

快速模具技术的最新进展及其发展趋势

New Progress and Development Trends of Rapid Tooling Technology

清华大学机械工程系 颜永年 张人佶 单忠德 卢清萍

[摘要] 介绍了各种快速模具技术的最新进展;比较了直接快速模具与间接快速模具技术的异同;分析了快速原型+快速模具技术的发展趋势。阐述了基于快速原型的快速模具技术将成为21世纪快速原型技术的主要发展方向。

关键词:快速原型技术 快速模具技术 间接快速模具 直接快速模具 发展趋势

[ABSTRACT] The new progresses of various RT technologies are introduced. The difference and the same of direct rapid tooling and indirect tooling technologies are compared. The development trend of the RP+RT is analyzed. It is pointed out that RT technology based on RP technology will become one of the main development direction of RP technology in 21th century.

Keywords: Rapid prototyping Rapid tooling technology Indirect rapid tooling Direct rapid tooling Development trends

1 概述

在快速原型(Rapid Prototyping, RP)技术领域,目前发展最迅速,产值增长最明显的应属快速模具(Rapid Tooling, RT)技术。2000年5月,在法国巴黎举行的全球RP协会联盟(GARPA)最高峰会议上,这一点得到了普遍的认同。传统模具制造的方法很多,如数控铣削加工、成形磨削、电火花加工、线切割加工、铸造模具、电解加工、电铸加工、压力加工和照相腐蚀等。由于这些工艺复杂、加工周期长、费用高而影响了新产品对于市场的响应速度。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,应用快速原型技术制造快速模具,在最终生产模具开模之前进行新产品试制与小批量生产,可以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^[1,2],使RT技术具有很好的发展条件。由于市场需求旺盛,许多公司研制出RT新工艺、新设备,并且取得了良好的经济效益。由于这些技术中高航空制造技术

新技术的含量高,并且涉及到许多科技领域,解决了以前难以解决甚至认为是不可能解决的技术难题,所以得到了广泛的关注。据不完全统计,在1999年,包括RT在内的RP二级市场的年增长率达到34.6%,产值达到5亿多美元。而且这种增长是在几年之内都保持了两位数增长的基础上取得的^[1]。

RP+RT技术提供了一条从模具的CAD模型直接制造模具的新的概念和方法,它将模具的概念设计和加工工艺集成在一个CAD/CAM系统内,为并行工程的应用创造了良好的条件。RT技术采用RP早期、多回路、快速信息反馈的设计与制造方法,结合各种计算机模拟与分析手段,形成了一整套全新的模具设计与制造系统。RT技术能够解决大量传统加工方法(如切削加工)难以解决甚至不能解决的问题,可以获得一般切削加工不能获得的复杂形状,可以根据CAD模型无需数控切削加工直接将复杂的型腔曲面制造出来。从模具的概念设计到制造完毕仅为传统加工方法所需时间的1/3左右,使模具制造在提高质量、缩短研制周期、提高制造柔性等方面取得了明显的效果。利用快速原型技术制造快速模具可以分为直接模具制造与间接模具制造两大类。有20多种RT工艺已经在工业生产实际中得到应用,正在接受市场的考验^[3-6]。

2 直接快速模具与间接快速模具技术的比较

直接快速模具制造指的是利用不同类型的快速原型技术直接制造出模具本身,然后进行一些必要的后处理和机加工以获得模具所要求的机械性能、尺寸精度和表面粗糙度。目前能够直接制造金属模具的RP工艺包括激光选区烧结(SLS)、三维打印(3D-P)、形状沉积制造(SDM)和三维焊接(3D-Welding)等。尽管直接快速模具制造具有其独特的优点:制造环节简单,能够较充分地发挥RP技术的优势,特别是与计算机技术密切结合,快速完成模具制造;对于那些需要复杂形状的内流道冷却的模具与零件,采用直接RT有着其他方法不能替代的独特优势^[7-9],但是,它在模具精度和性能控制方面比较困难,特殊的后处理设备与工艺使成本提高较大,模具的尺寸也受到较大的限制。与之相比,间接快速模具制造,通过快速原型技术与传

统的模具翻制技术相结合制造模具,由于这些成熟的翻制技术的多样性,可以根据不同的应用要求,使用不同复杂程度和成本的工艺,一方面可以较好地控制模具的精度、表面质量、机械性能与使用寿命,另一方面也可以满足经济性的要求。因此,目前工业界多数使用间接快速模具制造技术。这类技术包括喷涂模具、中低熔点合金模具、表面沉积模具、电铸模、铝颗粒增强环氧树脂模具、硅胶模以及快速精密铸造模具等。

3 快速模具技术的最新进展

基于 RP 技术的各种不同快速制模技术如图 1 所示。

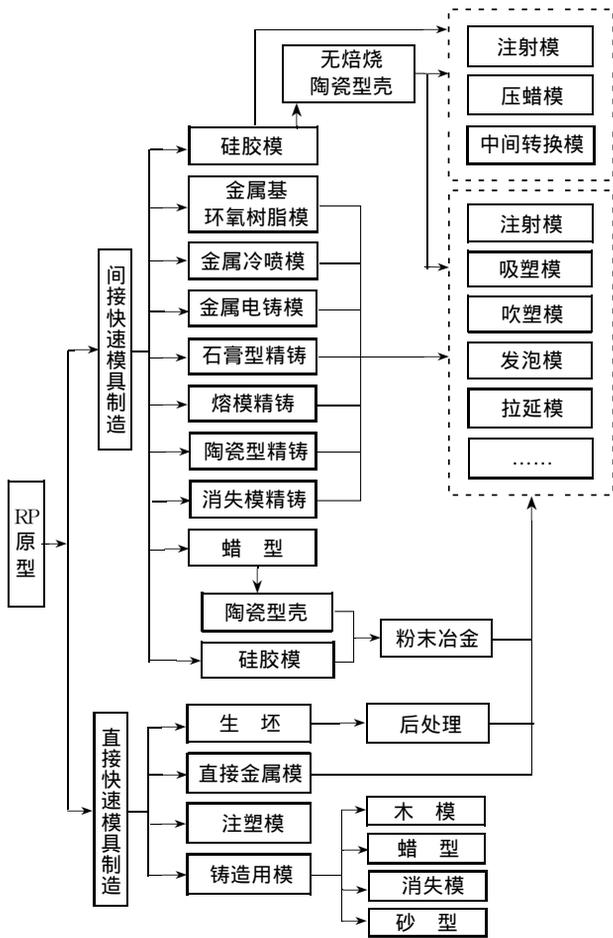


图 1 基于 RP 技术的快速制模技术

Fig.1 Rapid Tooling technology based on RP technology

3.1 间接快速模具制造

3.1.1 喷涂模具

喷涂模具包括金属冷喷模具和等离子喷涂(熔射)模具。金属冷喷模具采用 TAFE 等公司的喷涂设备,

用喷枪在 RP 原型的表面上喷射上一层金属壳层,其厚度可以达到 2 mm 甚至更厚,然后用铝颗粒与树脂混合材料作为背衬物并且埋入冷却管道,涂层与背衬材料转移结合,去除 RP 原型之后即可制得模具。喷涂表面的复制性能非常好,尺寸精度足够高,还可以进行抛光以改善表面粗糙度。采用等离子喷涂(熔射)技术,可以获得高熔点金属涂层(如不锈钢涂层),这样制得的模具表面硬度高、表面质量好、经济耐用、制作简单,使用寿命更是大大超过金属冷喷模具。日本中川威雄及其合作者在这一领域取得了很好的成果^[10~12]。

3.1.2 中低熔点合金模具

锌基合金为典型的中熔点合金,Bi-Sn 合金为典型的低熔点合金。铸造中低熔点合金模具以 RP 原型为母模,将 RP 原型翻制为硅胶模,再由硅胶模翻制石膏模,通过石膏模精铸得到锌基合金模具。针对不同的汽车车身覆盖件,可以选用不同的 RT 工艺(如 LOM 工艺),再与中低熔点合金快速制模技术相结合,使之更加适合大型件的拉伸、翻边等成形。清华大学开发的新工艺采用无焙烧精密陶瓷型技术,完成 LOM 原型到陶瓷型的转换,再进行低熔点合金(Bi-Sn 合金)的精密铸造获得金属模具。Bi-Sn 合金的熔点为 138℃,而且调整 Bi 与 Sn 的比例可以控制在凝固时微缩或微涨的量值,因而不会引起残余应力而发生变形,可保证高精度。工艺路线为:根据 CAD 模型制造 LOM 原型,将它翻制为具有足够尺寸精度的陶瓷型,对于陶瓷型进行特殊处理后,在约 140℃ 的温度下,浇铸出 Bi-Sn 低熔点合金汽车覆盖件拉伸模具。此拉伸模具可以制造 100~300 件汽车覆盖件零件,完全可以满足汽车试制模具的需要。当模具精度丧失后,可重熔此材料制造新的拉伸模具,因而极大地降低了模具制造的成本。图 2 为汽车顶篷 Bi-Sn 合金拉伸凸模。



图 2 汽车顶篷 Bi-Sn 合金拉伸凸模

Fig.2 Bi-Sn alloy drawing punch for automotive ceiling

3.1.3 沉积技术制造的模具

美国的爱达荷国家工程与环境实验室(Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, IN-EEL)研制的 RSP(Rapid Solidification Process)快速制模技术的原理是采用普通的工具合金(如 P20、H13 与 D2 工具钢或其他合金)粉末,通过沉积技术在 RP 原型的表面形成一层具有足够厚度的沉积层。在增压的作用下,熔融金属液体进入喷头,在高速气体的带动下,金属微粒甚至可以以增原子的方式沉积在表面上,能够把 RP 原型表面极细微的特征复制下来。表面粗糙度可以达到 $3\ \mu\text{m}$,沉积率为 $227\ \text{kg/h}$,适用于此项工艺的材料不仅有金属,而且包括陶瓷、聚合物等各类材料。

3.1.4 电铸模

电铸模是一种结合快速原型和传统电铸的快速模具技术。它的基本过程为:首先对 RP 原型表面进行必要的处理,如打磨、抛光、涂敷导电层等,然后置入电铸槽中,通过常温水铸获得金属壳层,该壳层的内表面精确地复制出了 RP 原型的外表面;通过中高温烧结去除金属壳内的原型;最后在模具框和金属壳外侧之间浇铸低熔点合金或铝粉-树脂混合材料背衬,即可得到电铸模^[13]。

3.1.5 铝颗粒增强环氧树脂模具

铝颗粒增强环氧树脂模具采用环氧树脂作为模具主要材料,以 RP 原型为母模,在原型表面涂一层环氧树脂,再在后面填充混有铝粒(或者全部为金属颗粒)的环氧树脂作为背衬,脱模得到铝基环氧树脂模。它主要用作注塑模,其寿命一般为 $500\sim 2\ 000$ 件。工艺

步骤为:制作 RP 母模;画出分型线;设计制造套装夹具(通常为木制);固定 RP 原型,木制夹具被切割成几块(固定复杂的原型要切割成 $10\sim 15$ 块);将石蜡灌注到切割间隙或裂缝中;然后将 35% 的环氧树脂和 65% 的增强铝颗粒混合后涂抹于原型的表面上;固化后进行修整制成铝颗粒增强环氧树脂模具。

3.1.6 硅胶模

硅胶模广泛用于快速制造小批量塑料零件或者被其他模具制造技术用作复制复杂形状零件的中间转换体,其主要优点是成本低、工艺简单。硅胶模通常采用室温固化的硅橡胶作为模具材料,它的制作流程为:打磨和表面处理 RP 原型,使其具有较高的表面质量,同时配制硅胶,然后以原型为芯浇注硅胶,凝固后成模。为了使硅胶能够完全充填型面,可以将 RP 原型和模框置于真空装置中,在浇注的同时抽真空,等硅胶经静置后完全凝固,开模即可获得硅胶模。硅胶模开模的方式一般需要考虑随后零件的浇铸要求,同时零件越复杂,开模面也必然越复杂。硅胶的凝固还可以通过加入固化剂实现,也可以通过紫外线照射实现,取决于所用硅胶的类型。硅胶模具有很好的弹性、复印性和一定的强度,便于脱模,可用作试制及小批量生产用注塑模、精铸蜡模和其他间接快速模具制造技术的中间过渡模,用作注塑模时其寿命一般为 $10\sim 80$ 件。

3.1.7 硅胶-陶瓷型橡胶模

将 RP 原型翻制的硅胶型,通过涂层转移获得精密陶瓷型,浇铸铸铝或黑色金属,可以制作子午线轮胎模(如图 3)。该模具为清华大学与山东某厂合作研制的成果。

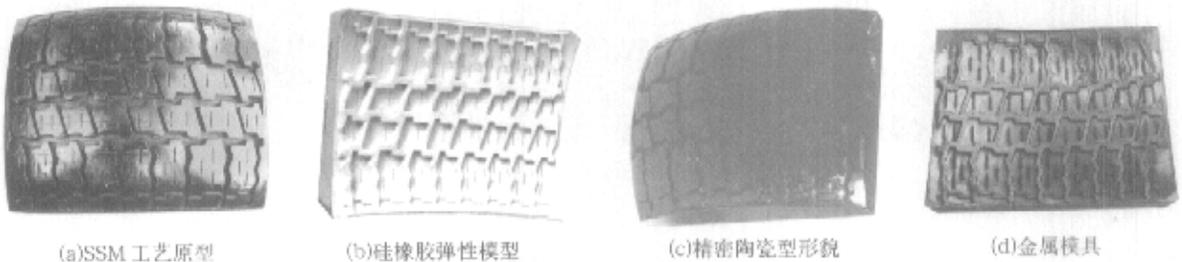


图 3 子午线轮胎模

Fig.3 Radial tyre tooling

也可采用类似于此工艺的使用石膏型的工艺路线快速制造模具。首先由 CAD 模型制造出 LOM 的模具原型,然后由 RP 原型翻制硅胶型,再通过涂层转移获得精密石膏型,增压振动进行浇铸,得到轮毂的模具。

3.1.8 快速精密铸造模具

航空制造技术

采用快速精密铸造的方式得到快速模具有许多方法。Quick Casting 是美国 3D Systems 公司推出的一种工艺。它利用立体光刻(SLA)工艺获得零件/模具的半中空 RP 原型,然后在原型的外表面挂浆,得到有一定厚度和粒度的陶瓷层,它紧紧地包裹在原型的外面,再放入高温炉中烧掉 SLA 半中空原型,得到中空

的陶瓷型壳,即可用于精密铸造。浇铸后得到的金属模具还要进行必要的机加工,使得其表面质量和尺寸精度达到要求。该方法的优点是用 SLA 原型代替原来精密铸造中的蜡型,从而大大提高铸造原型的精度,并且大大加快制造速度。清华大学首先提出无焙烧陶瓷型制模(Unbaked ceramic mould tooling),该技术首先以 RP 原型为母模,将 RP 原型翻制为硅胶模,再由硅胶模翻制陶瓷型,通过陶瓷型精铸得到金属模具。

3.1.9 粉末冶金快速模具

美国 3D Systems 公司还推出了一种粉末冶金快速模具工艺,这种工艺称作 3D Keltool。它的制作过程为:首先用 SLA 原型翻制出硅胶模作为中间转换模;然后将用树脂粘结剂混合的工具钢粉末灌注到中间模具中,待材料凝固后得到模具生坯件,通过烧结去除粘结剂,得到内部疏松结构(约 30% 孔隙率)的模具熟坯件,最后经过渗铜处理增加材料的致密度和机械强度;通过简单机加工进一步保证模具的精度(可达 0.04 mm),即得 Keltool 模具。该模具 70% 为钢,30% 为铜,其特性与 P20 工具钢模具类似,可以承受 20~25kPa 的压力和 650℃ 的高温。

间接快速金属模具技术还有很多种,这里不再一一介绍了。

3.2 直接快速模具制造

在 RP 领域中,直接快速模具制造技术是人们给予最大关注的方面。

3.2.1 形状沉积制造(SDM)工艺

Prinz 等采用 SDM 工艺直接制造出含复杂内流道的多组元材料注射模,经过一定的后处理,模具的尺寸精度与表面粗糙度均达到要求。这种注射模由于包含其他方法所不能做到的内流道,注射时的冷却效果非常好,因此受到人们的重视。

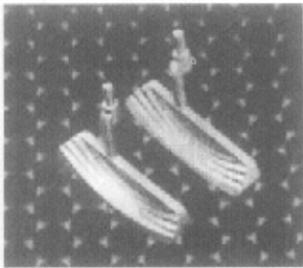
3.2.2 AIM 快速制模工艺

美国 3D Systems 公司开发的直接 AIM 快速制模工艺,它使用立体光刻设备,采用 SL 工艺与特种材料,直接制造出 ACES(Accurate Clear Epoxy Solid)注射模。这种工艺的缺点主要是模具寿命较短,注射零件的复杂程度也受到限制。日本的 NTT Data CMET 公司的 SOUP 设备也有类似的工艺。

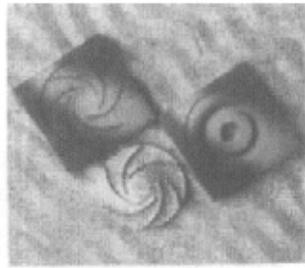
3.2.3 激光选区烧结(SLS)工艺

SLS 工艺开发更多。美国的 DTM 公司推出了 RapidTool 和铜-聚酰胺树脂两种直接制模工艺,其中的 RapidTool 采用 DTM 公司自行开发的 RapidSteel 粉末,德国的 EOS 公司也推出了 EOSINT Direct Metal Laser Sintering(DMLS)直接制模工艺。这些工艺还同设备的开发相结合,如 EOS 公司与 DMLS 工艺相配合,推出了 EOSINT M 设备专门用于金属粉末的烧结。图 4 为 DTM 公司采用 CastForm、SandForm Zr 与 SandForm Si 等特种材料,以及 SLS 工艺制造的砂型及铸型。

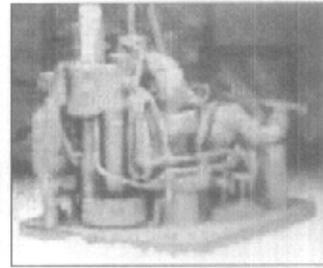
3.2.4 三维打印(3D-P)工艺



(a)精密铸件



(b)精密铸型



(c)精密铸芯

图 4 SLS 工艺制造的砂型及铸型

Fig.4 Sand mould and cast mould manufactured by SLS process

采用 3D-P 工艺直接制造金属模具的例子有 ProMetal 工艺,它是 3D-P 工艺专利拥有者美国麻省理工学院(MIT)推出的,设备的型号为 RTS-300。

3.2.5 LENS 工艺

美国的 Optomec Design Co. 自 1997 年起集中力量开发 Laser Engineered Net Shaping(LENS)工艺。这是一种直接由 CAD 实体模型直接制造金属模具的工

艺,它将 Nd:YAG 激光束聚焦于由金属粉末注射形成层的表面,使焦点处金属粉末熔化,通过激光束的扫描运动,使金属粉末材料逐点逐层熔化堆积,最终形成复杂形状的模具。而整个装置处于惰性气体保护之下。迄今为止,采用 316 与 304 不锈钢、镍基超合金(如 Inconel 625、690 与 718)、H13 工具钢、钨、Ti-6Al-4V 合金、Ni 渗 Al 等粉末材料,直接制造了各种模具。

表 1 快速模具技术的选择

项 目	硅胶模	Al 充填环 氧树脂模	直接 AIM 模	喷涂 金属模	锌合金模	SLS RapidTool	3D Keltool	铣削铝模
研制周期/周	0.5~2	2~4	1.5~3	2~4	2~3	2~5	3~6	2~6
成本/万美元	0.1~0.5	0.25~1.0	0.2~0.5	0.2~1.5	0.4~1.5	0.4~1.0	0.35~1.0	0.4~2.5
典型件数	10~50	50~1 000	10~50	50~1 000	50~1 000	50~100 000	50~1 000 000	50~100 000
材 料	尿烷 环氧树脂 石蜡	热塑性塑料						
模具精度/mm	0.05/25				0.08/25		0.05/25	0.025/25
特征细节 公差/mm	0.05				0.127		0.05	

注:研制周期系指模具从设计到进入市场的时间(leading time)。

Wohlers 总结了各种 RP+RT 技术后得到一个比较表(见表 1)。由表可见,虽然目前由于高速铣削技术的发展,大大促进了模具的制造速度,但是各种 RP+RT 技术更具有强大的生命力。无论是硅胶模、Al 充填环氧树脂模、喷涂金属模、锌合金模,还是直接 AIM 模、SLS RapidTool 技术、3D Keltool 技术,都有着其市场的需要和发展的空间。因此,我国必须发展具有自己知识产权的 RP+RT 技术。

4 快速原型 + 快速模具技术的发展趋势

工具和模具具有一个巨大的市场,世界范围内已经达到 650 亿美元产值的水平(亚洲占 39%,北美 31%,欧洲 23%)。这个市场对于模具的要求是全面的,如精度、材料、寿命、尺寸、形状复杂程度以及快速性。由于市场全球化以及竞争的加剧,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,即从设计到进入市场的时间(leading time),这就是 RP+RT 技术产生的根本原因。所谓 RP+RT 技术是由 RP 技术驱动的技术(RP-driven Tooling),本质上这都是基于离散/堆积成形的技术。我们在展望 RT 的发展前景时,必须清楚地看到这一技术背景。

由 RP 直接制造出使用模具的技术称之为直接 RT 技术。堆积金属(黑色金属、有色金属及其合金等)的难度决定了直接 RT 技术在未来的五六年内无法在 RT 领域中占据统治地位。这一期间内,主要还是间接 RT 技术占统治地位。但是,随着大功率激光烧结、激光同轴送粉、三维焊接、均匀微滴喷射(UPS)以及其他激光净成形技术的完善,估计 10 年内直接 RT 技术将逐渐成为 RT 技术的主流。直接 RT 被许多专业人士看好还有如下 3 个原因:

· 模具公司都希望取消制造模具原型(Pattern)以航空制造技术

及原型后处理的过程,以提高快速性;

· 通过原型转换将损失精度,使精度的补偿控制复杂化;

· 间接 RT 生产的模具寿命往往较低,这也是它在竞争中处于不利地位的一个原因。

直接 RT 与间接 RT 的竞争是 RT 技术发展的内部驱动力,在这种驱动力推动下,将会涌现出更多的 RT 技术与装备。目前约有 20 多种 RT 技术,其中多数为间接 RT,已经成功地商业化的约占一半。

RT 的外部竞争技术是高速数控铣削技术(HSM - High Speeds Machining),事实上,HSM 和 RT 都是得到 CNC 技术支持的技术种类。但前者是数字化的模拟加工,即数字化技术只支持对工具的控制,而被加工的材料与数字化技术无关,因而它不可能完成更复杂的形状(如具有内流道的模具)加工,也不可能制造具有功能梯度、材料梯度的模具,只能是同种材料的切削加工。RT 是基于离散/堆积成形原理的技术,数字化技术不但支持工具轨迹运动等的控制,而且可以直接涉及到材料本身,数字化技术将控制微滴材料的种类、形成、形态、运动轨迹,以及微滴间的相互连结,因而这是真正意义上的数字化制造。这一本质的区别决定了 RT 的长期生命力和根本竞争优势,它可以完成复杂内流道的直接制造,可以制造具有材料梯度和功能梯度的更为优良的工具和模具。这一本质是竞争优势,加速 RT 的发展,也正是离散/堆积的原理限制了它当前的精度和表面粗糙度,使其在与 HSM 的竞争中还有很多技术难题。但是,RT 必然要在与 HSM 竞争中求得发展空间的。RT 和 HSM 在数字化制造中的地位是有益的,许多快速模具公司同时采用 RT 和 HSM 两种技术,正是利用了它们之间相辅相成

(下转第 30 页)

产线、美国 GE 公司的五轴数控电解加工机床以及我国南京航空航天大学的五轴数控展成电解加工机床及多轴联动数控系统,都显示了计算机控制技术将在电解加工领域扩大应用与研究的重要发展方向。

2.3 必须重视并解决环境保护问题

为使电解加工能得到持续发展,也为了生产工人的健康和周围环境的安全,必须重视并解决电解加工过程中的环境保护问题。对加工过程中逸出的气体要通风排放,特别对电解泥要进行处理和回收,化解其中某些有害离子(如 Cr^{6+}),严格按照国家有关标准规定排放。为了达到“绿色制造”的目的,要加强电解液成分和电解加工过程在线处理电解液的研究,以保证在电解加工过程中不产生或很少产生有害物质,或者在电解加工过程中就已经在线将这些有害物质化解。这是电解加工发展中必须要重视并解决的问题。

3 结束语

在今后 20 年内,电解加工将在新工艺技术的开发研究,包括高频、窄脉冲电流电解加工、柔性电解加工、小间隙电解加工、复合加工等方面得到发展和应用,计算机控制技术将在电解加工设备与过程、参数的控制中得到不断的发展与扩大应用,在微精加工领域,电解加工将展现新的应用前景。在发展电解加工技术的同时,必须重视并解决电解加工过程中的环境保护问题,以达到“绿色制造”、持续发展的目的。

参 考 文 献

- 1 王建业,徐家文. 电解加工原理及应用. 北京:国防工业出版社,2001
- 2 Rajurkar K R, Zhu D, McGeough J A, et al. New development of electrochemical machining. *Annals of CIRP*, 1999, 48(2):567~579
- 3 Masuzawa T, Takawashi T. Recent trends in EDM/ECM technologies in Japan. *Proceedings of the ISEM-12*, 1998. 1~15
- 4 刘正坝. 我国特种加工技术的回顾与展望. *电加工*, 1999(5):6~11
- 5 赵万生,王振龙,郭东明,等. 国外特种加工技术的最新进展. *电加工*, 1999(5):12~19
- 6 陈光. 整体叶盘在国外航空发动机中的应用. *航空发动机*, 1999(1):1~6
- 7 李志广. 国外第四代歼击机发动机的特点和我们应如何发展的几点意见. *航空发动机*, 1999(3):1~8
- 8 徐家文. 整体叶轮的特种加工方法. *航空精密制造技术*, 1999(4):19~21
- 9 朱荻. 国外电解加工研究进展. *电加工与模具*, 2000(1):11~16

(责编 庚辰)

(上接第 21 页)

成形必然会在许多方面取代去除成形,RT 技术将得到更加快速的发展。

参 考 文 献

- 1 Wohlers T. Wohlers Report 2000: Rapid prototyping & tooling-state of the industry. *Annual Worldwide Progress Report*. Colorado, USA: Wohlers Associates, Inc. 2000. 41~52
- 2 Rosochowski, Matuszak A. Rapid tooling: the state of the art. *Journal of Materials Processing Technology*. 2000(106): 191~198
- 3 颜永年,张人信,卢清萍. 基于 RP 的早期、多回路反馈模具快速制造系统. *中国机械工程*, 1999(10~9):994~996
- 4 张人信,颜永年,单忠德. 基于 CAD/CAM/RPM 的快速模具制造技术. *计算机辅助设计与制造 CAD/CAM*, 2000(4):6~9
- 5 Yan Yongnian, Zhang Renji, Lu Qingping. Rapid prototyping & tooling in China. *Solid Freedom Fabrication Proceedings August 1999, Proceedings for Symposium on Solid Freedom Fabrication*, Austin Texas, USA: Bourell D L, 1999. 873~88
- 6 徐达,颜永年,张人信,等. 基于快速成形技术的汽车覆盖件金属模具制造. *清华大学学报*, 2000(5):
- 7 Iida S, Suzuki T. Fundamental study of metal infiltration in selective laser sintering. In *Proceedings on the 8th Intern Conf On Rapid Prototyping*, Tokyo, Japan, June 12~13, 2000. 401~406
- 8 Prinz F B, Weiss L E. Novel applications and implementations of shape deposition manufacturing. *Progress in Rapid Prototyping Manufacturing and Rapid Tooling*, Proceedings on the 1st Intern Conf on Rapid Prototyping & Manufacturing '98, Beijing, China, July 21~23, 1998. 20~29
- 9 Song Y-A, Park S. Feasibility study of using 3D welding and milling process for rapid tooling. In *Proceedings on the 8th Intern Conf on Rapid Prototyping*, Tokyo, Japan, June 12~13, 2000. 438~443
- 10 Nakagawa T. Rapid prototyping in Japan. In *Proceedings on the 8th Intern Conf on Rapid Prototyping*, Tokyo, Japan, 2000. 1~16
- 11 Zhang Haiou, Wang G L, Nakagawa T. Rapid hard tooling by powder spray of stainless steel. In *Proceedings on the 8th Intern Conf on Rapid Prototyping*, Tokyo, Japan, June 12~13, 2000. 444~449
- 12 Chen Yanxiang, Wang G L, Zhang H O. Computer simulation of coating deposition process in rapid spray tooling. In *Proceedings on the 8th Intern Conf on Rapid Prototyping*, Tokyo, Japan, June 12~13, 2000. 450~455
- 13 张人信,颜永年,卢清萍. 基于激光快速成形技术的电铸模具制造. 见:左铁钊主编. 第四届全国激光加工学术会议论文集. 北京:冶金工业出版社,1997. 1~7 (责编 庚辰)

快速模具技术的最新进展及其发展趋势

作者: 颜永年, 张人佶, 单忠德, 卢清萍
作者单位: 清华大学机械工程系
刊名: 航空制造技术 **ISTIC**
英文刊名: AERONAUTICAL MANUFACTURING TECHNOLOGY
年, 卷(期): 2002, "" (4)
被引用次数: 27次

参考文献(13条)

1. Wohlers T Wohlers Report 2000: Rapid prototyping & tooling-state of the industry 2000
2. Rosochowski. Matuszak A Rapid tooling:the state of the art 2000(106)
3. 颜永年. 张人佶. 卢清萍 基于RP的早期、多回路反馈模具快速制造系统[期刊论文]-中国机械工程 1999(09)
4. 张人佶. 颜永年. 单忠德 基于CAD/CAM/RPM的快速模具制造技术 2000(04)
5. YAN Yongnian. Zhang Renji. Lu Qingping Rapid prototyping & tooling in China. Solid Freedom Fabrication Proceedings August 1999, Proceedings for Symposium on Solid Freedom Fabrication, Austin Texas 1999
6. 徐达. 颜永年. 张人佶 基于快速成形技术的汽车覆盖件金属模具制造[期刊论文]-清华大学学报(自然科学版) 2000(05)
7. Iida S. Suzuki T Fundamental study of metal infiltration in selective laser sintering 2000
8. Prinz F B. Weiss L E Novel applications and implementations of shape deposition manufacturing 1998
9. Song Y-A. Park S Feasibility study of using 3D welding and milling process for rapid tooling 2000
10. Nakagawa T Rapid prototyping in Japan 2000
11. Zhang Haiou. Wang G L. Nakagawa T Rapid hard tooling by powder spray of stainless steel 2000
12. Chen Yanxiang. Wang G L. Zhang H O Computer simulation of coating deposition process in rapid spray tooling 2000
13. 张人佶. 颜永年. 卢清萍 基于激光快速成形技术的电铸模具制造 1997

相似文献(10条)

1. 学位论文 杨孟涛 基于反求工程和快速原型技术的快速模具制造技术的理论与实践 2004
本文首先介绍了反求工程和快速原型技术的原理、工艺过程和应用领域等。根据对国内外资料的总结,引入了一种更加全面的快速原型技术分类方法,并通过生产实践中的具体应用进一步说明了它们在现代工业和社会生产中的优势和重要的地位。在此基础上,对基于反求工程和快速原型技术的快速模具制造技术进行了系统和工艺的研究,并从快速直接和间接模具制造技术两方面对各种快速模具制造技术的工艺原理和特点进行了介绍。本文还对基于反求工程和快速原型技术的陶瓷型精密铸造快速模具、石膏型铸造铝合金快速模具、金属粉末填充环氧树脂快速模具制造技术作了详尽的理论和实践的研究,并将这3种技术分别用于汽车发动机进气歧管、增压器叶轮等的模具的快速制造中。
2. 期刊论文 聂信天. 史立新. NIE Xin-tian. SHI Li-xin 快速原型技术在机械制造中的发展及应用 -农机化研究 2006, "" (4)
由于CAD技术的快速发展,人们可以直接获得零件设计的3D数据,能将在计算机上设计的图形迅速、准确地变成具体的产品原型或直接制造成零件。快速原型制造技术是随着CAD/CAM技术、计算机数控技术、激光技术、材料科学与工程技术的发展而出现并发展的,而今它已同信息技术、虚拟技术一起成为实施产品设计和工艺过程技术集成创新的前所未有的理想工具。为此,介绍了几种典型的快速原型技术及其特点,论述了其在高精度小尺寸零件制造、石墨电极制造、复合材料零件铸造、陶瓷型铸造模具技术、直接切片技术等方面的应用与发展。
3. 期刊论文 基于RE和RP技术的锌合金及环氧树脂快速模具制造技术 -重庆科技学院学报(自然科学版) 2005, 7(3)
介绍了一种快速原型技术的新的分类方法,重点对基于RE和RP技术的锌合金及环氧树脂快速模具制造技术进行了详细分析。通过实验对环氧树脂复合材料的性能进行了分析,并列举了两种快速制模技术的相关工艺实例及其适合的应用领域。
4. 学位论文 付泽民 复杂曲面零件的RE/RP/RT集成技术研究 2006
反求工程与快速原型、快速模具技术相结合将从根本上改变传统产品在研发期的产品设计和制造模式,使快速响应市场需求的产品开发成为现实,它能解决大量传统加工方法难以解决甚至不能解决的问题,使产品零件制造在提高质量、缩短研发周期、节约开发费用、提高制造柔性等方面取得了明显的效果。
本文以水龙头、喷头快速开发作为应用对象,深入探讨了以反求工程(RE)快速原型(RP)和快速模具制造集成技术为核心的复杂曲面产品快速开发模式,在分析和比较了各种测量方法以及测量方法的选择以后,详细研究了反求工程数据获取及预处理方法,通过对水龙头扫描数据的获取及预处理,从中摸索出数据预处理的一般操作流程。
此外,对曲面重构的基本原理和方法进行了研究,将精度分析、光顺性等评价应用到曲面重构过程中,应用Surfacer和Pro/E软件平台构建符合要求的曲面和CAD实体模型。
论文根据各种快速原型工艺的特点,从材料、精度、速度、模型特性等方面讨论了RP/M技术对复杂曲面产品的适应性。对快速原型制造技术的主要方法及加工过程的数据转换、模型的分层处理、扫描路径生成,STL文件信息处理,快速成型件表面工程技术及成型精度进行了详细地论述。
最后,论文对基于反求工程和快速原型技术的快速硅胶制模作了理论和实践的研究,并将硅胶模技术应用于喷头花洒模具的快速制造中,构建了复杂曲面类零件基于RE/RP/RT系统集成技术的快速开发新模式。

本论文的研究成果完成了从复杂曲面零件模型的三维表面测量到CAD模型重构到快速原型制造到快速硅胶模制造全过程的开发研究。对基于反求工程和快速原型技术的快速模具制造技术具有一定的参考价值,为快速制模技术的发展,以及在实际生产中的应用提供了新的途径,具有较高的经济效益和应用价值。而且通过反求工程和快速原型快速模具技术相结合应用,反过来也促进了各种先进制造技术的进一步发展,拓宽了它们在生产实践中的应用领域。

5. 期刊论文 [胡义刚 液力变矩器逆向造型](#) -[工程机械](#)2002, 33(12)

用三坐标测量机对液力变矩器的叶片进行取点测量,然后按照点一线一面一体的顺序过程在三维软件UG下进行叶片的三维造型,再利用Solid Edge进行液力变矩器导轮、泵轮、涡轮的三维造型和装配,讨论了应用快速原型技术制造液力变矩器快速模具的方法和过程。

6. 期刊论文 [左晓明 硅胶模及其在快速制模中的应用](#) -[铸造技术](#)2010, 31(6)

快速模具技术由于生产成本低、开发周期短而在工业生产中获得了广泛的应用,介绍了快速原型技术和快速模具技术的发展状况,分析了硅胶模的制作工艺流程和技术特点;综述了硅胶模真空铸型在多方面的应用,展望了硅胶模的应用发展趋势。

7. 期刊论文 [胡义刚 导轮叶片反向设计](#) -[机床与液压](#)2002, ""(5)

本文先用反向设计的方法对变矩器导轮的叶片形体进行取点重构,然后再利用正向设计的方法进行导轮的三维造型,讨论了应用快速原型技术(Rapid Prototyping, RP)制造导轮快速模具(Rapid Tooling, RT)的方法。

8. 期刊论文 [磨志毅,曹志全 RPM技术在注射模设计制造中的应用](#) -[模具制造](#)2004, ""(4)

随着快速原型(零件)制造(RPM)技术的成熟,使用产品终板材料的原型(样品)件可以用较传统制模工艺更少的时间和费用制出,这样的原型件不但有利于对产品设计和制造过程的分析,也有利于新产品的市场分析。本文介绍了与RPM相关的几个概念并强调了快速模具技术(RT)在RPM中的重要性,而且还介绍了两个间接RT的制造注射模的实例。

9. 学位论文 [郭悦红 基于RP/TRIZ的网上服务系统研究](#) 2002

该论文是基于快速原型和快速模具技术和TRIZ理论的网上服务系统研究,着重介绍了快速原型技术、快速模具技术和创新设计理论,三者结合,开发生产适应新需求的产品,通过网络为客户提供快速、便捷的服务。该论文讨论了针对Internet的信息存储和访问方式,进行了面向RP和TRIZ网上服务系统的设计开发,针对该系统,提出了一种在实践中行之有效的网络组成及其软、硬件配置方案,论述了系统组成、具体功能和技术体系结构。在此基础上,将Web技术和数据库技术相结合,采用ASP和SQL语言开发出网上定制RP、RT产品的系统和网上TRIZ服务系统,并且建立了一个商务站点,实现了基于分层实体制造快速工艺和快速模具的在线报价、网上发放订单、RP产品信息管理以及客户信息管理等功能单元。

10. 期刊论文 [王延庆,王广春,孙金平, WANG Yan-qing, WANG Guang-chun, SUN Jin-ping 基于快速原型技术的金属粉末成形方法](#) -[粉末冶金工业](#)2005, 15(2)

金属粉末成形是集材料、化工、冶金、机械等一体的高新技术。随着快速原型和快速模具技术的发展,传统的粉末成形方法得到进一步发展的同时,也出现了新的粉末成形方法。本文介绍了目前国内外几种比较典型的基于快速原型技术的金属粉末成形工艺,包括它们的成形原理、工艺流程、各自的应用领域等,并展望了各种新的粉末成形方法的应用前景。

引证文献(27条)

1. [钱应平,黄菊华,王艳丽](#) "分型面"法精确制造硅橡胶模具工艺研究[期刊论文]-[塑料工业](#) 2009(6)

2. [陈雪芳](#) 汽车接角密封件样品快速制造技术[期刊论文]-[苏州市职业大学学报](#) 2008(2)

3. [李茂盛,赵增慧,张孟玫,颜永年,康达昌](#) 快速模具技术在304板材液压成形中的应用[期刊论文]-[材料科学与工艺](#) 2007(4)

4. [宗振华](#) 发动机铝活塞直接铸型制造[期刊论文]-[铸造技术](#) 2007(1)

5. [林峰,汪建平](#) 基于RP的快速模具制造技术研究[期刊论文]-[轻工机械](#) 2006(3)

6. [颜永年,林峰,张人佶,吴任东,卢清萍,熊卓,王小红](#) 快速制造技术的最新进展及其发展趋势[期刊论文]-[电加工与模具](#) 2006(z1)

7. [冯小军](#) 快速模具模塑成形的数值分析及过程智能控制系统的研究[学位论文]博士 2006

8. [张海鸥,陈雷,王桂兰,韩光超](#) 机器人制造陶瓷原型系统的研究[期刊论文]-[中国机械工程](#) 2005(23)

9. [于哲峰,张国忠,赵宇明](#) 基于逆向工程的快速原型技术[期刊论文]-[机械设计与制造](#) 2005(3)

10. [徐红岩](#) 注射模协同设计系统中的冲突消解策略[期刊论文]-[电加工与模具](#) 2005(4)

11. [基于RE和RP技术的锌合金及环氧树脂快速模具制造技术](#)[期刊论文]-[重庆科技学院学报\(自然科学版\)](#) 2005(3)

12. [于哲峰,唐海燕](#) 基于Pro/Engineer的快速原型技术[期刊论文]-[鞍山师范学院学报](#) 2005(2)

13. [陈正江](#) 电弧熔射成形法快速制造模具技术研究[学位论文]硕士 2005

14. [叶建红](#) 基于RP的快速制模精度分析与研究[学位论文]硕士 2005

15. [宋满仓](#) 注塑模具设计与制造标准化体系的研究[学位论文]博士 2005

16. [张晓达,董俊慧,王桂林,李小飞](#) 基于RP技术陶瓷型精铸模具的应用与发展[期刊论文]-[铸造技术](#) 2004(1)

17. [吴一鸣,陈向东,王秀凤](#) 现代制造业知识管理模式分析—以模具行业技术创新为例[期刊论文]-[科学学与科学技术管理](#) 2004(10)

18. [李延平,朱东波,卢秉恒](#) 基于RP&RT集成环境的快速模具制造技术[期刊论文]-[电加工与模具](#) 2004(z1)

19. [杨子义](#) [基于数控加工原型的快速模具制造工艺研究](#)[学位论文]硕士 2004
20. [杨孟涛](#) [基于反求工程和快速原型技术的快速模具制造技术的理论与实践](#)[学位论文]硕士 2004
21. [刘继常](#), [李力钧](#) [砂型铸造金属模具的激光直接制造](#)[期刊论文]-[铸造](#) 2003(5)
22. [姜开宇](#), [段旭明](#), [王伟](#), [王敏杰](#) [基于RPM的炭/炭复合材料人工骨预制体成型技术研究](#)[期刊论文]-[炭素技术](#) 2003(5)
23. [刘继常](#), [李力钧](#), [鄢铨](#) [激光熔覆金属粉末直接制造砂型铸造模具的探讨](#)[期刊论文]-[激光技术](#) 2003(6)
24. [刘继常](#), [李力钧](#), [鄢铨](#) [激光熔覆成形砂型铸造金属模具探讨](#)[期刊论文]-[湖南大学学报\(自然科学版\)](#) 2003(6)
25. [宋满仓](#), [王敏杰](#), [赵丹阳](#) [面向先进制造技术的注塑模具设计与制造新理念](#)[期刊论文]-[航空制造技术](#) 2003(10)
26. [胡义刚](#) [导轮叶片反向设计](#)[期刊论文]-[机床与液压](#) 2002(5)
27. [胡义刚](#) [液力变矩器逆向造型](#)[期刊论文]-[工程机械](#) 2002(12)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hkgyjs200204007.aspx

授权使用: 广东工贸职业技术学院(gdgmzyjsxy), 授权号: 02e40b81-840e-42ef-a203-9e0c01639be1

下载时间: 2010年10月11日