冲压模具的发展现状与精密化趋势研究

苏禹澎¹ 张一含²

1. 沈阳市自来水给排水工程有限责任公司 辽宁 沈阳 110000

2. 沈阳地铁集团有限公司运营维护保障分公司 辽宁 沈阳 110000

摘要: 本文深入探讨了冲压模具的发展现状与精密化趋势。首先强调了冲压模具在现代制造业中的关键地位,接着从技术水平、市场规模、应用领域等多维度详细阐述其发展现状。随后对精密化趋势下的高精度加工、智能化等关键技术展开深入研究。最后对冲压模具未来发展进行展望,旨在为行业持续发展提供全面且具深度的理论参考。

关键词: 冲压模具; 发展现状; 精密化趋势; 关键技术

1 引言

冲压模具作为冲压生产的核心工艺装备,通过压力机对板材、带材、管材和型材等施加外力,促使其产生分离或塑性变形,进而获得特定形状和尺寸的零件。在现代制造业的广阔版图中,冲压模具广泛应用于汽车、航空航天、电子、家电等众多关键领域,其发展水平直接关乎产品的质量优劣、生产效率高低以及成本多少。随着科技浪潮的持续推进和市场需求的日益多元化,冲压模具正朝着精密化、高效化、智能化等前沿方向大步迈进。深入研究冲压模具的发展现状与精密化趋势,对于精准把握行业动态、有力推动技术创新、切实提升企业竞争力具有不可忽视的现实意义。

2 冲压模具的发展现状

2.1 技术水平不断提升

2.1.1 设计技术

CAD、CAE、CAM技术在冲压模具设计中成主流。CAD借助SiemensNX、CATIA等软件平台,使模具设计效率大幅提升。设计师能在虚拟环境快速构建三维模型,直观准确且便于优化修改,采用该技术后,模具设计周期平均缩短30%-40%。CAE通过AutoForm、Dynaform等软件,对冲压过程全方位模拟分析,精准预测起皱、开裂、回弹等缺陷。以汽车覆盖件模具设计为例,CAE模拟使设计阶段缺陷发生率降低70%以上,减少试模次数,降低研发成本。CAM实现模具制造自动化数字化,与CAD系统无缝对接,自动生成刀具路径,控制数控加工设备高精度加工。在复杂模具型腔加工中,CAM技术将加工精度控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内,提高模具质量和生产效率。

2.1.2 制造工艺

高速加工技术优势显著,在模具制造中广泛应用。高速加工中心主轴转速 $10000\sim 30000\text{r/min}$,进给速度 $20\sim 60\text{m/min}$ 。加工中等复杂程度模具型腔,相比传统方法,

加工时间缩短50%左右,表面粗糙度达 $\text{Ra}0.8\mu\text{m}$ 以下。电火花加工技术处理复杂形状模具型腔及硬质合金材料有独特优势。现代电火花加工机床加工精度达 $\pm 0.005\text{mm}$,表面粗糙度达 $\text{Ra}0.4\mu\text{m}$,在高精度航空航天模具制造中,能精确塑造复杂曲面和微细结构^[1]。激光加工技术带来新突破。激光切割技术实现高精度板材切割,缝隙宽度 $0.1\sim 0.3\text{mm}$,边缘质量好无需二次加工;激光焊接技术实现不同材料精确连接,焊接强度高、热影响区小,在模具修复和制造中作用重要。

2.2 市场规模持续扩大

全球制造业发展使冲压模具市场需求强劲增长。我国作为制造业大国,冲压模具市场规模持续扩大,近年以年均8%-10%速度增长,2022年达约1200亿元。汽车领域,产量增长和轻量化趋势带来巨大需求。汽车覆盖件模具成本占整车模具成本40%-50%,2022年我国汽车产量2702.1万辆,对汽车覆盖件模具需求量大。电子行业也是重要应用领域。智能手机等电子产品更新换代,对冲压模具需求旺盛。每部智能手机外壳、按键等零部件多采用冲压工艺,对模具精度和复杂程度要求高。2022年我国智能手机出货量2.86亿部,带动相关冲压模具市场发展。

2.3 应用领域日益广泛

冲压模具应用领域不断拓展,除传统汽车、电子、家电等行业,在航空航天、新能源、医疗器械等新兴领域广泛应用。航空航天领域,用于制造飞机零部件、发动机叶片等关键部件。飞机零部件对模具精度和性能要求高,如机翼钣金件尺寸精度控制在 $\pm 0.05\text{mm}$ 以内,表面粗糙度达 $\text{Ra}0.8\mu\text{m}$ 以下;航空发动机叶片制造对模具精度和材料性能要求严苛。新能源领域,电动汽车兴起使电池壳、电机外壳等零部件需求增加。电动汽车电池壳采用铝合金等轻质材料冲压,对模具耐磨性和精度保持性要求高;太阳能光伏产业中,光伏组件边框等部件也需

冲压模具生产。医疗器械行业对产品精度和卫生要求严格，冲压模具满足其高精度、小批量生产需求。如手术器械刀片、注射器针头座等精密零部件，需冲压模具制造，模具精度影响医疗器械质量和安全。

2.4 产业集群效应明显

我国冲压模具行业形成多个产业集群，如长三角、珠三角和环渤海地区，这些地区产业链配套完善、人才资源丰富、市场环境良好，吸引大量模具企业集聚。长三角地区是汽车模具重要生产基地，聚集众多知名汽车模具企业。以上海为例，在汽车覆盖件模具、内饰件模具等领域技术实力和市场竞争力强，汽车模具产业年产值占全国20%左右。珠三角地区是电子模具主要集中地，深圳、东莞等城市有大量电子模具企业。凭借靠近电子产业集群优势，能快速响应市场需求，为电子企业提供高质量模具产品，电子模具产量占全国30%以上。

3 冲压模具精密化趋势下的关键技术

3.1 高精度加工技术

3.1.1 数控加工技术

数控加工技术是目前模具加工中最常用的高精度加工技术之一。高精度的数控加工中心能够实现多轴联动加工，对模具的型腔、型芯等复杂部位进行高精度加工。五轴联动加工中心可以在一次装夹中完成复杂曲面的加工，避免了多次装夹带来的误差，加工精度可达到 $\pm 0.005\text{mm}$ 。高速切削技术是数控加工中的重要技术之一^[2]。高速切削时，切削速度可达 $1000\text{-}10000\text{m/min}$ ，进给速度可达 $10\text{-}30\text{m/min}$ 。高速切削不仅可以提高加工效率，还能保证加工表面的质量。在加工铝合金模具时，采用高速切削技术可以使表面粗糙度达到 $\text{Ra}0.4\mu\text{m}$ 以下，同时减少刀具磨损，降低加工成本。

3.1.2 超精密加工技术

超精密加工技术能够实现纳米级的加工精度，在一些高端模具的加工中得到了应用。金刚石刀具切削是超精密加工的常用方法之一，其加工精度可达到 $\pm 0.001\mu\text{m}$ ，表面粗糙度可达 $\text{Ra}0.01\mu\text{m}$ 以下。离子束加工技术则利用离子束对模具表面进行轰击，实现材料的去除和表面改性，加工精度极高，适用于加工光学模具、微电子模具等高精度模具。

3.2 智能化技术

3.2.1 传感器技术

传感器技术在冲压模具中发挥着重要作用。温度传感器可以实时监测模具的温度变化，防止模具因温度过高而发生热变形，影响零件的精度。压力传感器能够精确测量冲压过程中的压力大小，确保压力在合适的范围

内，避免因压力异常导致零件出现缺陷。位移传感器则可以实时监测模具的运动位置，保证模具的闭合精度和开合模速度的稳定性。

3.2.2 自动化控制技术

自动化控制技术实现了模具生产过程的自动化。通过可编程逻辑控制器（PLC）和工业机器人等设备，可以实现自动上料、自动冲压、自动检测等操作。工业机器人的定位精度可达 $\pm 0.05\text{mm}$ ，能够准确地完成各种复杂的操作任务。自动化控制技术不仅提高了生产效率，还提高了生产安全性，减少了人为因素对产品质量的影响。

3.2.3 人工智能技术

人工智能技术在模具设计和制造中的应用逐渐增多。机器学习算法可以对大量的模具设计数据和加工工艺数据进行学习和分析，优化模具的设计方案和制造工艺^[3]。例如，通过机器学习算法可以预测模具在不同工艺参数下的使用寿命和零件质量，从而选择最优的工艺参数。深度学习技术则可以用于模具的缺陷检测，通过训练神经网络模型，能够快速、准确地识别模具表面的缺陷，提高检测效率和准确性。

3.3 快速成型与快速制模技术

3.3.1 快速成型技术

立体光刻（SLA）是常用的快速成型技术之一。它利用紫外激光束按照三维模型的截面形状，逐层扫描光敏树脂，使其固化成型。SLA技术可以制造出精度较高、表面质量较好的模具原型，精度可达 $\pm 0.1\text{mm}$ 。选择性激光烧结（SLS）则是利用激光束将粉末材料（如尼龙、金属粉末等）烧结成型，适用于制造功能性模具原型。

3.3.2 快速制模技术

快速制模技术是在原型的基础上，通过复制、铸造等工艺，快速制造出实用的模具。硅橡胶模具复制技术是一种常用的快速制模方法，它具有制作周期短、成本低等优点。通过硅橡胶模具可以快速复制出塑料模具、低熔点合金模具等，满足小批量生产的需求。金属喷涂制模技术则是将金属粉末喷涂在原型表面，形成金属壳体，然后经过后续处理制成金属模具，适用于制造中等批量生产的模具。

3.4 表面处理技术

3.4.1 镀铬处理

镀铬处理可以在模具表面形成一层硬度高、耐磨性好的铬层。硬铬层的硬度可达 $\text{HV}800\text{-}1000$ ，能够显著提高模具的表面硬度和耐磨性，延长模具的使用寿命。在冲压模具中，对于一些容易磨损的部位，如冲头、凹模等，常采用镀铬处理。

3.4.2 氮化处理

氮化处理能够使模具表面形成一层氮化物层,提高模具的硬度、耐磨性和耐腐蚀性。常见的氮化方法有气体氮化、离子氮化等。气体氮化处理后,模具表面的硬度可达HV600-800,氮化层深度可达0.1-0.3mm。离子氮化处理具有处理速度快、氮化层质量好等优点,能够进一步提高模具的性能。

3.4.3 渗碳处理

渗碳处理适用于低碳钢模具,通过在模具表面渗入碳元素,提高表面的硬度和耐磨性。渗碳处理后,模具表面的碳含量可达0.8%-1.2%,硬度可达HRC58-62。渗碳处理常用于制造汽车齿轮模具、链条模具等对表面硬度要求较高的模具。

4 促进冲压模具精密化发展的对策建议

4.1 加强技术创新

政府和企业应加大对模具技术研发的投入,建立产学研用相结合的技术创新体系。政府可以通过设立专项科研基金、税收优惠等政策,鼓励高校、科研机构与企业开展合作,共同攻克关键技术难题。例如,设立“冲压模具精密化关键技术研发专项”,支持企业和科研机构开展高精度加工技术、智能化技术等方面的研究。企业应加强自身的研发能力建设,建立企业技术中心,加大对新技术、新工艺、新材料的研发和应用力度^[4]。鼓励企业引进国外先进技术和设备,并进行消化吸收再创新,掌握核心技术,打破国外技术垄断。例如,一些企业通过引进国外先进的五轴联动加工中心,并结合自身的工艺需求进行改进和优化,提高了模具的加工精度和生产效率。

4.2 培养专业人才

高校和职业院校应根据模具行业的需求,优化专业设置和教学内容,加强实践教学环节,培养适应行业发展需求的高素质专业人才。高校可以与企业建立实习基地,让学生在真实生产环境中进行实践锻炼,提高学生的实践操作能力和解决实际问题的能力。企业应建立完善的人才培训体系,加强对员工的技能培训和继续教育。企业可以定期组织内部培训课程,邀请行业专家进行授课,为员工提供学习新技术、新工艺的机会。同

时,企业还可以通过提供良好的职业发展空间和福利待遇,吸引和留住优秀人才。例如,一些企业设立了员工晋升通道和奖励机制,对在技术创新和产品质量提升方面做出突出贡献的员工给予重奖,激发了员工的工作积极性和创新热情。

4.3 完善产业配套

政府应加强对模具产业配套的支持,引导模具材料、标准件、热处理等相关产业的发展。加大对模具材料研发的投入,鼓励企业开展新型模具材料的研发和应用,提高国产模具材料的质量和性能,实现高端模具材料的国产化。加强模具标准件的标准制定和推广应用,提高标准件的标准化程度和质量稳定性。政府可以组织相关企业和科研机构制定统一的模具标准件标准,并加强对标准件生产企业的监管,确保标准件的质量符合要求。鼓励热处理企业采用先进的技术和设备,提高热处理工艺水平。政府可以通过政策引导和资金支持,推动热处理企业进行技术改造和设备升级,建立现代化的热处理生产线,提高模具的热处理质量。

结语

冲压模具是现代制造业重要基础装备,我国该行业在多方面取得成绩且产业集群效应明显,但也存在技术创新能力不足等问题。市场需求和技术进步推动其向精密化发展,高精度加工等关键技术提供有力支持。促进其精密化发展需政府、企业、高校等各方努力,推动行业高端化、智能化、国际化,提升制造业水平。未来,科技与市场变化带来机遇和挑战,如新兴产业带来新需求,人工智能等技术将提高模具智能化水平,企业需关注动态、探索创新以实现可持续发展。

参考文献

- [1]王丹.冲压工艺的发展现状及冲压模具的设计与发展[J].造纸装备及材料,2022,51(04):78-80.
- [2]王姗姗.冲压模具制造技术的应用以及发展研究[J].南方农机,2019,50(06):181-182.
- [3]周友松.精密冲压模具的弯曲设计[J].金属加工(冷加工),2025,(06):39-41.
- [4]王允成,王琴,付宗国.新型金属弯曲模具设计与研究[J].中国水运(下半月),2019,19(12):90+92.