微注射成型及模具

讲解：徐佩弦

机械、电子及医疗等产品的微型化

0.1mm　　亚毫米

0.001mm　　微米

微机械　微电动机、齿轮组、混流器、流体泵、、接插件、联接件(螺钉与螺母等)

微电子元件及器件　传感器、贮存器、生物芯片

微医疗器械　起博器、内窥镜、助听器、心脏泵

微型产品实例

- 微电机---直径1mm，12.5g
- 微减速器—直径2mm，太阳轮周围3~4行星轮，模数m=0.1~0.2，传动比4左右
- 微型泵---直径4mm，12.6ml/min
- 微汽车---2*2*3mm
- 微摄像飞机---100mm翼展，机长18mm

微注射成型

聚合物微注射成形

Polymermicro-injection molding

粉末微注射成形

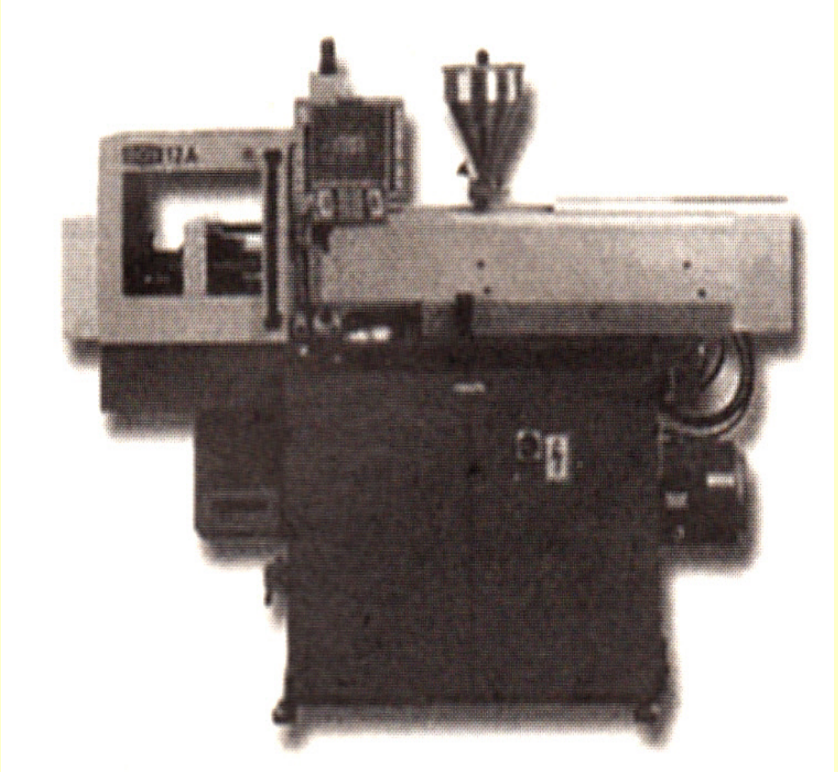
Powder microinjection molding

工艺----注射机----模具

材料----成形原理----制品性能

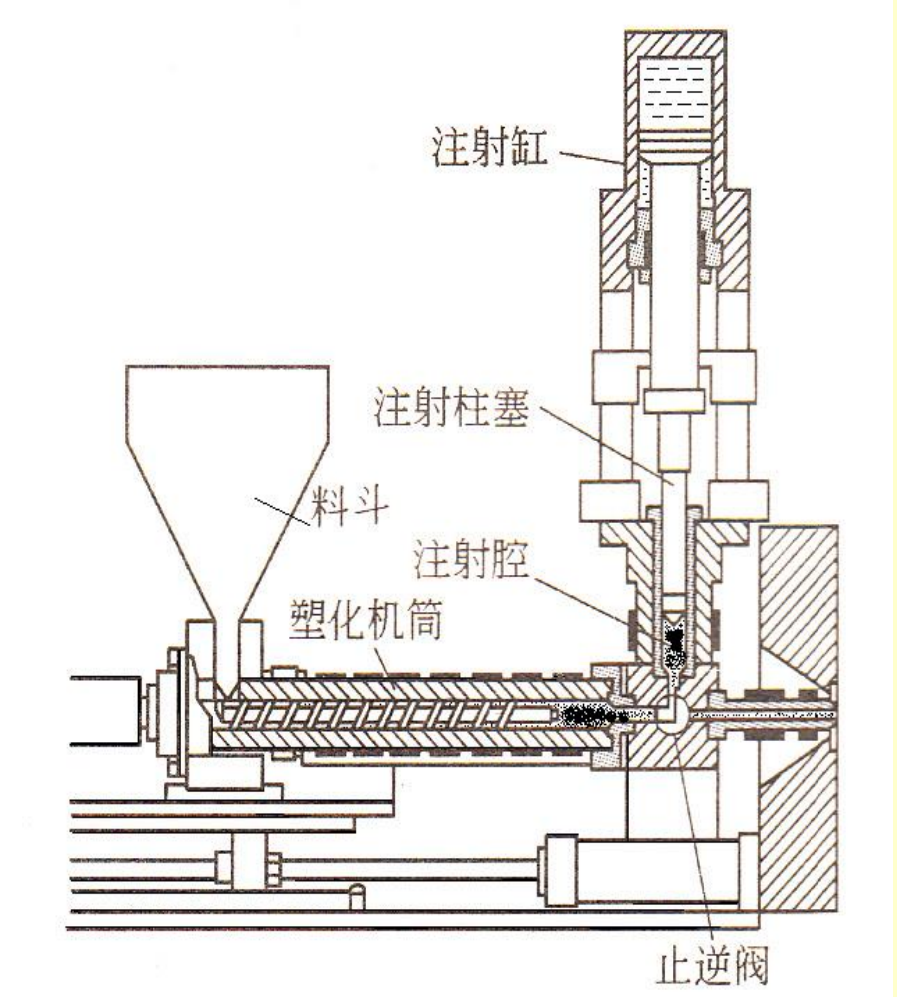
微注射成型机

- 螺杆(或柱塞)直径—10~20mm
- 注射量—10g(10cm³)以下
- 驱动—高频高扭矩伺服电机；液压注射；直线电机注射



微注射成型机—注射塑化方式

- 单柱塞
- 单螺杆
- 螺杆塑化，柱塞注射—二次计量



现有微注射成形机及其参数

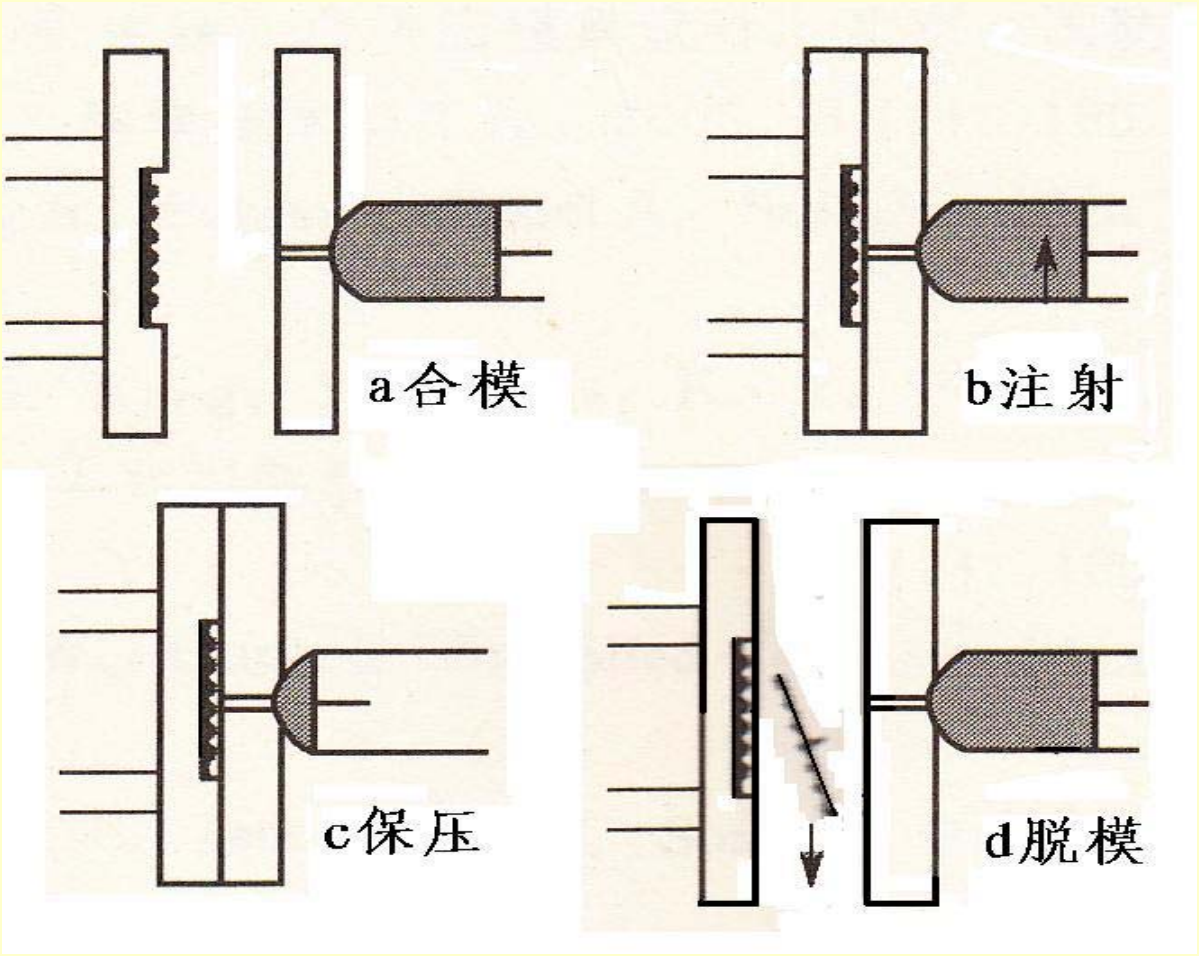
厂　商	型　号	合模力/kN	最大注射量/cm^3	最大注射压力/bar	塑化单元螺杆或柱塞直径	最大注射速度/$mm \cdot s^{-1}$
Lawton	Sesame Nanomolder	13.6	0.0082	3500	10mm 柱塞	1200
APM	SM-5EJ	50	1	2450	14mm 螺杆	800
Battenfeld	Microsystem 50	56	1.1	2500	14mm 螺杆	760
Nissei	AU3	30	3.1	—	14mm 螺杆	—
Babyplast	Babyplast 6/10	62.5	4	2650	10mm 柱塞	—
Sodick	TR05EH	49	4.5	1970	14mm 螺杆	300
Rondol	High Force5	50	4.5	1600	20mm 螺杆	—
Boy	12/AM 129-11	129	4.5	2450	12mm 螺杆	—
Toshiba	EC5-01. A	50	6	2000	14mm 螺杆	150
Fanuc	Roboshot S2000-15A	50	6	2000	14mm 螺杆	300
Sumimoto	SE7M	69	6.2	1960	14mm 螺杆	300
Milacron	Si-B17A	147	6.2	2452	14mm 螺杆	—
MCP	12/90HSE	90	7	1728	16mm 螺杆	100
Nissei	EP5 Real Mini	49	8	1960	16mm 螺杆	250
Toshiba	NP7	69	10	2270	16mm 螺杆	180
中国台湾震雄		50			14mm 螺杆	

注：1bar=10^5Pa

微注射成型机

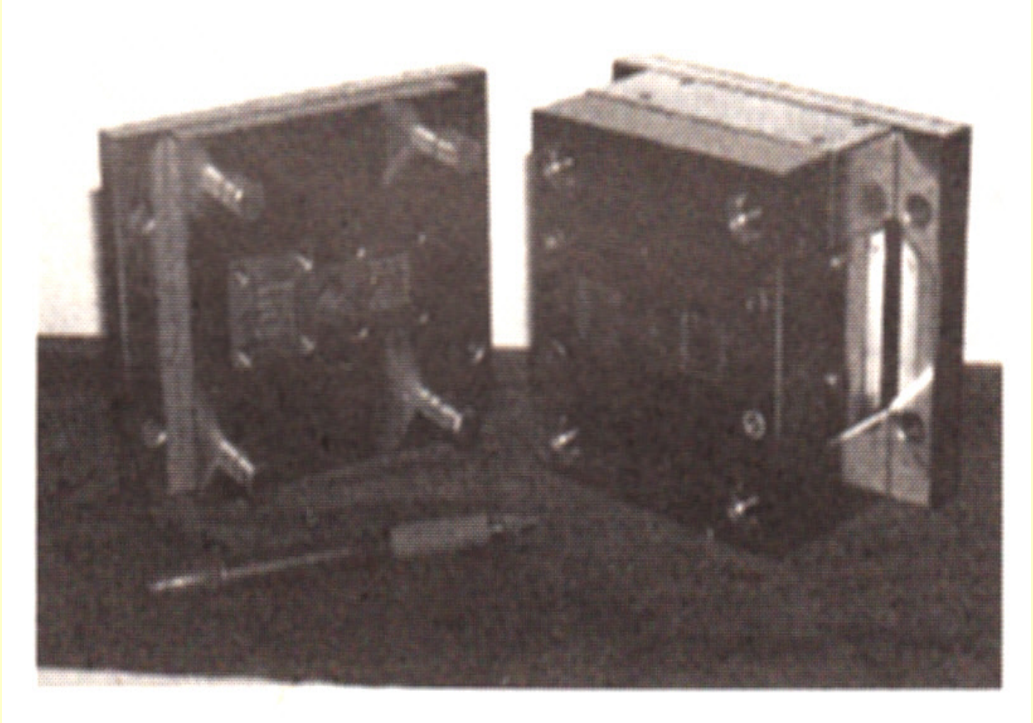
- 高注射速率---220mm/s~800mm/s，充分利用聚合物熔体剪切变稀的性能。
- 精密计量—推进0.01mm计，精确到0.001g(微克)。
- 高的注射压力---　大于>200MPa
- 相应的合模力---30~150kN(最大3t)

微注射成型工艺及模具特征



微注射成型工艺及模具特征 ---微小流道和型腔间隙

- 尺寸小,精度高
- 小模架+镶拚结构,
- 75mm*75mm*高min70mm

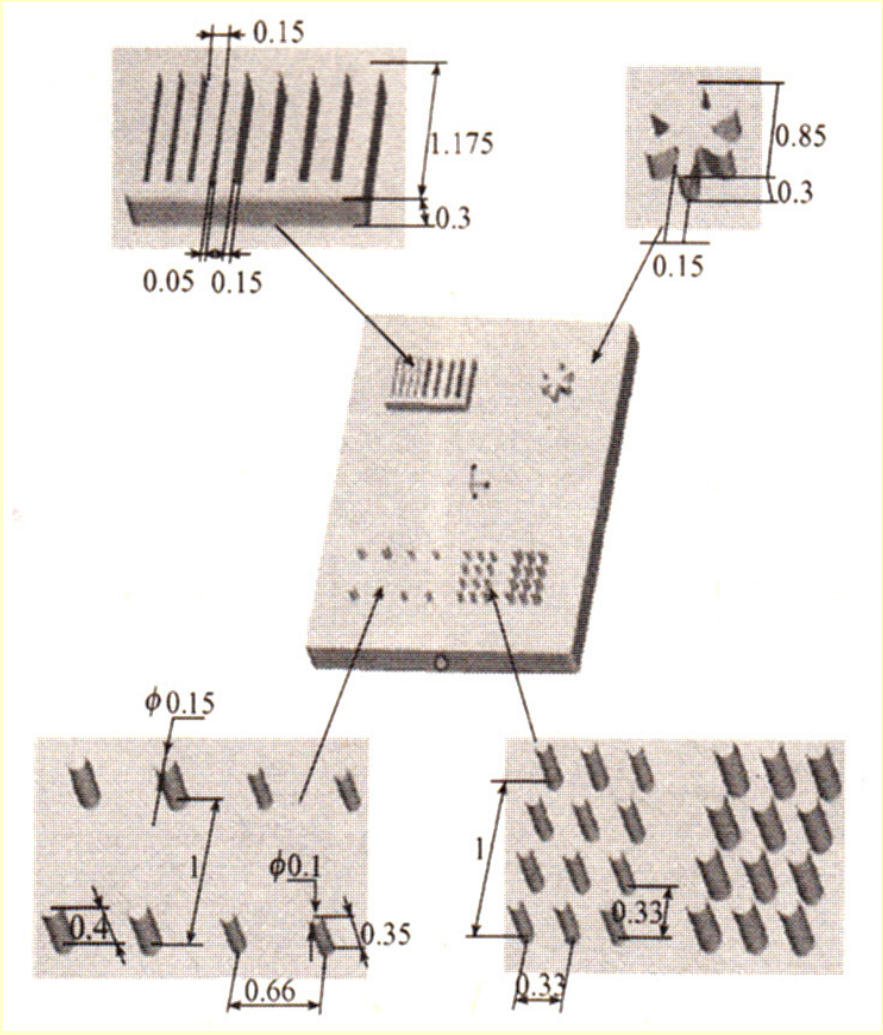


- 要求塑料熔体黏度低，流动性好
- 提高注射剪切速率，升高熔体温度不可行

微注射成型工艺及模具特征
---微小流道和型腔间隙

- 光纤连接器---壁厚0.02mm—PMMA
- 细胞培养窒---壁厚0.35mm—PC
- 微齿轮---壁厚0.05mm—PA
- 微孔纤维---壁厚0.05mm—POM
- 流体装置罩---壁厚0.27mm—PSU
- 微泵外壳---壁厚0.27mm—PEEK
- 微电子元件---壁厚0.27mm—LCP
- 微传动装置---壁厚0.02mm—PE
- 微电阀外壳---壁厚0.05mm—PMMA

- 右图—片条—齿轮—微透镜圆柱阵列---基板0.8mm左右，圆柱直径0.06、0.09、0.11、0.13mm，高度0.25~0.35mm，材料PMMA、PC和PS等。此微光学零件用在平板显示器、探测器阵列、光学连接和生物医疗测试等

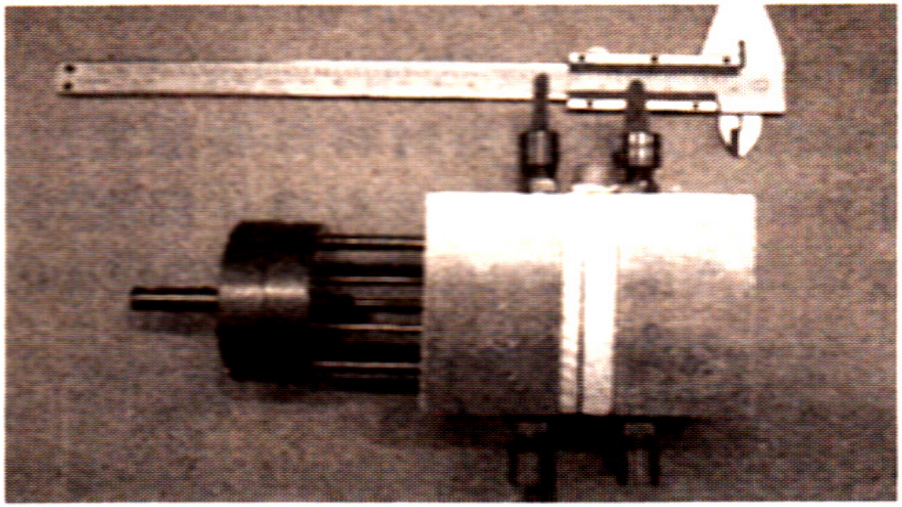


微注射成型工艺及模具特征
---快速的模具温度调节系统

温度控制
±1℃→±0.1℃

保压前电热或蒸汽加热、油热

保压后水冷或液氮冷却



快速的模具温度调节系统的变温---1#

- 电热+水冷
- 电热管插入
- 水管冷却，水温低0℃~10℃
- 实现方便，加热速度快
- 整个模具被加热，能源利用差
- 冷却时间长，模壁温度不均匀

快速的模具温度调节系统的变温—2#

- 感应加热+水冷
- 开模时，用机械手将感应线圈置于动模和定模的分型面上
- 控制交流电的频率、线圈放置距离和时间，达到模具温度后移去线圈
- 加热模具温度应在聚合物的玻璃化转变温度之上
- 外置线圈不改变模具结构。电磁感应的集肤效应，加热快，效率高
- 电磁感应装置和机械手的投资大，产生的电磁场对周边的装备有影响

快速的模具温度调节系统的变温—3#

- 压缩热空气+水冷
- 热空气压入密闭模具型腔加热，然后利用原通道抽真空
- 容易实现，但传热效率低下，能量损耗大
- 据报道:用表面处理方法，加工复合模壁。模壁由高导热表层+低导热(绝热)里层

快速的模具温度调节系统的变温—4#

- 红外线灯照加热
- 据报道:薄膜电阻加热---用表面处理方法，加工复合模壁。由绝缘表层+导电(电阻发热铜合金)里层组成模壁

微注射成型工艺及模具特征
---注射前闭合模具的型腔抽真空

- 残留空气会导致塑料熔体填充不足，制品表面粗糙，甚至烧蚀
- 提高熔料注射流动速率，保证得到完整的细微结构

微注射成型工艺及模具特征
---常用吸附式脱模方式

- 微小制品在脱模顶出时容易变形
- 脱模机构的空间位置布局困难
- 要求塑料制品材料的刚性好，粘着摩擦系数小，脱模容易
- 用真空吸咐，吸取制件

微注射模具的制造
---细微的电火花成型和电火花线切割
---激光束加工

- 用电极损耗小的钨铜合金做电极
- 用组合电极多工位，数次电蚀模具镶块

- 慢走丝的电极丝直径0.25mm~0.025mm

- 激光能加工0.1mm孔径，孔深是孔深的10倍
- 用激光切割和焊接，可以加工镶块上微小凸起

微注射模具的制造
---微铣削加工

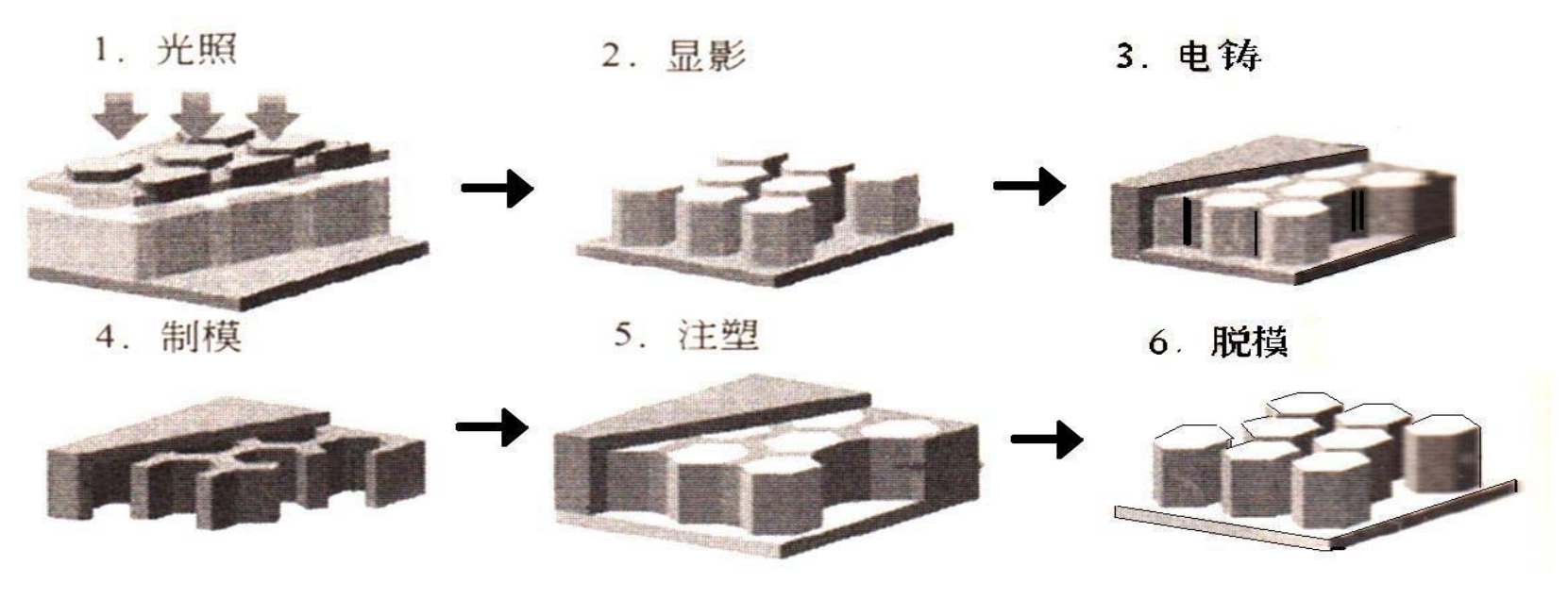
- 刀具—亚毫米直径的硬质合金或金刚石铣刀
- 主轴---每分钟数万转→15万转。五轴数控联动
- 加工—镶块上的微凸起，如宽0.1mm，高0.1mm.又如宽0.05mm，高0.04mm，
- 微凸起镶块模具用来加工**微流控芯片**(Microfluid chip)---由微通道形成网络，让各种化学或生物流体流过。用硅、玻璃或聚合物做芯片

微注射模具的制造
---ICP硅刻蚀

- 在硅片基体上物理和化学作用结合刻蚀
- 用等离子体刻蚀
- 如在0.5mm硅片止蚀刻0.06mm和0.09mm孔径，深0.25mm的盲孔---成型微透镜圆柱阵列

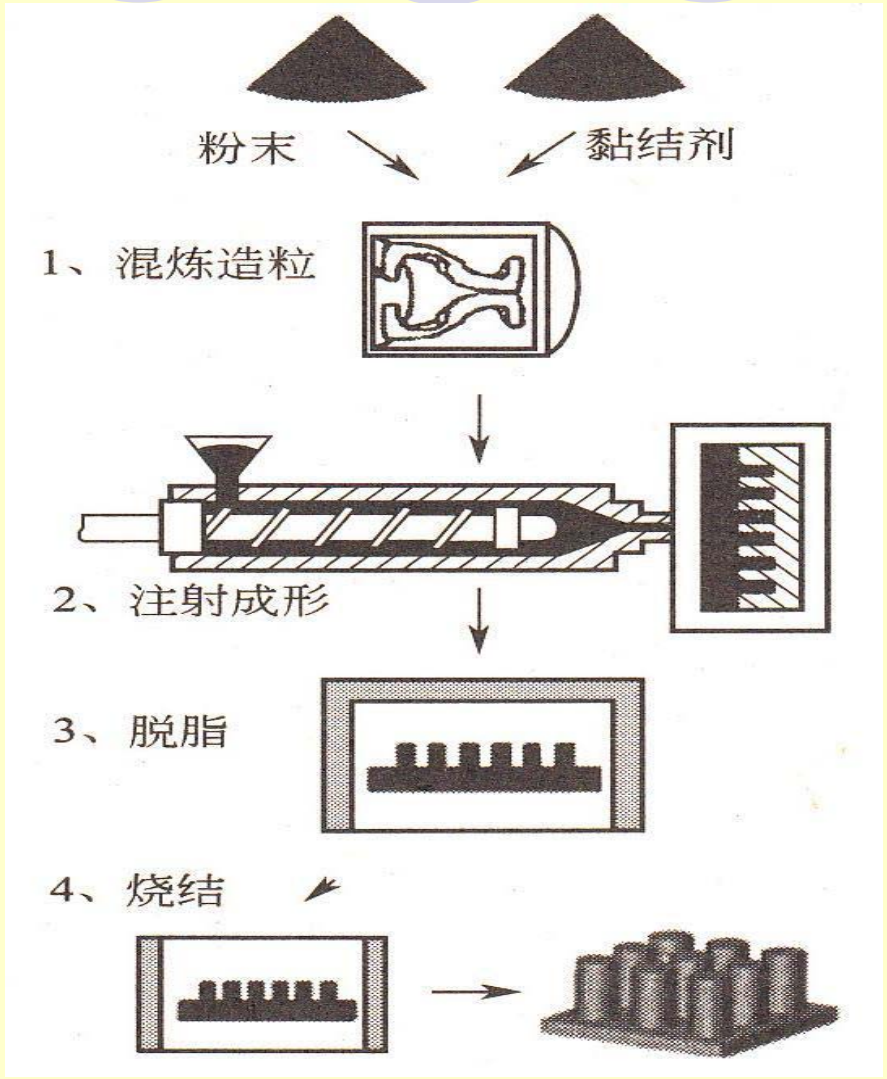
微注射模具的制造--LIGA加工，射线蚀刻、电铸成型、注射复制

- 光源---X射线→紫外光(UV)→激光(Laser)
- 掩模板—Au金板→.Cr铬板
- 光刻胶—聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)→聚酰亚胺
- 电铸含镍(Ni-Fe)合金
- 刻深1~3mm，深宽比小于1:(30~100)



粉末微注射成型 μMIP---工艺过程

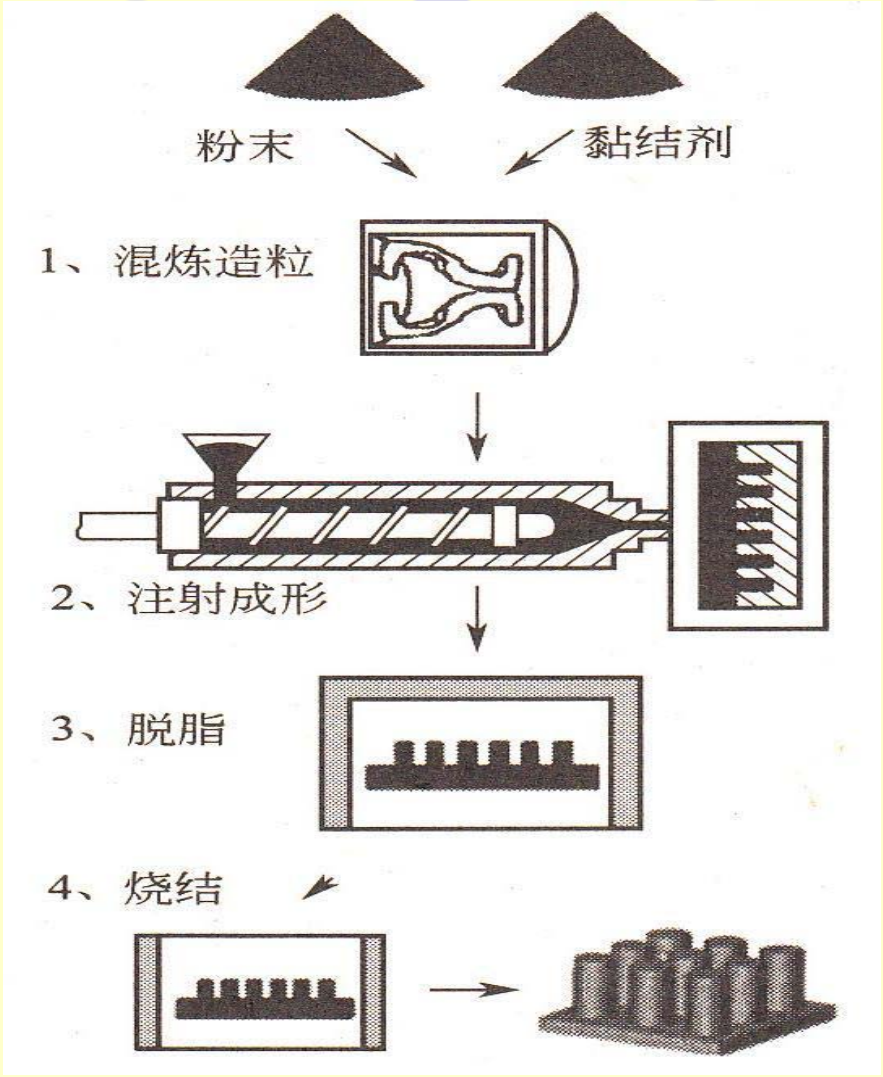
- **1.混炼造粒**
- 金属或陶瓷等粉末预混+有机黏结剂制备→真空下均匀混炼→造粒
- 粉末<0.01mm，平均<0.005mm
- **2.注射成型**
- 在螺杆式注射机上加热加压→黏流态注入模具固化成型
- 螺杆的压缩段渐变，长度占全长40%
- 螺杆等零件要耐磨并耐腐蚀
- 用螺杆+柱塞组合的微型注射机



粉末微注射成型 μPIM---工艺过程

- **3.脱脂**
- 用热分解或化学方法，将成型坯中30%~50%黏结剂去除
- 热脱脂—黏结剂蒸发分解
- 溶剂脱脂—溶剂将可溶性组元萃取排出
- 催化脱脂—用气体催化，将黏结剂分解排除

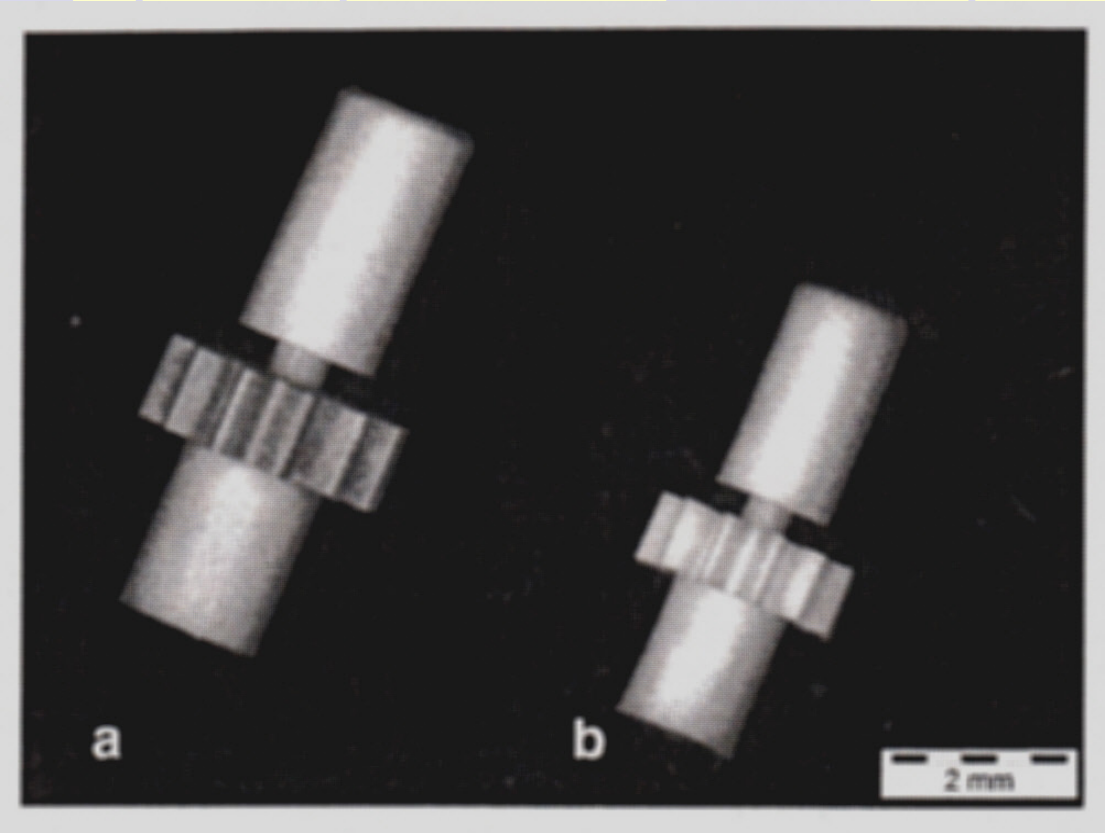
- **4.烧结**
- 烧结前只有60%的目标密度
- 消除40%的孔隙有难度



μMIP与粉末冶金比较，与MIP比较

- **粉末冶金—**生产硬质合金刀具，加压烧结，材质不均匀，零件形状简单
- **粉末注射成型MIP** –已是流水线生产—铁氧体磁棒或磁芯—氧化锆陶瓷手表壳
- **μMIP加工**
- 对粉末要求细化，对不锈钢和金属细化有困难
- 模具成型零件制造困难，成型模具需加热
- 黏结剂配制困难，要求物料的流动性好，在烧结时制品的收缩要小

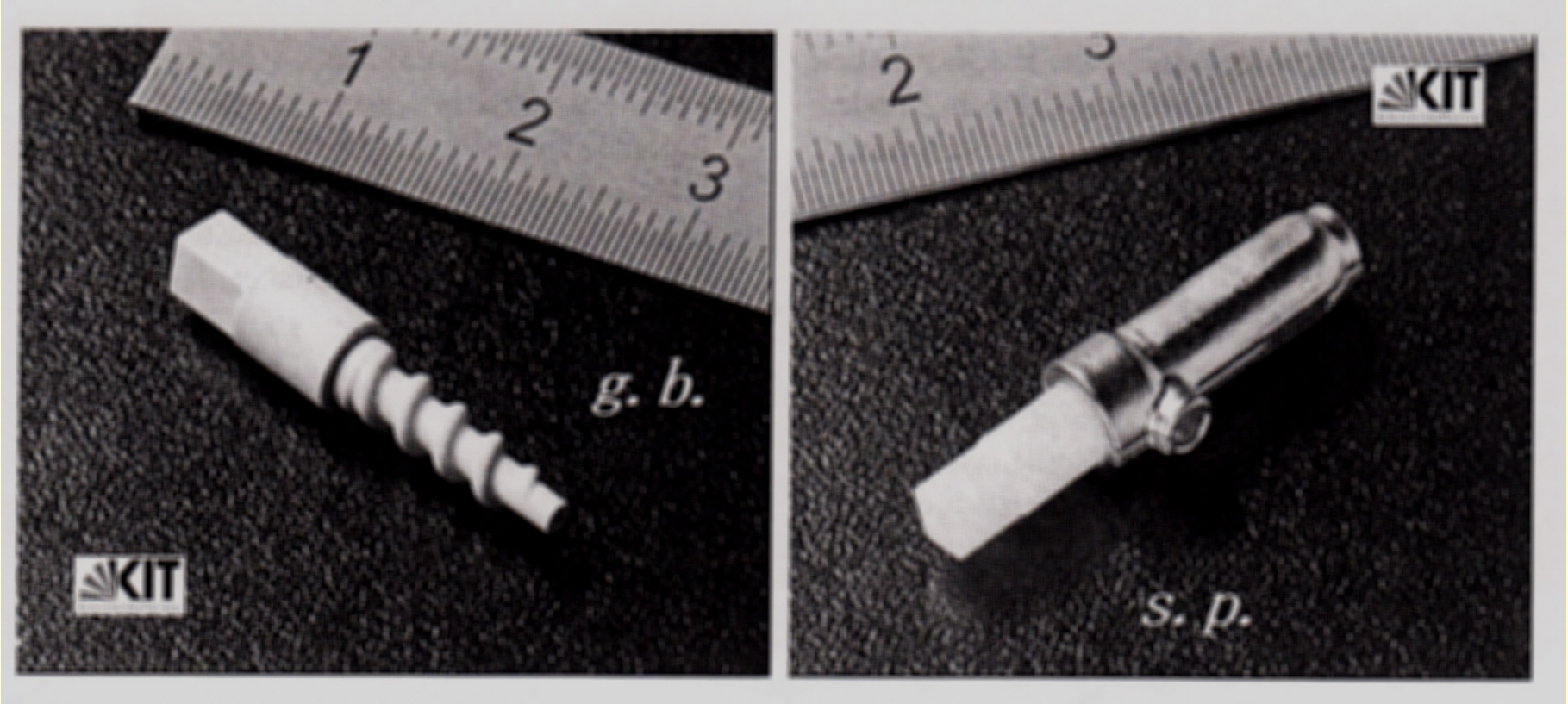
粉末微注射成型制品



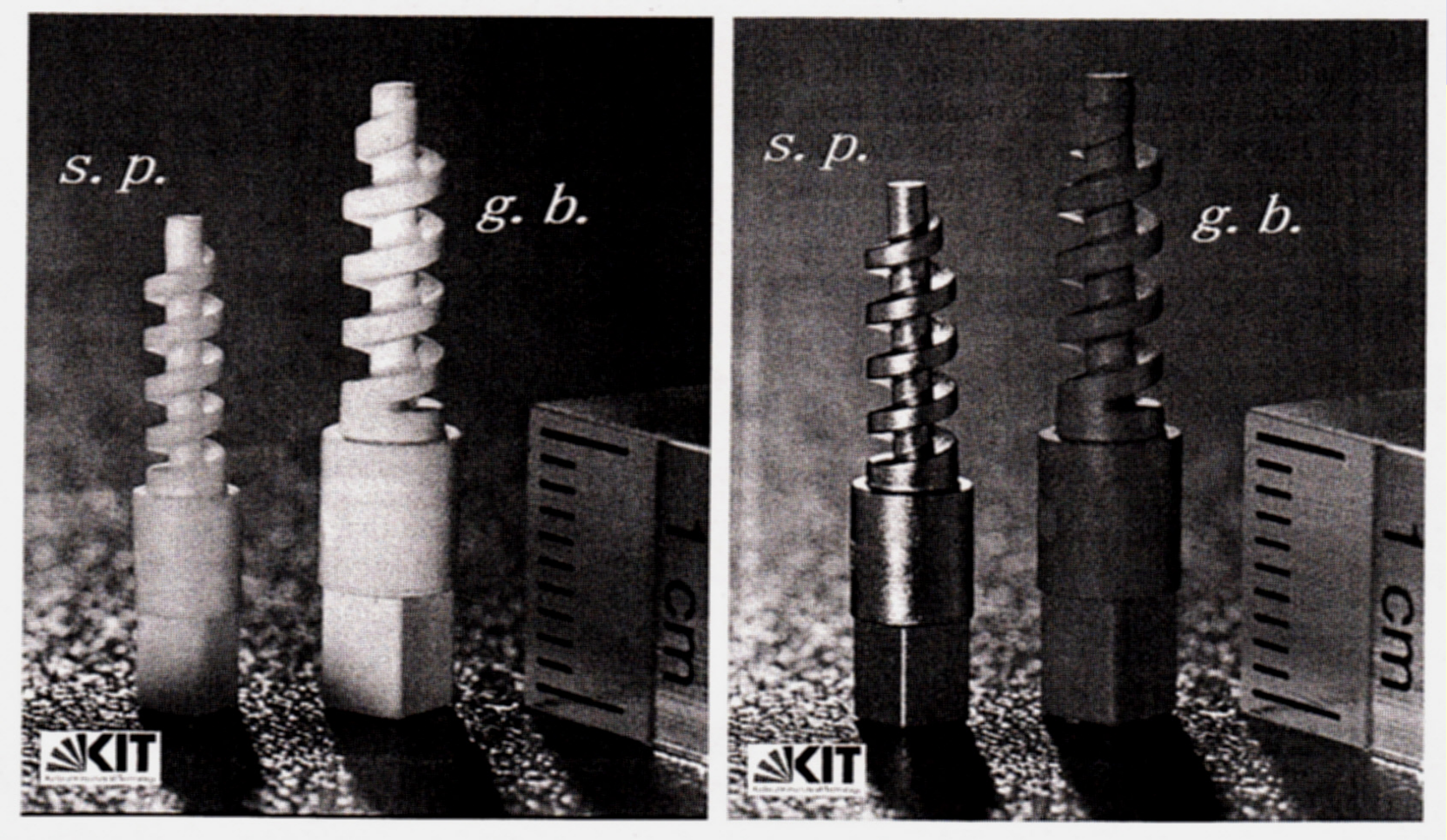
- 摘自:Microsyst Technol(2011)17:1552
- ZrO_2齿轮套和Al_2O_3轴的烧结连结
- 左a:生坯，右b:烧结制品

粉末微注射成型制品

- 摘自:Microsyst Technol(2011)17::254
- ZrO_2螺杆装在不锈钢壳体里的disperser排液泵产品



粉末微注射成型制品



- 摘自:Microsyst Technol(2011)17:255
- 左图为ZrO_2陶瓷螺杆，右图为不锈钢螺杆。g.b为生坯，s.p为成品
- 烧结后有很大收缩，模具有旋转脱模机构

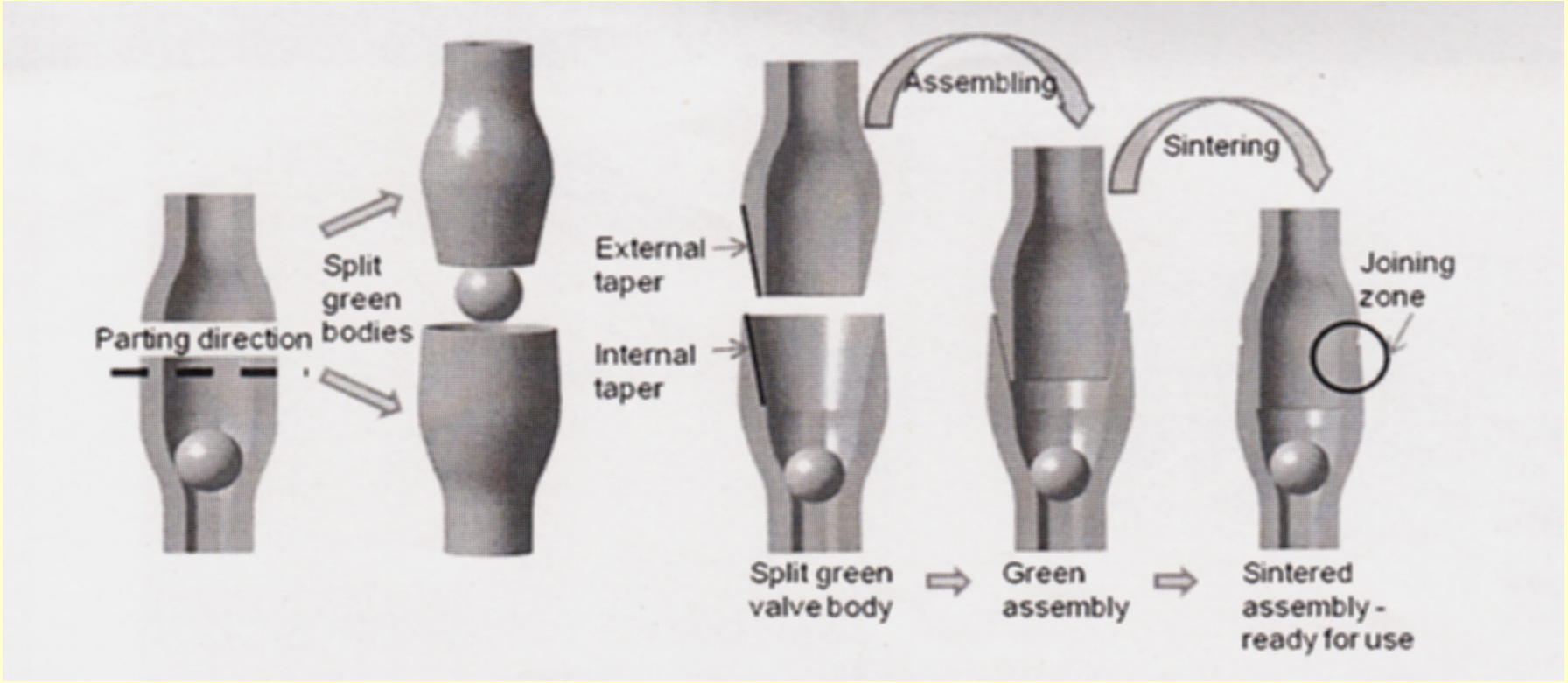
粉末微注射成型工艺和模具

- 粉末微注射成型是工艺中的中间工序，制品是坯体。还要经过脱脂和烧结。注射工艺参量要对于各种成型材料和黏结剂，经大量试射和对最终制件质量确定最佳参量。
- 为保证制件质量，粉末微注射成型时在注射前模具须加热，要快速变温。密闭的型腔抽真空后才能注射充填。
- 在脱模起始时刻，坯体的细微转折部位常会断裂，是经常遇到难题。原因是坯体未经烧结强刚度差。实验研究后改进方法:增加黏结剂含量；提高模具成型面的质量，改善粗糙度；从材质和型腔压力减小粘着摩擦系数。

粉末微注射成型工艺和模具

- 粉末微注射成型零件尺寸小于1mm。坯体的脱脂时间减少。黏结剂须有足够强度保证脱模，又在脱脂过程中维持零件外形。并在烧结过程中保证均匀收缩。
- 模具成型零件还是用前述ICP硅刻蚀，在1.5mm厚硅片上蚀刻细微型腔。还有LIGA加工，即射线蚀刻、电铸成型方法。

粉末微注射成型坯体，可以利用烧接过程实现两零件的连接。能叠放在一起在无压力条件下共同脱粘和烧结，是微机电产品的零件连接的途径。



- 摘自:Microsyst Technol(2011)17:1554
- 3mm外径，2mm内径，流体单向阀的烧结连接装配

详见下面专著和期刊.

- [1] 张凯锋编著.微成形制造技术. 北京:化学工业出版社,2008年9月
- [2] 杨卫民等编著.注射成型新技术. 北京:化学工业出版社,2008年3月
- [3]上海图书馆.英文期刊号:TP2/15896:
  Microsystem Technologies.(德国)

谢谢!

请联系

021-64536951

xupeixian@online.sh.cn

徐佩弦