离合器回位碟簧是关键部件。以某型号轿车的离合器回位碟簧为例，其工作时需承受频繁的离合动作带来的冲击力与压力，离合器接合时需提供持续稳定的弹力，保证接合动作平顺。离合器分离时需快速推动活塞回位，保持活塞稳定在安装位置。通过碟形弹簧制造工艺，优化了碟簧的几何参数与材料性能。该碟簧采用特殊合金钢材料，经精密冲压、淬火回火、抛丸、压缩等工艺处理，以满足高负荷下的弹性需求。其外径、内径、厚度及锥角等参数经过精确设计，整体装配配合形式也经过多次试验确定，实现了合适的刚度与行程特性。这种碟簧不仅有效传递发动机扭矩，还确保离合器结合与分离的平稳性，提高驾驶舒适性。在实际使用中，该离合器碟簧经长时间、高强度工况考验，性能稳定，减少了维修频次，充分体现碟形弹簧制造工艺在汽车离合器碟簧设计中的重要性与应用价值^[9]。

2. 制动器回位碟簧

在变速箱他那黄组件中，制动器回位弹簧是关键的部件。以某型号 SUV 的多档混动专用变速箱中的制动器回位碟簧为例，该车型对弹簧的耐用性要求极高的同时，安装空间小，碟形弹簧的设计难度大。通过考虑碟形弹簧制造工艺，使复杂的外径开槽形状碟形弹簧的设计得以成立。该碟簧采用优质合金弹簧钢，并运用冲压、淬火回火、特殊抛丸、压缩等工艺处理，使碟簧得以满足极高的循环压缩次数，在高强度工况下也不发生断裂，同时衰减控制在可接受范围。

3. 制动器缓冲弹簧

在变速箱弹簧组件中，制动器缓冲弹簧有着关键作用。以某款高性能轿车的变速箱为例，该车型对换挡平顺性要求极高，在制动器内增设了缓冲弹簧。其变速箱缓冲弹簧采用碟形弹簧制造工艺，弹簧的自由高精度成为影响换挡效果的关键因素。经实际测试，当碟簧自由高度控制在 $\pm 0.1\text{mm}$ 范围内时，换挡过程中产生的冲击力显著减小，驾驶员几乎感受不到顿挫感，极大提升了换挡平顺性。若精度超出此范围，换挡时会出现卡顿、冲击现

象，不仅影响驾驶体验，长期还可能对变速箱其他部件造成损害。因此，依据碟形弹簧制造工艺严格把控高度成型精度，对于提升变速箱定位弹簧性能，保障汽车换挡平顺性至关重要^[10]。

（二）各类系统弹簧组件

1. 转向器用弹簧

在电动助力转向系统（EPS）中，碟形弹簧主要应用于转向柱总成的连接部位，其核心作用是消除机械传动间隙、提供预紧力并吸收振动。以某款高级轿车的齿条平行式电动助力转向器（RP-EPS）用碟形弹簧为例，该弹簧对弹性系数和抗疲劳能力有极高的要求，通过设计高精度的模具获得稳定、准确的碟簧尺寸，选用厚度一致性高的冷轧材，并采用感应加热和抛丸工艺，显著提高了弹簧的稳定性。

2. 再生协调制动系统用弹簧

再生协调制动系统（Regenerative Braking Coordination System）是新能源汽车的核心技术之一，它通过智能协调电机能量回收与传统液压制动，实现能量高效回收、制动平顺控制及安全冗余保障。碟形弹簧应用在其中的电子控制制动系统中，对吸能能力有很高的要求。以某款高档 SUV 车型为例，其碟形弹簧应用高精度成形工艺，并使用压缩工艺提高弹簧的耐久性。同时考虑其大负载使用工况，应用了磷化等表面处理工艺，有效的保护了碟簧的表面，在实际测试中取得良好效果。

五、总结

碟形弹簧制造工艺在汽车零配件机械零件设计中有着重要应用。制造工艺为设计优化提供了多方面指导价值，它不仅能助力工程师在设计阶段精准选择材料，确保弹簧性能符合汽车实际使用需求，还能通过对成型、热处理等工艺的研究，改进设计结构，提升弹簧的疲劳寿命与稳定性。随着新能源汽车的快速发展，对碟形弹簧耐高温性能提出了更高要求。面向新能源汽车研发耐高温弹簧工艺成为关键方向，这需要结合材料科学、热学等多学科知识，研发新型材料或改进现有材料处理工艺，以满足新能源汽车在复杂工况下对碟形弹簧的性能需求，进一步推动汽车零配件机械零件设计的发展与创新。

参考文献

[1] 赵高攀. 超导线圈预紧碟形弹簧弹性特性研究 [D]. 安徽工程大学, 2023.
[2] 韩伟. 碟形弹簧自复位钢框架梁柱节点抗震性能研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2022.
[3] 罗鹏程. L 汽车零配件制造公司发展战略优化研究 [D]. 重庆工商大学, 2023.
[4] 孟敏. 柴油机喉口重熔活塞设计与制造工艺研究 [D]. 山东大学, 2023.
[5] 徐飞鸿. 面向临床应用的柔性颅底电极设计与制造 [D]. 中国科学院大学, 2022.
[6] 李宾. 绿色制造工艺在汽车零配件机械加工中的应用 [J]. 内燃机与配件, 2022(11): 107-109.
[7] 宋希红. 绿色制造工艺在汽车零配件机械加工中的应用研究 [J]. 内燃机与配件, 2021(10): 111-112.
[8] 潘玉环. 汽车零配件加工中的绿色制造工艺探析 [J]. 内燃机与配件, 2021(19): 98-99.
[9] 杨一航, 许福东. $\phi 90$ 恒扭矩钻具中碟形弹簧的优化设计 [J]. 现代机械, 2022(5): 66-69.
[10] 郑伟静, 姚杰, 陈志光. 核电厂主蒸汽安全阀碟形弹簧检测工艺探究 [J]. 设备管理与维修, 2021(16): 123-125.