

概 述

20 世纪末,由于信息技术的飞速发展,形成了统一的全球市场,越来越多的企业加入到竞争行列,加大了竞争的激烈程度。用户可以在全球范围内选择自己所需要的产品,对产品的品种、价格、质量及服务提出了更高的要求。产品的批量越来越小,产品的生命周期越来越短,要求企业市场响应速度越来越快。面对日趋激烈的市场竞争,制造业的经营战略,从 20 世纪 70~80 年代的“规模效益第一”和 80~90 年代的“价格竞争第一”转变为 90 年代以来的“市场响应速度第一”,时间因素被提到了首要地位。快速成形和快速模具制造技术正是在这种需求下研究发展起来的,应用这两项技术能够显著地缩短产品投放市场的周期,降低成本,提高质量,增强企业的市场竞争能力。一般而言,产品投放市场的周期由设计(初步设计和详细设计)、试制、试验、征求用户意见、修改定型、正式生产和市场推销等环节所需的时间组成。由于采用快速成形和快速模具制造技术之后从产品设计的最初阶段开始,设计者、制造者、推销者和用户都能拿到实实在在的样品和小批量生产的产品,因而可以及早地、充分地进行评价、测试、反复修改和分析工艺过程。因此可以大大减少新产品试制中的失误和不必要的返工,从而能以最快的速度、最低的成本和最好的品质将新产品迅速投放市场。

快速成形技术

快速成形技术的含义

快速成形(简称 RP)技术是 20 世纪 90 年代中期发展起来的一种高新技术,是造型技术和制造技术的一次飞跃,它从成形原理上提出一个分层制造、逐层叠加成形的全新思维模式,即将计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机数字控制(CNC)、激光、精密伺服驱动和新材料等先进技术集于一体,依据计算机上构成的工件三维设计模型,对其进行分层切片,得到各层截面的二维轮廓信息,快速成形机的成

形头按照这些轮廓信息在控制系统的控制下,选择性地固化或切割一层层的成形材料,形成各个截面轮廓,并逐步顺序叠加成三维工件。经过十余年的发展,快速成形技术已被广泛地应用于工业领域和医疗领域,取得了丰硕的成果。

快速成形技术的全过程可以简单描述为分层叠加或者离散堆积。一个复杂的实体零件,可以认为是由一些具有物质的点、线、面叠加而成的。从三维模型中获得这些点、线、面的几何信息(离散),把它与成形参数信息结合,转换为控制成形机工作的叠层代码,控制材料有规律地、精确地叠加起来(堆积),从而构成三维实体零件。这种制造方法又叫做自由制造、快速原型制造、快速成形。本书使用快速成形技术这一习惯术语,还有的叫自由实体制造。

通过离散获得每一层面的制造信息和堆积的顺序,通过堆积将材料构成三维实体。因此这种制造的全过程可由图 1-1 表示。

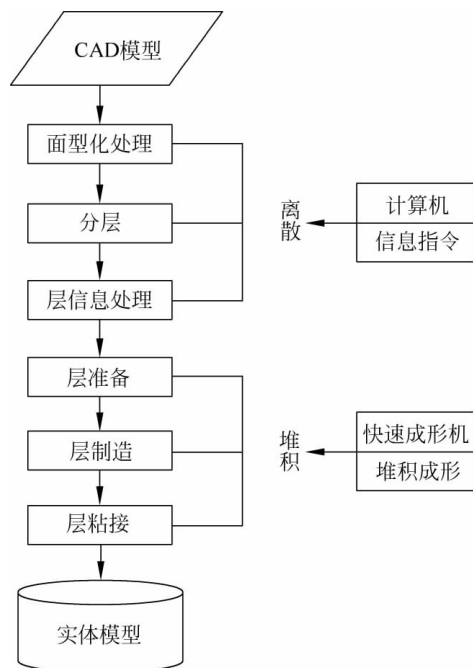


图 1-1 快速成形制造流程图

快速成形技术自诞生以来,经过十多年的发展,根据不同成形材料已经开发出数十种成形方法,目前比较成熟、应用比较普遍的快速成形技术有以下几种:

① 液态光固化聚合物选择性固化(简称 SLS),又称立体光固化;

- ② 薄形材料选择性切割 (薄形材料选择性切割, 简称 薄切);
- ③ 粉末材料选择性烧结 (粉末材料选择性烧结, 简称 粉末烧结);
- ④ 丝状材料选择性熔覆 (丝状材料选择性熔覆, 简称 丝状熔覆);
- ⑤ 三维打印法 (三维打印法, 简称 三维打印)。

以上各种成形方法 将在第 2 章进行详细的论述和讲解。

运用以上快速成形技术 ,可以快速制造出原形零件 ,其制造全过程可以归纳为以下 4 个步骤 (图 1-1)。

- ① 前处理。它包括工件三维模型的构造、三维模型的近似处理、快速成形方向的选择和三维模型的切片处理。
- ② 分层叠加成形。它是快速成形的核心 ,包括模型截面轮廓的制作与截面轮廓的叠加。
- ③ 后处理。它包括原形零件的剥离、后固化、修补、打磨、抛光和表面强化处理等。

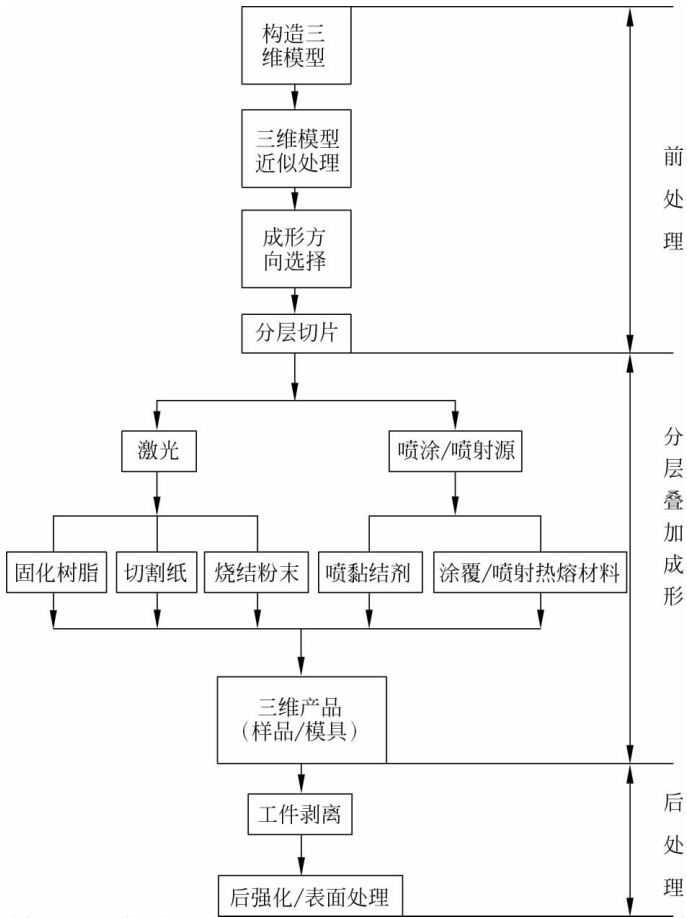


图 1-1 原形零件快速成形的全过程

快速成形与传统制造方法的区别

传统制造方法根据零件成形的过程可以分为两大类型：一类是以成形过程中材料减少为特征,通过各种方法将零件毛坯上多余材料去除,如切削加工、磨削加工、各种电化学加工方法等,这些方法通常称为材料去除法；另一类是材料的质量在成形过程中基本保持不变,如采用各种压力成形方法以及各种铸造方法的零件成形,它在成形过程中主要是材料的转移和毛坯形状的改变,这些方法通常称为材料转移法。这两种方法是目前制造领域中普遍采用的方法,也是非常成熟的方法,能够满足加工精度等各种要求。然而,随着市场日新月异的变化以及产品生命周期的缩短,企业必须重视新产品的不断开发和研制,才能在竞争不断激烈的市场中立于不败之地。传统的制造方法无法很好的满足新产品快速开发的要求,促使在制造领域中发生了一场大的变革,这就是快速成形制造技术的出现。快速成形制造方法与传统制造方法的比较如图 5-5 所示。

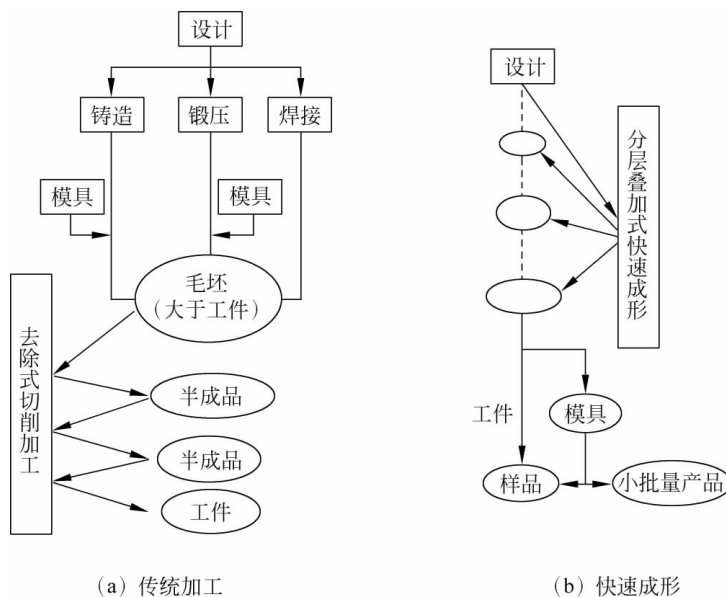


图 5-5 传统加工与快速成形比较

快速成形与传统制造方法的关系

从以上对快速成形制造方法与传统制造方法的论述可以知道,它们两者之间的关系是相辅相成、相互补充、密不可分的。快速成形制造方法主要是制造样品,也就是将设计者的设计思想、设计模型迅速转化为实实在在的、看得见、摸得着的三维实体样件。设计者生产的是单个样件,或是小批量样件,其精髓是在极短的时间之内,不使用刀具、夹具、模具和辅具,将设计思想实体化,主要应用于新产品的快速开发。而真正的大批量生产,

包括中批量生产还是要采用传统制造方法来实现,由于在新产品开发中首先采用了快速成形技术,再采用传统制造方法进行大批量生产时,就避免了因多次试制而出现不必要的返工,从而降低了生产成本,缩短了新产品试制的时间,使新产品能够尽早上市,提高了企业对市场响应的速度,使企业在激烈的市场竞争中占得先机。

快速成形技术应用案例

复杂型面叶轮的激光快速成形加工

复杂型面叶轮是一种典型的由自由曲面构造的零件,由于其几何形状复杂,采用传统的制造工艺所需时间周期长,并且造价颇高。例如,对于直径为 100 mm,高度为 40 mm 的叶轮,采用五轴数控铣,铝合金叶轮,所需的造价为 1 万元,不锈钢叶轮,所需的造价则为 2 万元,并且加工时间为 10~15 天。快速原形制造技术的特点是能够将复杂形体的 CAD 模型快速转化为物理模型,特别适合制造此类复杂三维实体,成形同样形状的叶轮所需的时间仅为十几个小时,造价仅为数千元。图 5-10 图 5-11 分别是为江苏一家汽车空调器厂制造的汽车空调器复杂型面叶轮的 CAD 模型和采用快速成形工艺成形的原形,从中可以看出其轮廓清晰,表面质量好,尺寸稳定,完全达到了验收标准。

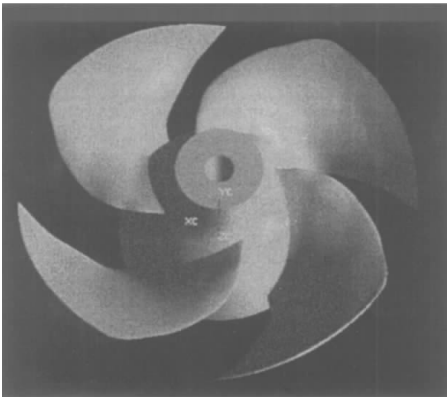


图 5-10 复杂型面叶轮的 CAD 模型

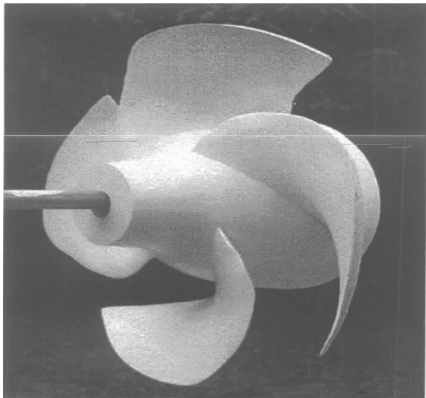


图 5-11 快速成形工艺成形的复杂型面叶轮原形

汽车刹车钳体精铸母模的激光快速成形加工

汽车工业中很多形状复杂的零部件均由精铸直接制得,如何高精度、高效率、低成本地制造这些精铸件的母模是汽车制造业中的一个重要问题。采用传统的木模手工制作,对于面形状复杂的母模,效率低、精度低,难以满足生产需要。采用数控加工中心制作,则周期长、成本高。采用快速成形技术制造汽车复杂零部件精铸用模,成本低、效率高能够满足生产需要。图 5-12 是采用快速成形工艺制造的奥迪轿车刹车钳体精铸母模的 3D 原形,整体效果很理想,原形尺寸精度高、尺寸稳定不变形、表面光洁、线条流畅,其精度完全达到

并超过了精铸母模质量验收标准,并用该母模精铸出了金属制件(图 5-28),有力地支持了高级轿车国产化工作。

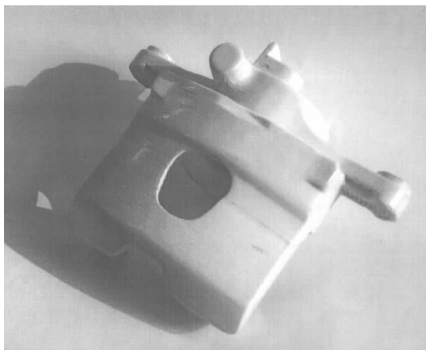


图 5-27 奥迪轿车刹车钳体精铸母模的背面原形(背面)

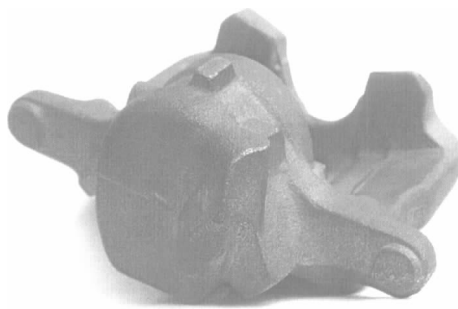


图 5-28 奥迪轿车刹车钳体精铸件(正面)

图 5-29~图 5-32 为快速成形技术应用的部分实例。

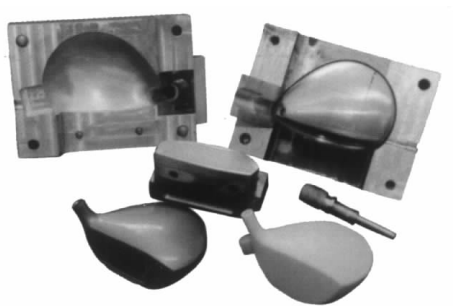


图 5-29 高尔夫球头模具

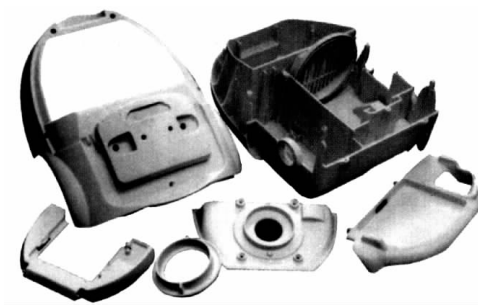


图 5-30 吸尘器组件

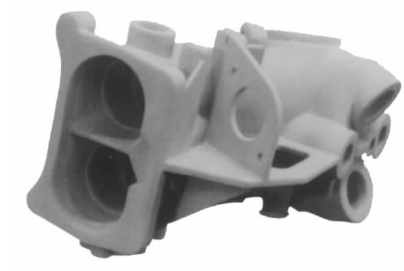


图 5-31 歧气器

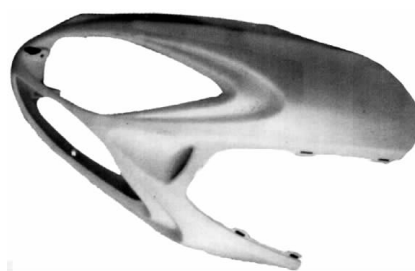


图 5-32 摩托车前挡板



图 1-1 摩托车汽缸头



图 1-2 微型打印机

快速模具制造技术

快速模具制造技术的含义

快速模具制造(简称 RMT)就是以快速成形技术制造快速原形零件为母模,采用直接或间接的方法,实现硅胶模、金属模、陶瓷模等模具的快速制造,从而形成新产品的小批量制造,降低新产品的开发成本。因而,它越来越受到产品开发商和模具界的广泛重视,可以说,快速模具制造是传统快速模具制造技术与现代先进制造技术相结合的典范。

RMT 的显著特点是制模周期短、工艺简单、易于推广,制模成本低,精度和寿命都能满足特定的功能需要,综合经济效益良好,特别适用于新产品开发试制、工艺验证和功能验证以及多品种小批量生产。目前,RMT 已被广泛应用到汽车制造、航空航天、军工、电子、医学和家电等领域。运用 RMT 技术可以直接制造模具,也可以利用快速原形经过中间转化制造模具,其一般的工艺流程如图 1-3 所示。

工具和模具具有一个巨大的市场,世界范围内已经达到 1000 亿美元(产值)的水平。这个市场对于模具的要求是全面的。如精度、材料、寿命、尺寸、形状复杂程度及快速性。由于市场全球化及竞争的加剧,模具市场对于每一种模具技术最首要的、带有先决性的要求是其快速性,这就是 RMT 技术产生的根本原因。

快速模具制造与传统模具制造的关系

传统的模具制造方法很多,如数控铣削加工、成形磨削、电火花成形加工、电火花线切割加工、电解加工、电铸加工、压力加工、铸造和照相腐蚀等。由于这些方法相对而言工艺复杂,加工周期长,费用高,故影响了新产品对市场的响应速度。而传统的快速模具(例如中低熔点合金模具、电铸模、喷涂模具等)因其工艺粗糙、精度低、寿命短,很难完全满足用户的要求。因此,应用 RMT 技术制造快速模具,在最终生产模具之前进行新产品试制或小批量生产,可大大提高产品开发的一次成功率,有效地缩短开发时间和节约开发费用。基于 RMT 集成环境的快速模具制造技术,可实现最终零件或产品的快速制造,这

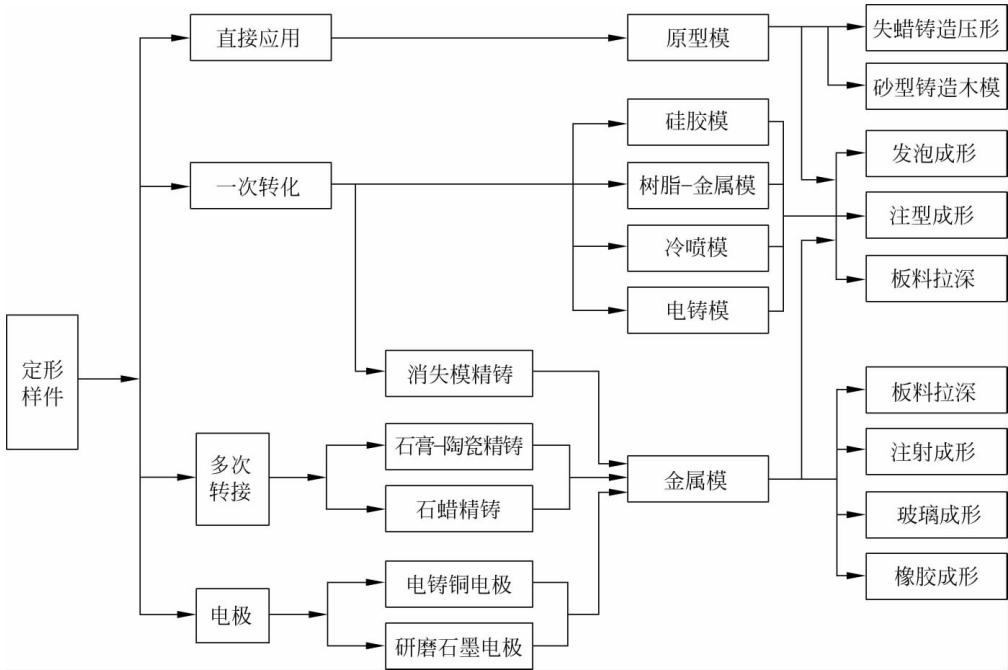


图 1-1-1 快速模具制造工艺流程图

对多样化、个性化、准时化、小批量的现代制造模式和瞬息万变的市场需求无疑是强有力的技术支撑。快速成形技术提供了一种从模具的模型直接制造模具的新概念、新方法,它将模具的概念设计和加工工艺集成在一个快速制造系统内,为并行工程、敏捷制造、虚拟制造等先进制造技术的应用创造了良好的条件。快速成形技术能解决大量传统加工方法难以解决甚至不能解决的问题,可获得一般切削加工不能获得的复杂形状,可根据模型无需数控切削加工直接将复杂的型腔曲面制造出来。而基于快速成形技术的快速模具制造技术由于技术集成度高,从模型数据到物理实体转换过程快,因而模具的制作周期仅为传统的数控加工方法的1/10~1/5,生产成本仅为1/5~1/10,所以,国外工业发达国家已将快速模具制造列为缩短新产品开发周期及模具制作周期的重要研究课题和制造业核心技术之一。

应用快速模具制造技术制作的部分模具实例参见本书第4章的内容。

快速成形和快速模具制造技术发展历史

国外快速成形和快速模具制造技术发展历史

从历史上看,很早以前就有“材料叠加”的制造设想。例如,1802年,詹姆斯·瓦特在他的美国专利(第149号)中,曾建议用分层制造法构成地形图。这种方法的原理是,将地

形图的轮廓线压印在一系列的蜡片上,然后按轮廓线切割蜡片,并将其粘结在一起,熨平表面,从而得到三维地形图。1941年,约翰·帕森斯在他的美国专利(专利号)中,提出了用光固化聚合物制造塑料件的原理,这是第一种现代快速成形技术——“立体平板印刷术”(1946年,詹姆斯·赫斯基的初步设想。1951年,詹姆斯·赫斯基提出了在硬纸板上切割轮廓线,然后将这些纸板粘结成三维地形图的方法。20世纪60年代之后,出现了几百个有关快速成形技术的专利,其中,詹姆斯·赫斯基在他1951年的美国专利(专利号)中,进一步明确地提出先用轮廓跟踪器将三维物体转化成许多二维轮廓薄片(图1-1),然后用激光切割这些薄片成形,再用螺钉、销钉等将一系列薄片连接成三维物体,这些设想与现代快速成形技术——“物体分层制造”(1981年,詹姆斯·赫斯基的专利号)的原理极为相似。

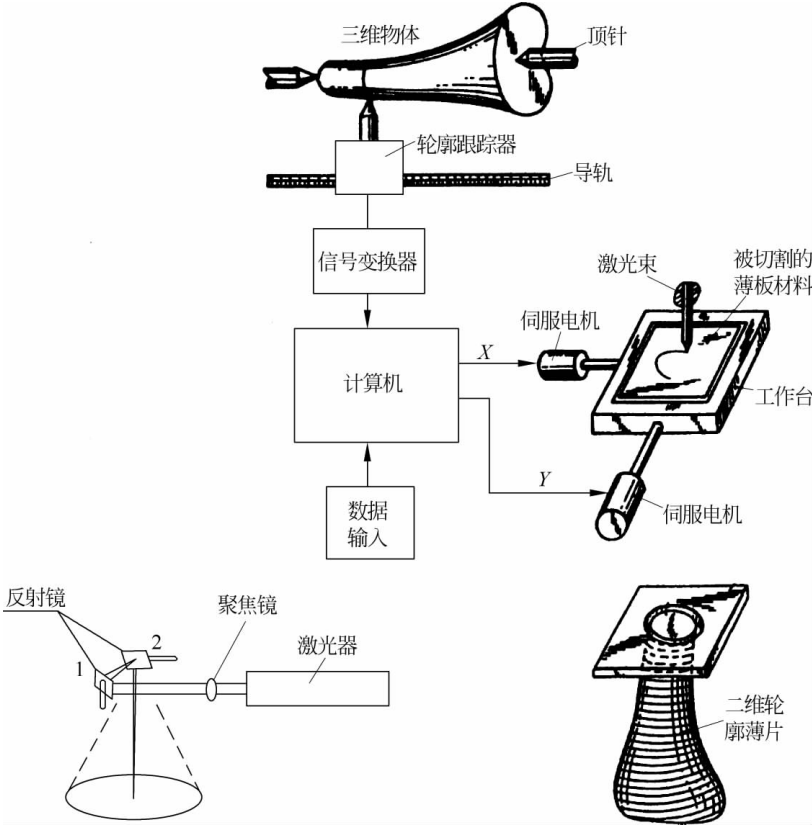


图 1-1 詹姆斯·赫斯基的分层成形法

上述早期的专利虽然提出了一些快速成形的基本原理,但还很不完善,更没有实现快速成形机械及其使用原材料的商品化。20世纪60年代末之后,快速成形技术有了根本性的发展,出现的专利更多,仅在1981—1985年期间注册的美国专利就有100个。这首先

是 1986 年 3 月 30 日在美国专利(US4587071)中,提出了一个用激光束照射液态光固化树脂,从而分层制作三维物体的现代快速成形机的方案。随后,美国的 3D Systems 公司据此专利,于 1988 年生产出了第一台现代快速成形机(3D Systems 液态光固化树脂选择性固化成形机),开创了快速成形技术发展的新纪元。在此后的 10 余年中,涌现了多种不同形式的快速成形技术和相应的快速成形机,如薄形材料选择性切割(LOM)、丝状材料选择性熔覆(LEP)和粉末材料选择性烧结(SLS)等,并且在工业、医疗及其他领域得到了广泛的应用。到目前为止,全世界已拥有快速成形机 1000 多台,快速成形机制造公司上百个,用快速成形机进行对外服务的机构上千个。

我国国内快速成形和快速模具制造技术发展历史

近年来国内快速成形技术的水平有了质的提高,以西安交通大学、清华大学为代表,国内各科研院所、设备生产和技术服务单位在 3D 技术、市场和应用服务都取得了很大进展。

技术方面

国际上基本的 3D 工艺,如 FDM、SLA、SLS 等,在国内都有单位进行了成功的开发,多数关键部件都实现了国产化,比如 SLA 设备中的喷头、SLA 设备中的激光器等:设备的稳定性、可靠性和造型精度、质量有了显著提高,成形材料性能也在不断进步。除此之外,许多单位还创新地开展了 3D 新工艺新设备的研究。比如清华大学开发的低温冰型快速制造工艺和无模砂型制造工艺,拓宽了 3D 领域,在世界上处于领先地位。

市场方面

几年来国内 3D 市场从起步阶段已经逐步走向发展阶段。企业界对于快速成形的认识已经有了比较全面的了解,快速成形已经逐步成为一种通用的制造方法。许多企业已有应用 3D 技术的设想或方案。从地区分布(大陆)来讲,南方地区的市场已经基本成熟,其特点是企业认识程度高,技术、设备需求比较大;华东地区由于外企比较集中,市场潜力非常大,将是继华南之后的新的市场中心。应用行业集中在首版制作领域。比如珠宝、家电、模具、玩具、汽车等新产品、工艺品开发、包装,以及外观要求较高的器件制作。

技术服务方面

相对于多年前的 3D 行业,国内新增了许多 3D 技术服务型企业。国内大部分企业购买 3D 设备的能力有限,但是单个小批量的 3D 原形件的需求又很大,在这种需求的刺激下,新增的 3D 技术服务公司购买国内外成熟的 3D 设备,从应用的角度,开展三维结构数据获得、反求、快速成形技术、制造等服务,目前集中在首版制造领域。这些企业在业务活动中,扩大了 3D 技术的宣传面,在 3D 应用的深度和宽度上都对市场有促进作用。

快速成形和快速模具制造技术自 20 世纪 80 年代初在我国开始研制以来,发展迅速,其原因可以概括为以下几个方面。

(员) 具有一个明确的指导思想, 一个重要的保证

开发创新与工程应用相结合的指导思想。从市场发展规律来看, 因为 碰压技术成本低、质量高, 特别是快速响应能力明显优于传统制造技术, 故有比较强的市场竞争力; 从 碰压技术自身发展规律来看, 它具有双重性: 一是先进性, 二是实用性。因此在我国从 员缘年 碰压技术的研究开发启动时, 就明确了开发创新和工程应用相结合的指导思想。

组织保证也是很重要的。在近 缘年的发展, 组织建设也在逐渐完善。

① 在国家自然科学基金委员会及科技部的大力扶植下, 有些单位已经形成了比较明显的优势, 是我国 碰压技术研究的主导单位。

② 员缘年中国机械工程学会电加工分会成立了 碰压技术专业委员会, 积极推进这一学科的建设与发展。

③ 在国家科技部的支持下, 建立了 缘个生产力促进中心(西北、湖北、深圳、天津、宁波), 它们都在发挥着将 碰压技术转化为生产力的推广作用。

(圆) 遵循两个技术依托, 两个产品方向

我国 碰压技术的发展主要依托于两种技术: 基于激光或其他光源成形的技术、挤压或喷射成形技术。两个产品方向: 一是服务于高精度及高性能零部件制造的大型系统; 二是自动化的桌面小型系统, 主要用于制造概念原型等, 有效促进了我国 碰压技术的迅速发展。

(猿) 发挥三个积极作用, 历经三个发展阶段

三个积极作用是指启蒙作用、带头作用与推动作用。

① 员缘年美国学者在中国的讲学, 有效地起到了启蒙的作用。

② 有些单位的科技工作者率先步入了这个行业, 起到了很好的带头作用, 如清华大学、华中科技大学、西安交通大学、北京隆源公司等。

③ 科技部和国家自然科学基金委员会(简称“基金委”) 的推动作用。基金委在国内发展 碰压技术之初, 就积极地、及时地安排了一些项目, 当这些项目基本完成并取得了良好的效果以后, 即部分应用基础研究完成之后, 开始步入产业化或商品化阶段时, 科技部又给予了重点支持, 所以才有了今天 碰压技术在我国得以迅速发展的局面。

碰压技术在我国的发展经历了三个阶段:

第一个阶段是起步跟踪阶段(员缘—员缘年)。主要是消化、吸收国外的技术, 特别是美国的先进技术。通过消化吸收, 一些单位明确了主攻方向, 即清华大学以 碰压为主, 西安交通大学以 碰压为主, 华中科技大学以 碰压为主, 北京隆源公司以 碰压为主, 至今已初见成效。

第二个阶段是发展创新阶段(员缘—员缘年)。主要体现在如下 缘个方面。

① 比较成熟地掌握了这 源种主要 碰压技术和设备的研发技术。

② 开发出具有我国特色的一些装备, 由样机向商品机迈进。

③ 成形材料陆续国产化。

④ 在技术原理及参数优化等方面的研究也取得了比较明显的进步。

⑤ 西安交通大学完成了 基于并行工程快速成形制造集成系统的开发；清华大学研制出多功能 快速成形设备等。

这些成果不仅具有自己的知识产权,而且步入了国际先进行列。

第三个阶段是初级的产业化阶段(1995年到今)。据不完全统计,国内现有 快速成形设备约 100 台。可以说,已经进入了产业化的初级阶段。

快速成形和快速模具制造技术的作用

快速成形和快速模具制造技术的出现引起了制造业的一场革命,有人将其与 20 世纪 80 年代的数控技术相提并论。它不需要任何专门的辅助工夹具,能够直接将 三维模型快速地转变为三维实体模型,而产品造价几乎与零件的复杂性无关,特别适合于复杂结构的零件制造,并且制造柔性极高。随着各种成形技术的进一步发展,零件精度也不断提高。随着材料种类的增加以及材料性能的不断改进,其应用领域必将不断扩大,用途也将越来越广泛,其主要可以概括为以下几方面。

快速成形使设计原形样品化

为提高产品设计质量,缩短试制周期,快速成形系统可在数小时或数天内将设计人员的图纸或 三维模型制造成看得见、摸得着的实体模型样品,从而使设计者、制造者、销售人员和用户都能得到极大的好处。

从设计者受益的角度来看

在传统的设计过程中,由于设计者自身的能力有限,不可能在短时间内仅凭产品的使用要求就把产品各方面的问题都考虑得很周全并使结果优化;虽然在现代制造技术领域,提出了并行工程(即对产品的整个生命周期进行集成化、系统化的方法)即以小组协同工作(即并行工程)为基础,通过网络共享数据等信息资源,来同步考虑产品设计和制造的有关上下游问题,从而实现并行设计,但仍然存在设计、制造周期长、效率低下等问题。采用快速成形技术,设计者在设计的最初阶段,就能拿到实在的产品样品,并可在不同阶段快速地修改重做样品,甚至做出试制用工模具及少量的产品,进行试验,据此判断有关上下游的各种问题,从而为设计者创造了一个优良的设计环境,尽快得到优化结果。因此,快速成形技术是真正实现并行设计的强有力手段。

从制造者受益的角度看

制造者在产品制造工艺设计的最初阶段,可通过这种实在的产品样品,甚至试制用工模具及少量的产品,及早地对产品工艺设计提出意见,做好原材料、标准件、外协加工件、加工工艺和批量生产用工模具等准备,以减少失误和返工,节省工时,降低成本和提高产

品质量。因此,快速成形技术可以实现基于并行工程的快速生产准备。

从推销者受益的角度来看

推销者在产品的最初阶段,能借助于这种实物产品样品,及早并真实地向用户宣传,征求意见,以准确地预测市场需求。因此,快速成形技术的应用可以显著地降低新产品的销售风险和成本,大大缩短其投放市场的时间和提高竞争能力。

从用户受益的角度来看

用户在产品设计的最初阶段,就能见到产品样品,这使得他们能及早深刻地认识产品,进行必要的测试,并且提出意见。因此,快速成形技术可以在尽可能短的时间内,以最合理的价格得到性能最符合要求的产品。

快速成形用于产品的性能测试

随着新型材料的开发,快速成形系统所制造的产品零件原形具有较好的力学性能,可用于传热以及流体力学试验。而用某些特殊光固化材料制作的模型还具有光弹特性,可用于零件受载荷下的应力应变分析。如美国通用汽车公司在为其 1997 年推出的某车型开发中,直接使用快速成形制作的模型进行车内空调系统、冷却循环系统及加热取暖系统的传热学试验,较之以前的同类试验节省费用 50% 以上。克莱斯勒汽车公司直接利用快速成形制作的车体原型进行高速风洞流体力学试验,节省开发成本达 50%。

快速成形用作投标的手段

在国外,快速成形成为某些制造商家争夺订单的手段。例如,位于美国的一家仅组建两年的制造公司,由于装备了两台不同型号的快速成形机及采用快速精铸技术,仅在接到通用公司标书后的 5 个工作日内便生产出了第一个功能样件,从而在众多的竞争者中夺得了为通用公司年总产值达 1 亿美元的发动机缸盖精铸件合同。

快速制造模具

以快速成形制作的实体模型作模芯或模套,结合精铸、粉末烧结或石墨研磨等技术可以快速制造出企业产品所需要的功能模具或工装设备,其制造周期为传统的数控切削方法的 1/10~1/5,而成本却仅为其 1/5~1/10。模具的几何复杂程度越高,这种效益越显著。一家位于美国佛罗里达州的模具供应商(仅有 10 名员工)声称,车间在接到客户询价文件后一周内可提供制作任意复杂的注塑模具,而实际上原型的模具则可在 1 周内完工。

模具的开发是制约新产品开发的瓶颈,要缩短新产品的开发周期、降低成本,必须首先缩短模具的开发周期,降低模具的成本。快速模具制造对于新产品的开发、试制、生产有十分重要的作用,是制造业重点推广的一种先进技术。希望有志之士共同努力,进一步探讨新型快速模具的原理、结构、材料与制造工艺,加大推广应用的力度,使模具行业出现一个崭新的面貌。

复习思考题

1. 什么是快速成形技术？和传统的制造方法相比有何不同？快速成形制造的全过程可以分为哪几步骤？

2. 什么是快速模具制造技术？该技术有何特点？

3. 了解快速成形技术与快速模具制造技术的发展情况和应用情况（可以借助计算机网络查询相关知识和内容）。

快速成形系统

目前 ,比较成熟的快速成形技术和快速成形系统已有十余种 ,其中最典型的有液态光固化聚合物选择性固化成形(光固化)、粉末材料选择性烧结成形(激光)、薄形材料选择性切割成形(雕刻)、丝状材料选择性熔覆成形(涂覆)等几种。尽管这些成形系统的结构和采用的原材料有所不同 ,但都是基于“ 材料分层叠加 ”的成形原理 ,即用一层层的二维轮廓逐步叠加成三维工件。其差别主要在于二维轮廓制作采用的原材料类型 ,由原材料构成截面轮廓的方法 ,以及截面层之间的连接方式。

光固化液态光固化聚合物选择性固化快速成形系统

光固化快速成形的原理和分类

光固化快速成形技术 ,又称光固化成形技术或立体光刻成形技术 ,英文名称为 光固化。该技术最早由美国 3D Systems 公司开发 ,其原理是 :通过计算机控制紫外激光使其凝固成形。这种方法能简捷、全自动地制造出各种加工方法难以制作的复杂立体形态 ,在加工技术领域中具有划时代的意义。

光固化快速成形的原理

光固化成形系统由液槽、可升降工作台、激光器、扫描系统和计算机控制系统等组成 (图 4-1)。其中 ,液槽中盛满液态光固化聚合物(通常 树脂)。带有许多小孔洞的可升降工作台在步进电机的驱动下能沿高度 Z 方向作往复运动。激光器为紫外(紫外)激光器 ,如氦镭(氦镭)激光器、氦离子(氦离子)激光器和固态激光器 ,其功率一般为 10~100W ,波长为 365~405nm (处于中紫外至近紫外波段)。扫描系统为一组定位镜 ,它能根据控制系统的指令 ,按照每一截面层轮廓的要求作高速往复摆动 ,从而使激光器发出的激光束反射并聚焦于液槽中液态光固化聚合物的上表面 ,并沿此面作 XY 方向的扫描运动(图 4-2)。在这一层受到紫外激光束照射的部位 ,液态光固化聚合物快速固化 ,形成相

应的一层固态截面轮廓。一层固化完毕后 ,工作台下移一个层厚的距离 ,以使在原固化好的表面再敷上一层新的液态树脂 ,然后刮刀将黏度较大的树脂液面刮平 ,进行下一层的扫描加工 ,同时新固化的一层牢固地粘结在前一层上 ,如此重复直至整个零件制造完毕 ,得到一个三维实体原型。

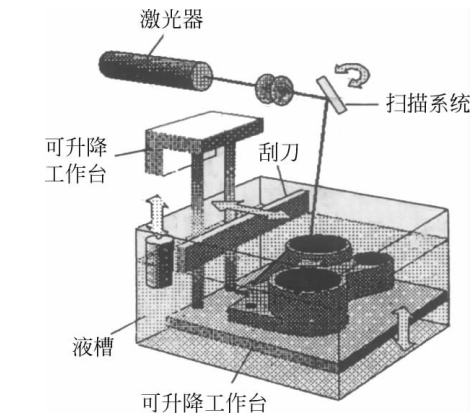


图 10-1-1 激光快速成形机的原理图

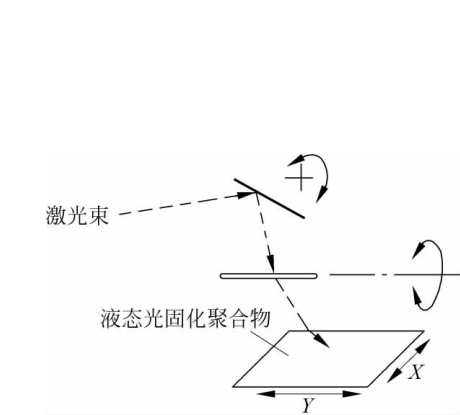


图 10-1-2 扫描运动

快速成形的分类

光固化法快速成形按照所用光源的不同有紫外激光成形和普通紫外光成形两类 ,二者的区别是光波的波长不同。对于紫外激光 ,可由氦镉激光器产生 ,波长为 0.442 μm ,也可以由氩离子激光器产生 ,波长为 0.488 μm ;由低压汞灯产生的光 ,有多种频谱 ,其中波长为 0.405 μm 的光谱可以用来固化成形。采用的光源不同 ,对树脂的要求不同 ,树脂的组成不同 ,将表现出不同的吸收峰。目前这三种波长的紫外光在光固化成形中都有应用。利用此两类光源的都属光固化成形 ,但是 ,成形的机理不尽相同 ,前者通过激光束扫描树脂液面使其固化 ,尤以立体印刷(有的称为立体光刻 ,英文为 SL)为代表 ;后者是利用紫外光照射液态树脂液面使其固化的 ,以实体成形(如熔融沉积成型 ,简称 FDM)为代表 ,确切地说二者的区别是一次固化的单元不同 ,前者为点线单元 ,需对层轮廓进行扫描 ,而后者为面单元 ,无需扫描 ,但是二者都是基于层层堆积而形成三维实体模型的。利用激光扫描固化的成形 ,根据扫描方式的不同 ,又分为振镜扫描法和 坐标扫描法。从原理上讲 ,SL和 FDM方法各有优缺点 ,参见表 10-1-1

表 10-1-1 几种光固化法的特点对比

固化方法	紫外激光束扫描固化 SL	紫外光照射扫描固化 FDM
光路特点	需要动态聚焦镜	光路简单
扫描速度	视树脂性能可以很快	——
层固化效率	中等	最快

利用激光光束进行固化成形的办法又有振镜扫描式和坐标扫描式。坐标扫描式是通过数控台带动反射镜或光导纤维束在树脂液面进行扫描,扫描的速度由工作台移动的速度决定,因此由于受到机械惯量的限制扫描速度不可能达到很高,特别对于大尺寸规格的设备,更是如此,并且运动的精度亦很难保证,同时结构尺寸也将极其庞大。而振镜扫描式是通过两块正交布置的检流计振镜的协调摆动实现激光束的二维扫描,摆动的频率可以很高,摆动角度为依范围,只要增大扫描半径,就可增大扫描的范围。当然,其最大的缺点是非平场扫描,不过有相应配套的动态聚焦镜,而且还有三轴联动的控制器,使用起来还是很方便的。

快速成形的基本过程及支撑结构

激光固化的基本过程

激光固化(下文简称光固化)快速成形的过程可以分为下述四个阶段,如图 4-1 所示。

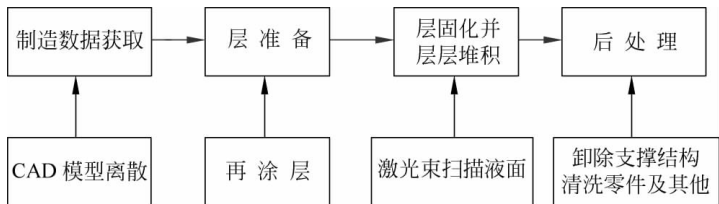


图 4-1 激光固化快速成形基本过程

(1) 制造数据的获取

由于光固化快速成形技术是基于层堆积概念的,所以,层层制造之前必须获得每一层片的信息,将 CAD 模型数据转换成快速成形机系统需要的各种数据。通常是将 CAD 模型沿某一方向分层切片,从而得到一组薄片信息,包括每一薄片的轮廓信息和实体信息。

目前的分层处理需要先对 CAD 模型作近似处理,转换成标准的 STL 文件格式,然后再进行分层。商用的 CAD 软件都配备了 STL 文件接口, CAD 模型可以直接转换成 STL 文件格式。

(2) 层准备

层准备过程是指在获取了制造数据以后,在进行层层堆积成形时,扫描前每一待固化层液态树脂的准备。由于这种层堆积成形的工艺特点,必须保证每一薄层的精度,才能保证层层堆积后整个模型的精度。层准备通常是通过涂层系统(刮刀或喷嘴)来完成的。

层准备有两项要求:一是准备好待固化的一薄层树脂,二是要求保证液面位置的稳定性和液面的平整性。当一薄层固化完后,为满足第二项的要求,这一薄层必须下降一层厚的距离,然后在其上表面涂上一层待固化的树脂,且维持树脂的液面处在焦点平面不变或在允许的范围内变动。这是因为激光束光斑的大小直接影响到单层的精度及树脂的固