

微注射成型机发展现状与展望

蒋炳炎^{1,2}, 谢 磊¹, 杜 雪²

(1. 中南大学机电工程学院, 湖南 长沙 410083; 2. 香港理工大学工业与系统工程系, 香港 九龙)

摘 要: 阐述了微注射成型技术的产生背景、应用领域和发展前景, 分析了微注射成型技术与传统注射成型技术对成型机的不同要求, 介绍了当前微注射成型机的发展现状, 并对微注射成型机进行了分类和说明, 展望了微注射成型机的发展趋势。

关 键 词: 微注射成型; 注射成型机; 微细结构零件

中图分类号: TQ320.5⁺2 文献标识码: A 文章编号: 1001-9278(2004)09-0006-06

Current Situation and Prospect of Micro Injection Molding Machines

JIANG Bing-yan^{1, 2}, XIE Lei¹, SANDY To²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering of Central South University, Changsha 410083, China;

2. Department of Industrial and Systems Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

Abstract: The background, application and developing trend of micro injection molding technology were reviewed. The differences in requirements between micro injection molding and the traditional ones were discussed. The current micro injection molding machines were classified and evaluated.

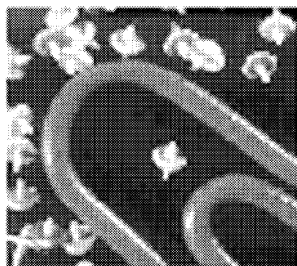
Key words: micro injection molding; injection molding machine; part with microstructure

随着科学技术的进步, 产品不断向微型化方向发展, 因而产生了新世纪产业需求的微机电系统技术。2002 年全世界在这一领域创造出 450 亿美元的产值, 其主要产品在光电通讯、影像传输、生化医疗、信息存储、精密机械等应用领域扮演着重要角色, 如图 1 所示。为了能够生产具有实用价值的微细组件, 许多新

兴制造技术随之产生, 包括光刻、电铸及脱模技术 (LIGA)、紫外光蚀刻技术 (UV)、放电加工 (EDM)、微注射成型、精密磨削和精密切削等^[1-4]。其中, 微注射成型技术以容易实现低成本大规模生产具有精密微细结构零件的优点成为世界制造技术的研究热点之一^[3, 4]。



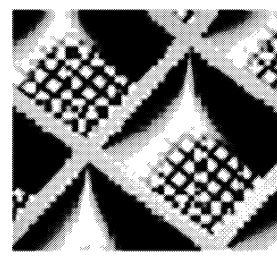
(a)



(b)



(c)



(d)

(a) 微注射成型螺栓 (b) 微注射成型双联齿轮 (c) DVD 注射成型生产 (d) 细胞培养用微型容器

图 1 微注射成型制品

Fig. 1 Parts made by micro injection molding

代末, 是一门新兴先进制造技术, 同传统的、常规的注射成型技术相比, 其对成型材料、成型工艺及成型设备等方面都提出了不同要求^[5, 6]。许多现有的、成熟的注射成型技术和理论并不适用于微注射成型技术, 必须在理论和实践上对微注射成型工艺的技术特点进行系统和彻底的研究与探讨。本文对当前微注射成型机的发展现状进行了分析和阐述。

1 微注射成型机的特殊要求

微注射成型技术发展之初, 并未有专用注射成型机用于微型零件制造。生产实际中, 通常采用传统的中、大型注射成型机配合多模腔模具设计实现零件制备, 这不仅对模具的流道平衡设计要求很高, 而且零件的成型品质也难以控制。因此, 需要专用的注射成型机适应零件微型化和高精度的要求, 与传统注射成型技术相比, 微注射成型技术对生产设备有许多特殊要求, 主要表现为以下几个方面:

(1) 高注射速率: 微注射成型零件质量、体积微小, 注射过程要求在短时间内完成, 以防止熔料凝固而导致零件欠注, 因此成型时要求注射速度高。传统的液压驱动式注射成型机的注射速度为 200 mm/s, 电气伺服马达驱动式注射成型机的注射速度为 600 mm/s, 而微注射成型工艺通常要求聚合物熔体的注射速度达到 800 mm/s 以上^[7], 利用聚合物熔体的剪切变稀原理, 以高注射速度降低熔体的黏度, 使其顺利充填微尺度型腔。

(2) 精密注射量计量: 微注射成型零件的质量仅以毫克计量, 因此微注射成型机需要具备精密计量注射过程中一次注射的控制单元, 其质量控制精度要求达到毫克级, 螺杆行程精度要达到微米级。而传统注射成型机通常采用直线往复螺杆式注射结构, 如图 2 所示, 注射控制量误差相对较大, 无法满足微注射成型的微量控制要求, 对零件成型品质的影响较大。

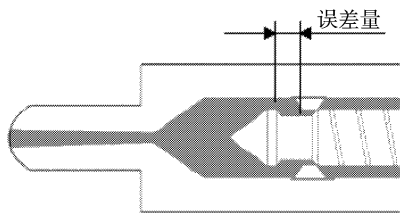


图 2 螺杆式注射结构中止逆环产生的注射量误差

Fig. 2 Injection weight error caused by stop-backwash loop in screw injection machine

(3) 快速反应能力: 微注射成型过程中注射量相当微小, 相应注射设备的螺杆/柱塞的移动行程也相当微小, 因此要求微注射成型机的驱动单元必须具备相当

快的反应速度, 从而保证设备能在瞬间达到所需注射压力。

2 微注射成型机的分类

针对传统注射成型机在微注射成型领域中的应用局限性, 进入 20 世纪 90 年代, 欧洲、日本和美国的一些公司与科研机构合作开发了各类型专用微注射成型机(通常锁模力 $< 15\text{ t}$), 目前国外主要设备供应厂商包括 Nissei、Dr. Boy、Battenfeld、MCP、Babyplast、高桥等。微注射成型机的主要功能通常包括塑化、计量和注射三部分, 可以通过各部分的驱动方式分类, 也可以通过各部分的机构设计分类。

按驱动方式分类, 可分为液压/气压式驱动、全电式驱动和电液复合式驱动。液压/气压式驱动即塑化单元和注射单元的旋转/往复运动均靠液压/气压系统来驱动, 其优点是所能达到的注射压力和注射速度高, 可以满足微注射成型工艺的要求; 缺点是控制精度较差。全电式驱动即设备所有单元均采用伺服电机驱动, 其优点是控制精度高, 反应速度快, 对环境污染小; 缺点是伺服电机输出的推力有限, 所能达到的注射压力和速度不高。电液复合式驱动即将液压式驱动的高注射压力、注射速度与全电式驱动的精确控制和快速反应相结合, 作为系统的驱动源。

按塑化和注射单元的机构设计分类, 可分为螺杆式、柱塞式、螺杆柱塞混合式及其他特殊形式。

2.1 螺杆式

微注射成型机的塑化、计量和注射均由一组螺杆完成, 各单元旋转和往复运动均在一条轴线上, 构造简单, 容易控制。但是由于螺杆前端的止逆环结构, 设备对一次注射量的控制精度较差。此类微注射成型机的代表型号有德国 Dr. BOY 公司的 BOY12A, 日精树脂工业株式会社的 HM7-DENKEY, 树研工业的 JMW-015S-5T 及东芝的 EC5。

(1) 德国 Dr. BOY 公司的 BOY12A, 如图 3 所示, 螺杆直径为 $\phi 14\text{ mm}$, 注射量为 6.1 cm^3 , 最大注射压

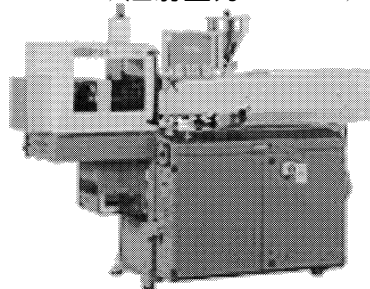


图 3 德国 Dr. BOY 公司的 BOY12A

Fig. 3 BOY12A from Dr. BOY Company of Germany

力 241.3 MPa, 驱动方式为液压伺服式驱动。

(2) 日精树脂工业株式会社的 HM 7-DENKEY, 如图 4 所示, 锁模力为 7 t, 螺杆直径为 $\phi 14$ mm, 注射量为 6.2 cm^3 , 最大注射压力 178.5 MPa, 该机具有模温控制系统, 可提供冷热水进行模温控制, 驱动方式为全电式伺服控制驱动。



图 4 日精树脂工业株式会社的 HM 7-DENKEY

Fig. 4 HM 7-DENKEY from Nissei Plastic

Industrial Company of Japan

(3) 树研工业的 JMW-015S-5T, 如图 5 所示, 锁模力为 5 t, 螺杆直径为 $\phi 16$ mm, 注射量为 5 cm^3 , 最大注射压力为 133 MPa, 最大注射速度为 490 mm/s, 驱动方式为液压伺服驱动。

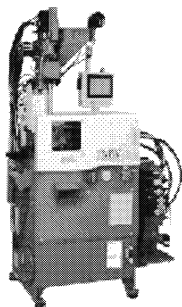


图 5 树研工业的 JMW-015S-5T

Fig. 5 JMW-015S-5T from Juken Industrial Company of Japan

(4) 东芝的 EC5, 如图 6 所示, 锁模力为 5 t, 螺杆直径为 $\phi 14$ mm, 注射量为 5.9 cm^3 , 最大注射压力为 204 MPa, 最大注射速度为 150 mm/s, 驱动方式为全电气式伺服控制驱动。

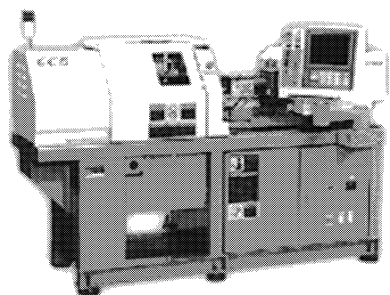


图 6 东芝的 EC5

Fig. 6 EC5 from Toshiba Company

2.2 柱塞式

微注射成型机包括单一柱塞型和柱塞—柱塞型两种, 单一柱塞型将粒状或粉状的塑料向前推送, 绕经一鱼雷状分流梭, 经由喷嘴注入模腔, 分流梭的功能是将塑料分散于管内部表层, 使塑料更容易塑化; 而柱塞—柱塞型是由两组柱塞分别完成塑化和计量注射功能。该型微注射成型机通常塑化量较小, 塑化的品质不高, 混料性能也较差。其代表机型有西班牙 Cronoplast 公司的 Babyplast6/10, 英国 MCP 公司的 Rabbit 2/3 和美国 Medical Murray 公司的 Sesame。

(1) 西班牙 Cronoplast 公司的 Babyplast6/10, 如图 7 所示, 锁模力为 6.25 t, 注射柱塞直径有 $\phi 10$ mm, $\phi 12$ mm, $\phi 14$ mm, $\phi 16$ mm 和 $\phi 18$ mm 五种, 当直径为 $\phi 10$ mm 时, 注射量为 4 cm^3 , 最大注射压力 265 MPa, 外型尺寸为长 890 mm, 高 650 mm, 驱动方式为液压伺服驱动。



图 7 西班牙 Cronoplast 公司的 Babyplast6/10

Fig. 7 Babyplast6/10 from Cronoplast Company of Spain

(2) 英国 MCP 公司的 Rabbit 2/3, 锁模力为 3 t, 柱塞直径为 $\phi 12$ mm, 注射量为 2 g, 其最大注射压力为 90 MPa, 外形尺寸为长 1100 mm, 高 615 mm, 宽 240 mm, 驱动方式为气动伺服式驱动。

(3) 美国 Medical Murray 公司的 Sesame, 如图 8 所示, 锁模力为 0.4~1.7 t, 注射量为 0.082~0.58 g, 注射压力为 205~350 MPa, 最大注射速度为 1250 mm/s。塑化柱塞直径为 $\phi 10$ mm, 计量与注射柱塞直径为

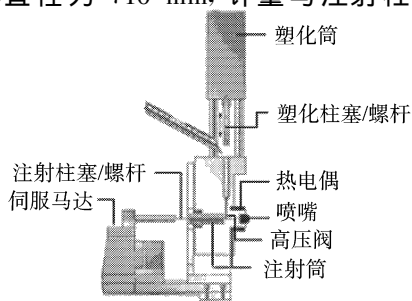


图 8 美国 Medical Murray 公司 Sesame 型微注射成型机结构示意图

Fig. 8 Type of Sesame micro injection molding machine from Medical Murray Company in USA

$\phi 1.0 \sim 3.5$ mm, 它可制造壁厚只有 0.025 mm, 面积 $0.26 \sim 26$ mm², 质量只有 0.01 mg 的塑件, 驱动方式为全电气式伺服控制驱动, 其中注射柱塞的运动由直线伺服电机控制完成^[8,9]。

2.3 螺杆柱塞混合式

微注射成型机以螺杆作为塑化单元, 完成混料与塑化, 以小直径柱塞配合伺服马达与控制器作为微注射单元, 完成精密计量与注射, 该微注射成型机又可按塑化计量机构设计分为二段计量式和三段计量式两种。

(1) 二段计量式: 塑化螺杆先将塑料塑化并进行粗计量, 然后送至注射室中, 再由小直径柱塞进行精密计量和注射, 此类微注射成型机的代表型号有英国 MCP 公司的 12/90HSP, 日本 Sodick 公司的 TR18S3A, 日精树脂株式会社的 Au3E 和田瑞公司的 EPOCH SHOT 7。

① 英国 MCP 公司的 12/90 HSP, 如图 9 所示, 锁模力为 9 t, 塑化螺杆直径为 $\phi 16$ mm, 注射柱塞直径为 $\phi 10$ mm, 最大注射压力为 125 MPa, 可成型 0.02 ~ 12 g 的微型零件, 其外形尺寸为长 1 000 mm, 宽 610 mm, 高 1 600 mm。

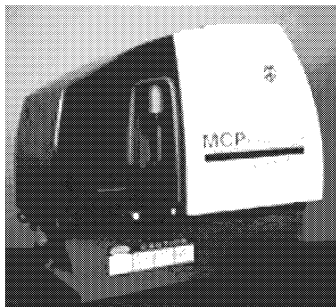


图 9 英国 MCP 公司的 12/90HSP

Fig. 9 12/90HSP from MCP Company of UK

② 日本 Sodick 公司的 TR18S3A, 如图 10 所示, 锁模力为 18 t, 塑化螺杆直径为 $\phi 18$ mm, 塑化率为 11 kg/h, 注射柱塞直径为 $\phi 16$ mm, 注射量为 14 cm³, 最大注射压力为 268 MPa, 最大注射速度为 400 mm/s。驱动方式为电液复合式伺服驱动, 合模机构和塑化机构采用电气式伺服电机驱动, 满足精确位置控制要求,

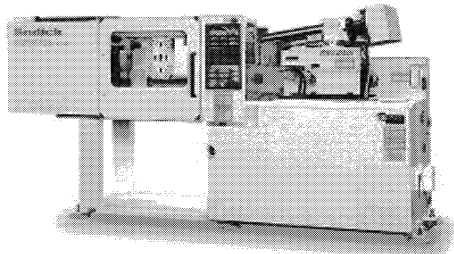


图 10 日本 Sodick 公司的 TR18S3A

Fig. 10 TR18S3A from Sodick Company of Japan

而注射机构采用液压伺服驱动, 满足高注射速度和注射压力要求。

③ 日精树脂株式会社的 Au3E, 如图 11 所示, 锁模力为 3 t, 塑化螺杆直径为 $\phi 14$ mm, 注射柱塞直径为 $\phi 12$ mm, 注射量为 3.1 cm³, 最大注射压力为 184 MPa, 驱动方式为全电气伺服控制式驱动。

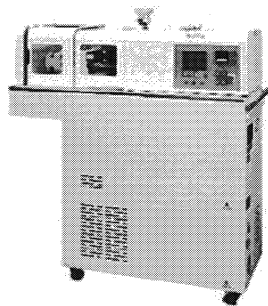


图 11 日精树脂株式会社的 Au3E

Fig. 11 Au3E from Nissei Plastic Industrial Company of Japan

④ 田瑞公司的 EPOCH SHOT 7, 如图 12 所示, 锁模力为 7 t, 塑化螺杆直径为 $\phi 16$ mm, 注射柱塞直径为 $\phi 10$ mm, 注射量为 5.1 cm³, 最大注射压力 200 MPa, 最大注射速度为 250 mm/s, 驱动方式为全电式伺服控制式驱动。

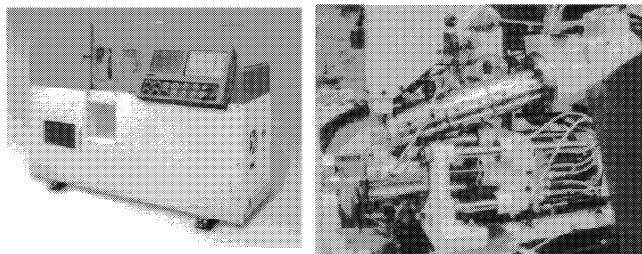


图 12 田瑞公司的 EPOCH SHOT 7 型微注射成型机及其微注射单元

Fig. 12 EPOCH SHOT 7 micro injection molding machine and micro injection unit from Tunshun Company of Japan

(2) 三段计量式: 塑化螺杆将塑料塑化并进行粗计量后, 送入第一段计量室, 由第一段计量柱塞计量后, 注射送入第二段计量室, 再由第二段计量柱塞作精密计量后进行注射。该型微注射成型机的代表机型有 Battenfeld 公司的 Microsystem50 和德国 Ferromatik Milacron 公司与亚琛大学 IKV 研究所合作改进的 FX25。

① Battenfeld 公司的 Microsystem 50, 如图 13 所示, 锁模力为 5 t, 塑化螺杆直径为 $\phi 14$ mm, 注射柱塞直径为 $\phi 5$ mm, 最大注射压力为 250 MPa, 最大注射速度为 760 mm/s, 驱动方式为全电式伺服控制驱动^[10]。

② 德国 Ferromatik Milacron 公司的 FX25, 其原型机为亚琛大学 IKV 研究所开发的微注射成型机, 如图

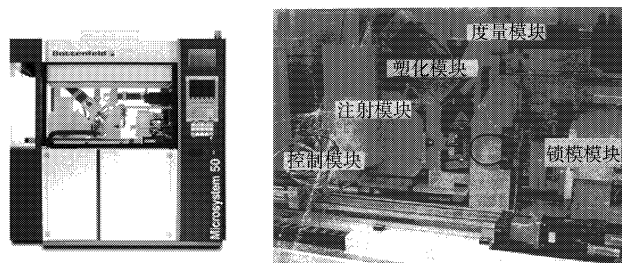


图 13 Battenfeld 公司的 Microsystem 50

Fig. 13 Microsystem 50 from Battenfeld Company

14 所示, 锁模力为 12.5 t, 塑料塑化由超声波塑化单元完成, 通过选择直径为 7 mm、9 mm 或 11 mm 的柱塞可得到 2.263 g、3.740 g 或 5.588 g 的注射量, 其计量柱塞直径为 $\phi 5$ mm, 驱动方式为电液复合伺服驱动式^[11, 12]。

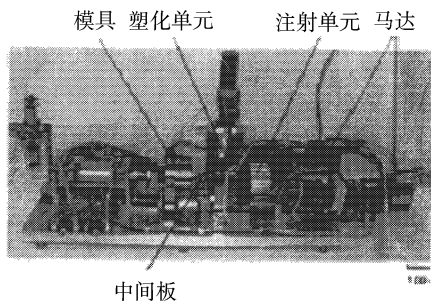


图 14 德国 Ferromatik Milacron 公司的 FX25 的原型机

Fig. 14 FX25 from Ferromatik Milacron Company of German

2.4 其他特殊形式

德国 Ettlinger 公司的注射机有一个同轴螺杆/柱塞复合式注射单元, 可以生产 0.1~5.0 g 的塑料零件, 该型机构的突出特点是采用直接注射成型, 通过特殊结构设计的针式喷嘴将热流道系统集成到注射机中, 使得微注射成型过程能够采用无流道模具, 节省了材料, 缩短了成型周期。

3 微注射成型机的发展趋势

微注射成型机是注射成型设备发展的一个新方向, 开创了微细结构零件和系统制造研究的新途径, 其突出优点就是能够实现高精度、高精细零件的大批量、低成本生产。对于螺杆式微注射成型机, 其塑化、计量和注射均由一组螺杆完成, 所以结构简单, 易于控制。其不足之处在于由于螺杆前端的止逆环结构, 使得设备对一次注射量的控制精度较差, 并且增加了材料在注射料筒中降解的几率, 影响零件成型质量的稳定性。对于柱塞式微注射成型机, 虽然其对注射量的控制精度较螺杆式高, 但是其塑化量小, 混料性能差, 材料的塑化品质较螺杆式差, 不利于成型表面质量和光学特性要求较高的零件。而螺杆柱塞混合式微注射成型

机, 则综合了柱塞式和螺杆式的优点, 以螺杆作为塑化单元, 柱塞作为计量和注射单元, 使微注射成型的控制精度和零件的成型品质均有明显提高, 但是通常其结构较为复杂, 控制和维护较柱塞式和螺杆式繁琐。

上述各种不同原理的微注射成型机有着不同的性能指标, 适合不同微细结构零件的需求。因此要根据具体的微细结构零件的成本、尺寸和质量等各方面因素综合考虑选择配置适当的微注射成型机。但是, 由于微注射成型技术是新兴的技术领域, 许多基础理论还不够完善, 微注射成型工艺也不够成熟, 还需要进一步探索和研究。同时, 随着机电一体化技术、计算机网络技术等相关技术的不断发展, 为微注射成型机的发展提供许多新思路和新方向。因此, 微注射成型机的进一步发展还面临着许多挑战, 主要表现在如下几方面:

(1) 驱动方式: 目前, 大多数微注射成型机采用高频高扭矩伺服电机配合高精度机械传动装置的方式实现微注射成型技术要求的精密计量和高速高压注射, 但是这种方式由于采用了机械传动装置, 存在传动间隙误差和机构累计变形误差, 影响了设备的精密控制和快速反应性。而采用直线电机驱动则存在推力较小和成本较高的问题, 目前仅有美国的 Medical Murray 公司和日本的 FANUC 公司采用了这种驱动方式。

(2) 塑化方式: 微注射成型机的塑化单元均采用螺杆式或柱塞式, 由于柱塞式塑化效果欠佳, 未成为当前发展的主流, 而螺杆式虽然塑化效果较好, 但是仍然存在着小尺寸螺杆加工难度大, 使用寿命有限和塑化时间较长等问题。因此, 新的环保高效的塑化方式还有待进一步的探索, 如超声波塑化、微波塑化及激光塑化等。目前德国 IKV 研究中心对注射成型机的超声波塑化方式进行了研究并取得了可喜的进展。

(3) 注射材料: 多数微注射成型机以聚合物作为注射对象, 而微注射成型技术所涵盖的成型范围不仅包括聚合物而且包括粉末喂料。由于粉末喂料与聚合物熔体在材料物性和工艺要求上存在较大差异, 因此随着微粉末注射成型技术的日益成熟, 针对粉末喂料的专用微注射成型机的研究有待进一步的深入。

(4) 产品性能测试: 微注射成型产品尺寸微小, 很少有合适的测试仪器能对产品的成型性能进行全面准确的测试, 而且测试效率也很低。而成型产品的性能是对成型机性能和稳定性的重要评价指标, 所以完善微注射成型机中产品性能检测模块的功能也是微注射成型机发展面临的主要挑战之一。

(5) 设备智能化: 当前微注射成型机主要担任产品

生产的角色,而随着计算机技术和机电一体化的发展,微注射成型机不仅要完成产品生产的任务,还要通过计算机将产品设计、计算机仿真分析、生产管理及客户服务等系统有效的整合,进行智能化的生产操作。

(6) 网络化: 随着计算机网络技术的发展,微注射成型机将发展具备网络通讯能力的控制系统和检测系统,使生产管理及控制网络化。通过微注射成型专家系统可以在线操作微注射成型机,对成型零件在线监视并自动调整成型工艺参数,提高零件成型精度和稳定性,并有效降低操作人员的技术依赖性,有利于多元生产及行销网点的掌控。

4 结论与展望

微注射成型机的发展建立在机电技术和注射成型技术的发展基础上,以微注射成型产品的需求为驱动力。从目前微注射成型机研究状态看,未来一段时间关于微注射成型的研究发展趋势可能体现在以下方面:

(1) 对设备的驱动方式进行进一步研究,开发高精度、高灵敏度和高推力、低成本的驱动设备和方式;

(2) 探索新的材料塑化方式,解决现有塑化方式带来的诸多问题,达到整洁、高效塑化注射材料的目的;

(3) 进一步完善新材料的微注射成型工艺研究,发展适用于多种成型材料的微注射成型机;

(4) 微注射成型机的高精度、高效率产品检测单元的探索,为微注射成型机提供可靠的性能测试和评价标准;

(5) 智能化和网络化微注射成型机的开发应用研究,使微注射成型机在计算机和网络的帮助下实现多元控制和远程在线控制生产。

综上所述,微注射成型机的研制发展历史并不长,但它是一个极具发展潜力的技术领域,开展这一领域的研究不仅可以带动传统注射成型技术的发展,同时也可以促进精细微结构制品的制造和应用。随着各国致力于微机电系统(MEMS)及精细 CAD/CAE/CAM 制品开发的力度不断加强,精细微结构制品的市场将持续增长,对精密微注射成型机的需求也会相应逐年

增加,微注射成型机在先进制造领域必将发挥日益重要的作用。

参考文献:

- [1] R. Ruprecht, T. Gietzelt, K. Muller, V. Piotter, J. Haubelt. Injection Molding of Microstructured Components from Plastics Melts and Ceramics[J]. Microsystem Technologies 2002 (8): 351 ~ 358.
- [2] R. Ruprecht, T. Benzler, T. Hanemann, K. Muller, J. Konys et al. Various Replication Techniques for Manufacturing Three-Dimensional Metal Microstructures[J]. Microsystem Technologies 1997, (4): 28 ~ 31.
- [3] H. Eberle. Micro-Injection Moulding Technology[J]. Kunststoffe Plastic Europe, 1998(2): 1 344 ~ 1 346.
- [4] 王琨玟. 浅谈超高速射出成型技术[J]. 机械工业(中国台湾), 2000, 107, (6): 106 ~ 113.
- [5] Volker Piotter, Thomas Hanemann, R Ruprecht, J Hausselt. Microinjection Moulding of Medical Device Components [C]. Business Briefing, Medical Device Manufacture & Technology, 2002: 63 ~ 66.
- [6] O. Rotting, W. Ropke, H. Becker, C. Garter. Polymer Micro fabrication Technology[J]. Microsystem Technologies 2002 (8): 32 ~ 36.
- [7] V. Piotter, W. Bauer, T. Benzler, A. Emde. Injection Molding of Components for Microsystems[J]. Microsystem Technologies 2001, (7): 99 ~ 102.
- [8] Mikell Knights. Mold Micro Parts Just One Pellet at a Time [J]. Plastics Technology, 2001, (11): 39.
- [9] Mikell Knights. Micro Molds Make Micro Parts[J]. Plastics Technology, 2002 (12): 38 ~ 47.
- [10] V. Piotter, Kmueller, Kplewa, R. Ruprecht, J. Hausselt. Performance and Simulation of Thermoplastics Micro Injection Molding[J]. Microsystem Technologies 2002 (8): 387 ~ 390.
- [11] W. Michaeli, A. Spennemann. A New Injection Molding Technology for Micro Parts[J]. Journal of Polymer Engineering, 2001, 20 (3): 87 ~ 98.
- [12] W. Michaeli, A. Spennemann, R. Gärtner. New Plastification Concepts for Micro Injection Moulding[J]. Microsystems Technologies 2002, (8): 55 ~ 57.

电话变更启事

接电话局通知,《中国塑料》杂志社电话号码更改如下:

编辑部: 原号码: 68905541 改为: 68985541 原号码: 68982231 改为: 68988065 原号码: 68982235 改为: 68988051
广告部: 原号码: 68905253 改为: 68985253 原号码: 68424051 改为: 68983106 原号码: 68457902 改为: 68987902
即日起请按新号码联系。

《中国塑料》杂志社 2004 年 9 月 26 日