



薄壁注塑成型技术在消费电子产品上的 整合应用和发展趋势 (60分钟)

The Integrated Applications and Development Trend of Thin-wall Plastic Injection Molding in Consumer Electronics Products

徐 昌 煜

Charles Hsu

2012年8月16日

第七届塑料技术在消费电子产品中的应用研讨会

上海淳大万丽大酒店

前言

对于可携式电子产品而言，薄壁使得重量变轻、尺寸减小。对固定式电子产品而言，薄壁使得用料减少、循环时间缩短，因而生产力提高。

消费电子市场对于更小、更轻、更紧密的产品需求成长快速，使得高功能的薄壁设计变得必要-这一要求对于材料商、制品和模具设计工程师、模具厂、成型厂以及成型机暨附属设备制造厂都是一大挑战。



薄壁注塑成型技术

Thin-wall Plastic Injection Molding Technology

为了提高性价比以及节能减排，超薄型笔记本电脑(Ultrabook)将笔记本电脑的塑料外壳壁厚从1.5~1.8mm减到1.0~1.1mm，甚至要减到0.8mm，家电产品的塑件壁厚也准备从2.5~3mm打薄到2.0~2.3mm。

壁厚减薄的同时，不仅要顾及产品的结构强度，还要兼顾各种表面装饰的完美呈现，相关的薄壁注塑成型技术主要有三：**1. 优化结构设计、 2. 避免塑料降解、 3. 减少残余应力**。

对于上述三项技术的充分理解与正确应用是消费电子产品薄壁化的成功关键，自然是心之所系及大势所趋。

优化结构设计

结构设计的优化

薄壁化的塑件可藉补强件(stiffeners)的强化以维持、甚至增加制品的强度与刚度。补强件包括肋(ribs)、角板(gussets)和螺柱(bosses)等。

补强件加厚可以增加制品的强度与刚度，但是很可能会产生外观上不能接受的缩痕(sink mark)等缺陷，这就要靠工艺的手段消除之。

采用的工艺手段包括高速高压注射成型、气辅注射成型(gas-assisted injection molding)、超临界流体微发泡注射成型(super critical fluid microcellular injection molding)等。

挠曲刚度

Flexural Rigidity

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{EI}$$

Where

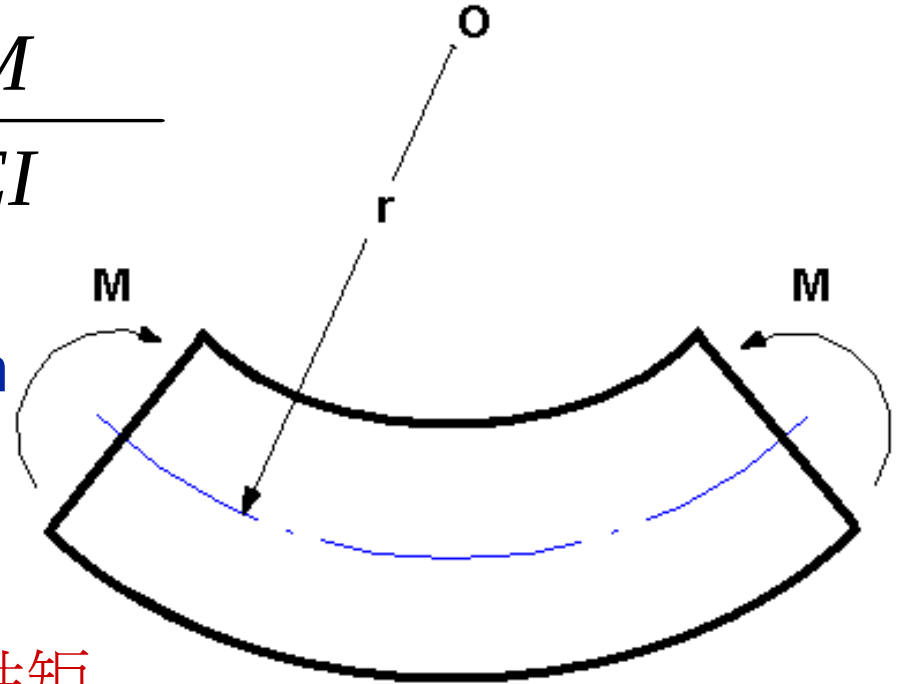
1/r : 梁的曲率
curvature of the beam

M : 弯曲力矩
bending moment

E : 弹性模量
modulus of elasticity

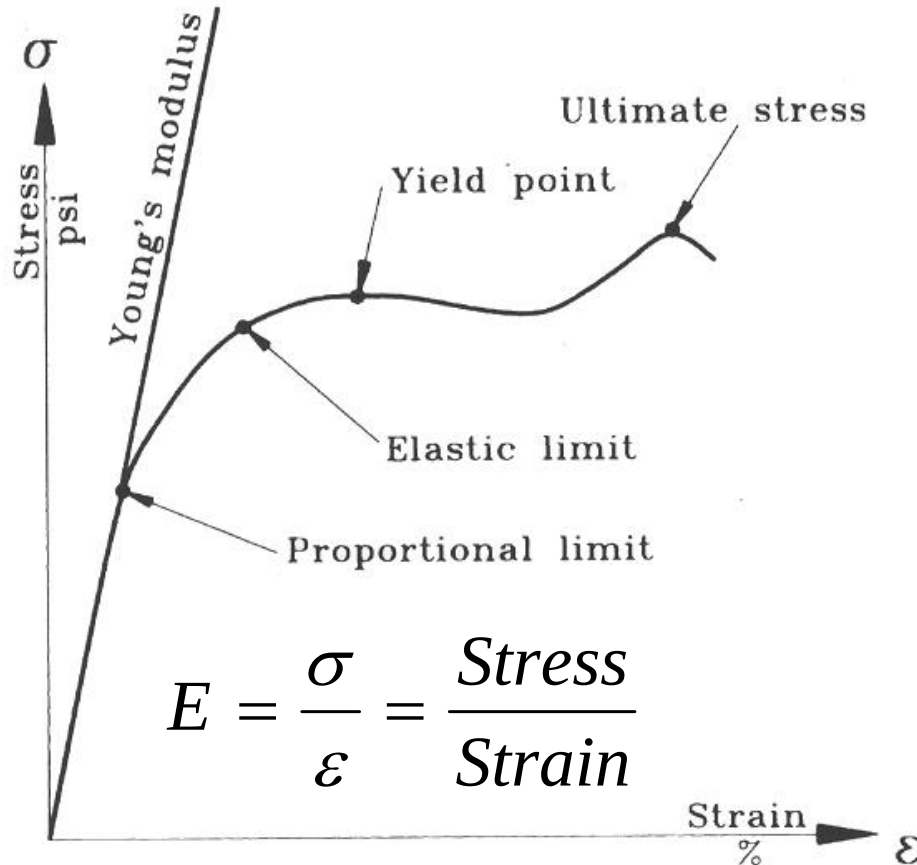
I : 断面积对中立轴的惯性矩
moment of inertia of the cross- sectional area with respect to the neutral axis

EI : 挠曲刚度 flexural rigidity



弹性模量 E

Modulus of Elasticity, E



任一材料在弹性范围内，遵循虎克定律，此一比值为一常数，称为弹性模量，可以MPa量之。

The ratio between stress and strain is constant, obeying Hooke's Law, within the elasticity range of any material. This ratio is called modulus of elasticity and is measured in MPa.

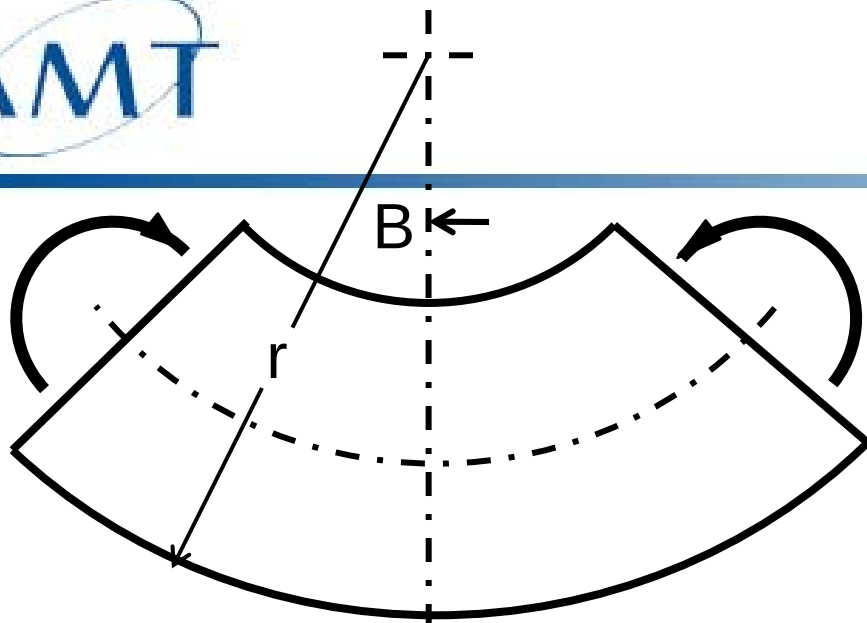


弹性模量 E

Modulus of Elasticity, E

	E or (E1, E2), GPa
PP	1.700
ABS	2.600
PC	2.800
PA66	2.963
PP-GF30	(4.200, 2.500)
PC-GF30	(7.000, 4.500)
PA66-GF30	(7.012, 4.592)
Mg Alloy	45
Steel	200

(E1, E2) are the moduli of elasticity along the flow and across flow directions, respectively. **先進成型技術**
AMTechnology



$$\sigma_x = \frac{M y}{I}$$

$$I = \int_A y^2 dA$$

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{E I}$$

where

E : modulus of elasticity 弹性模量

EI : flexural rigidity of the beam

梁之弯曲刚度

where

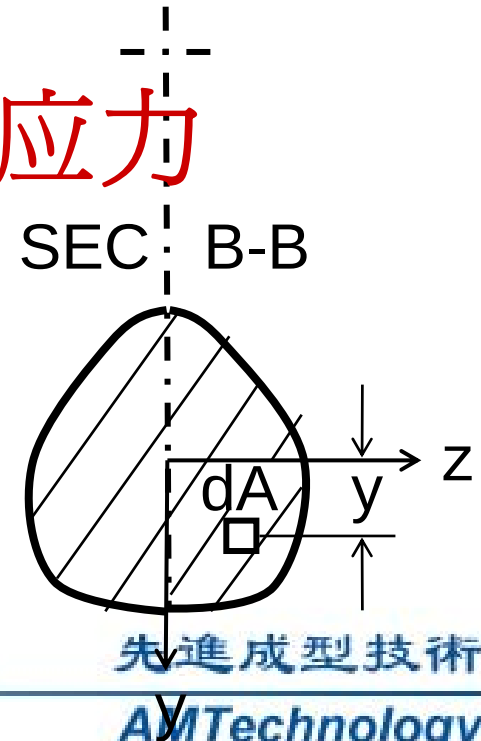
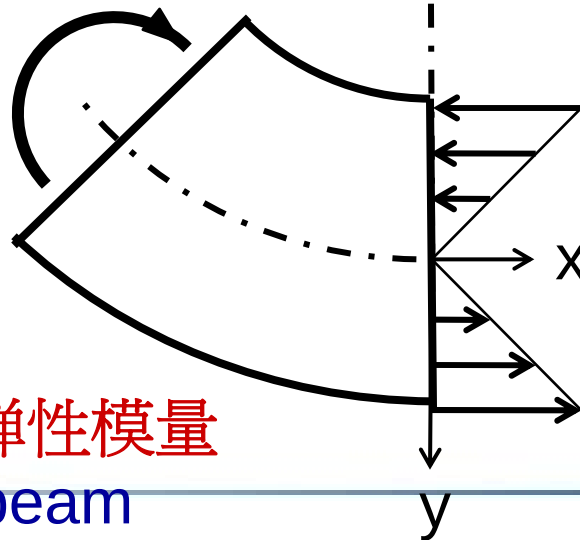
σ_x : bending stress in the x direction x方向弯曲应力

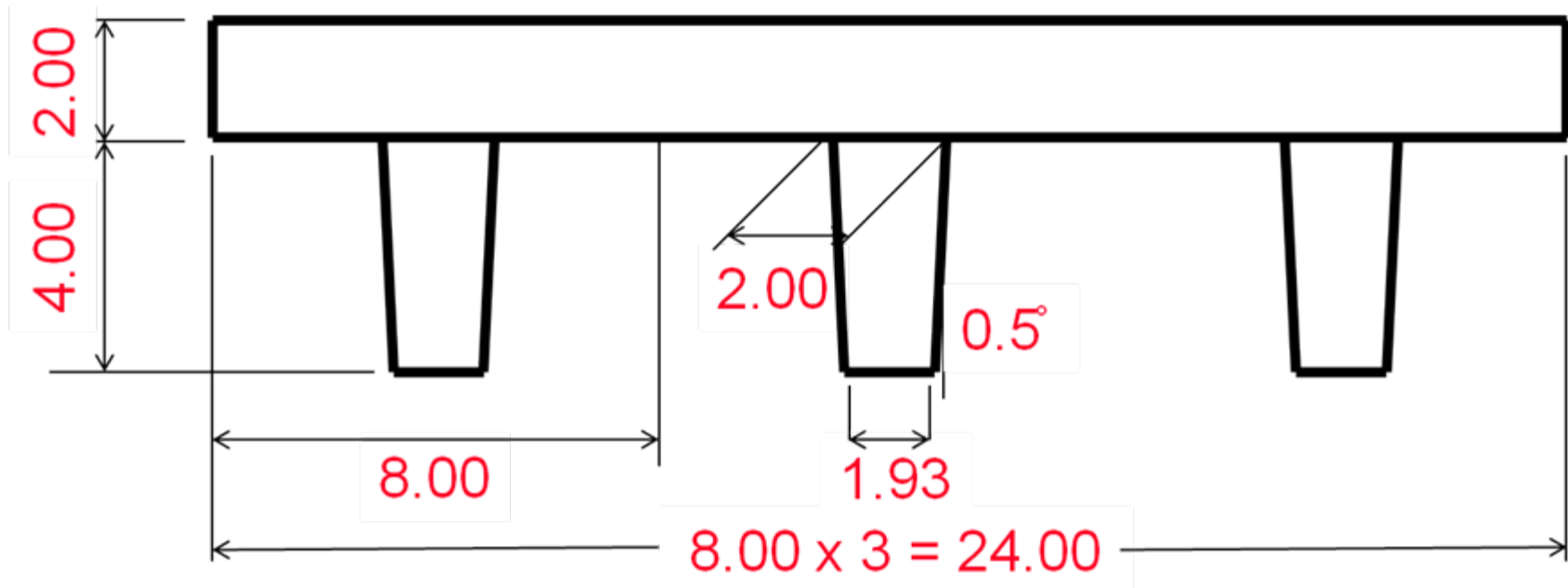
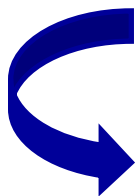
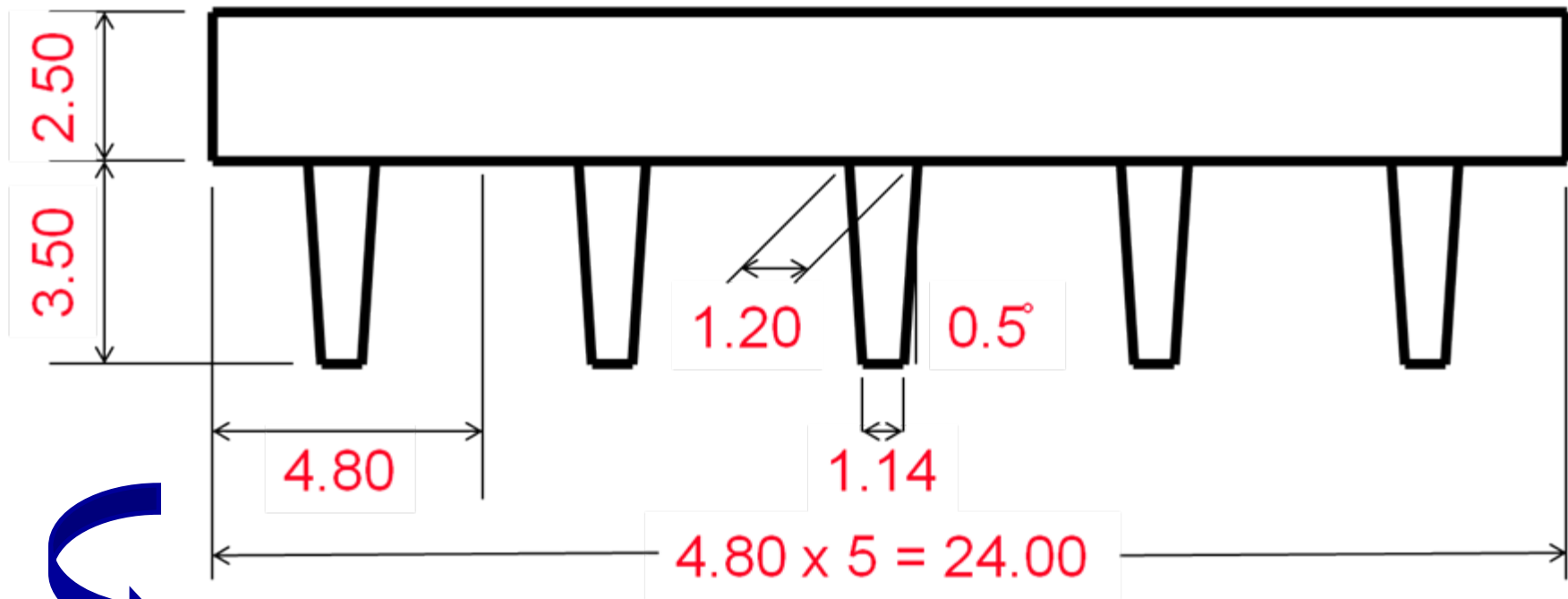
M : bending moment 弯曲力矩

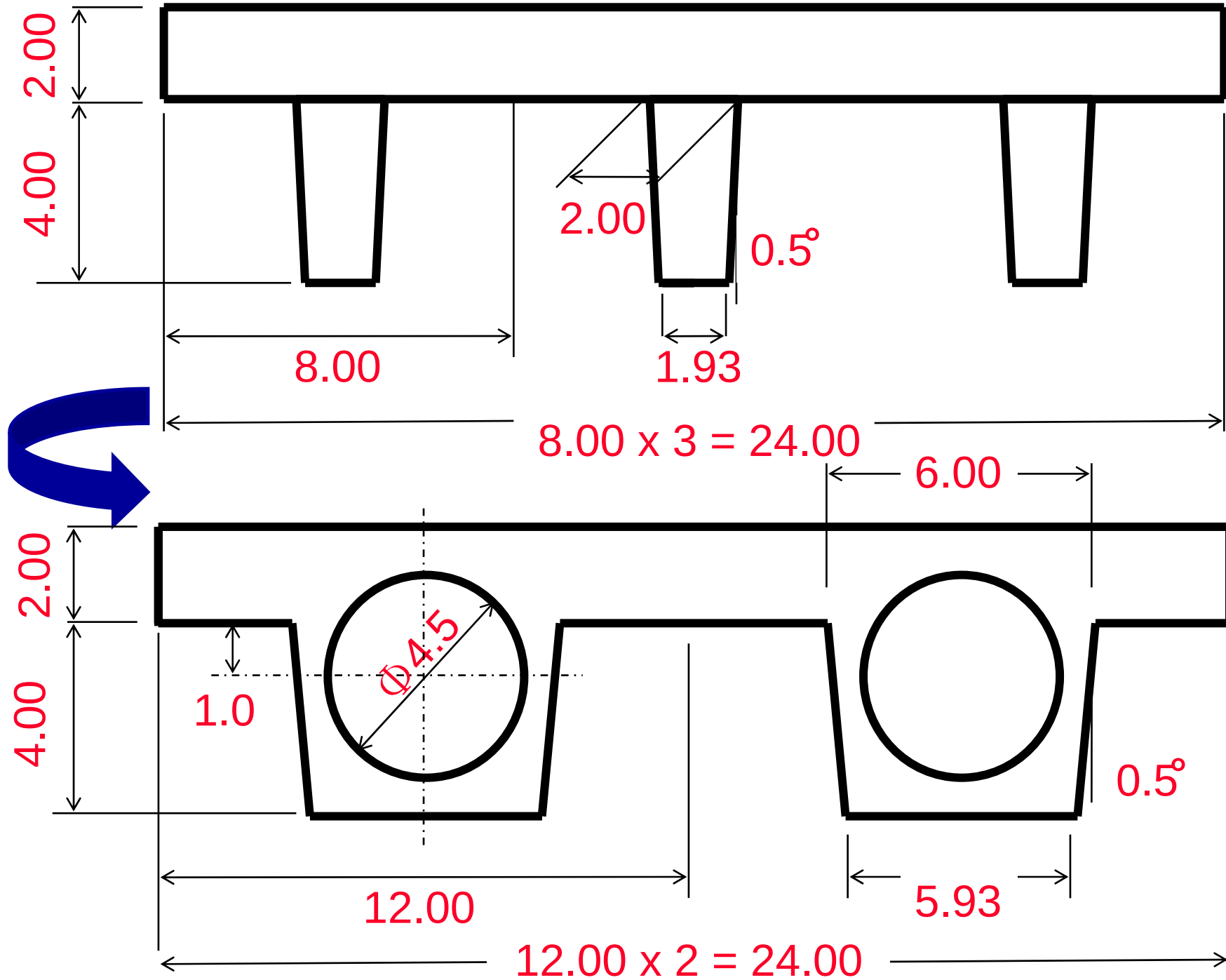
I : moment of inertia of A with respect to z axis 惯性力矩

A : cross-sectional area 断面积
(断面线处)

弯曲应力







	I (mm ⁴)	A (mm ²)	W (%)	IE/A (kgf)	IE/W (%)	T _{max} (mm)
2.5 ^t plate +5x1.2 ^t rib	188.75	80.5	100	2.34E	100	2.5
2.0 ^t plate +3x2.0 ^t rib	188.81 (*EGM)	71.58	89 (*87)	2.64E	113 (*116)	2.0
2.0 ^t plate +3x2.0 ^t rib (MuCell,10	203.78 %wt.rd)	64.42 (=71.58 x 0.9)	80 (=89 x 0.9)	2.84E (=3.16 E x0.9)	121 (=135 x 0.9)	2.0
2.0 ^t plate +2x6 ^t rib	242.62 (GAIM)	63.92	79.4	3.80E	162	2.0

where

I : moment of inertia of A with respect to z axis 慣性力矩

A : cross-sectional area 断面积

W : material weight 用料重量

E : modulus of elasticity 弹性模量

2.5mm壁厚打薄到2.0mm的效益

和肋厚1.2mm的2.5mm厚平板比，肋厚2.00mm的2.00mm厚平板只需89%/*87%的材料(减料或减重11%/*13%)，比弯曲刚度(specific flexural rigidity或IE/W却增加到1.13/*1.16倍。产品的最大厚度减到原来的4/5，冷却时间缩短36%，周期时间缩短约29%(=36%x0.8)。(标*者是采用EGM工艺之数)

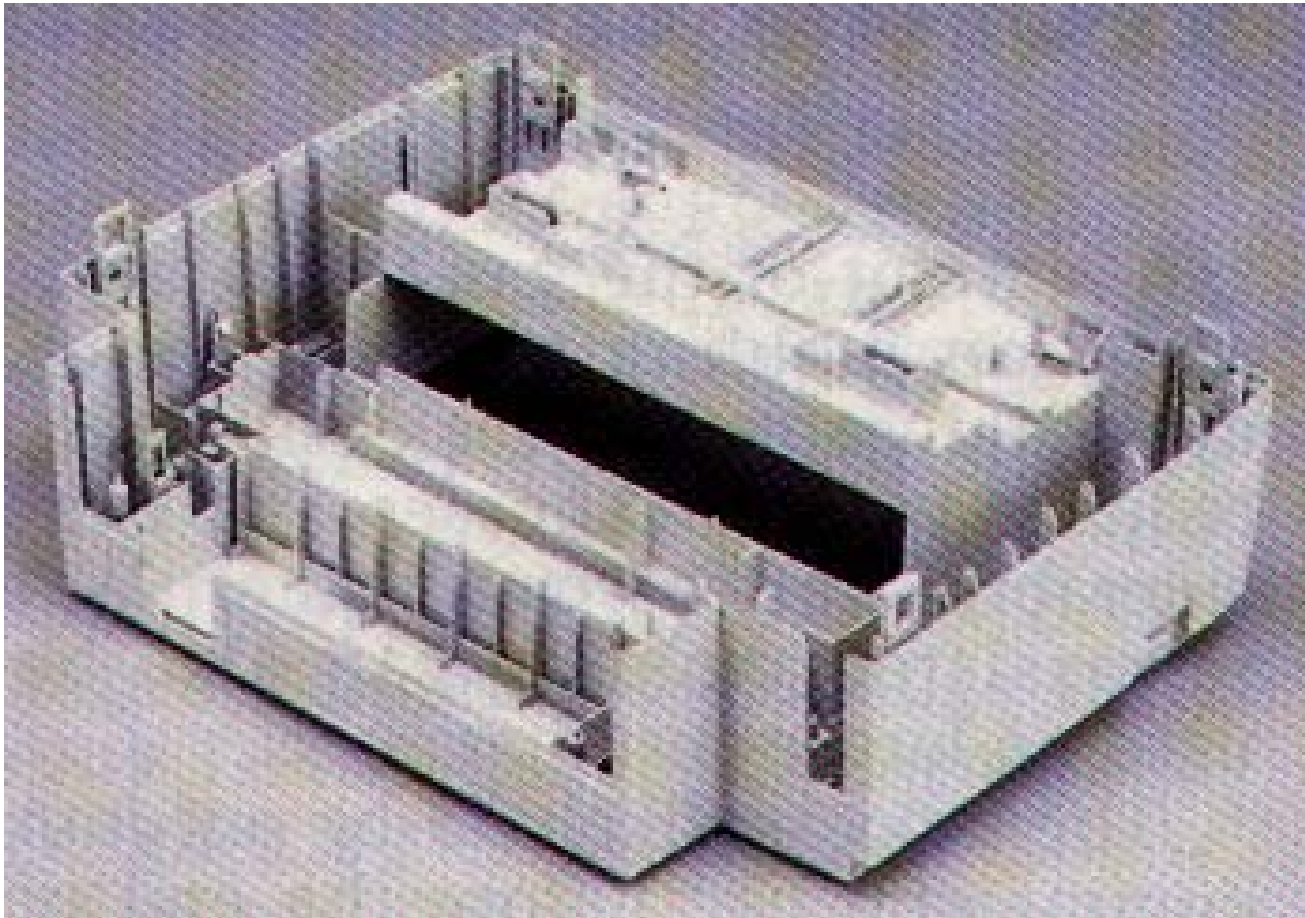
若采减重10%的MuCell工艺，肋厚2.00mm的2.00mm厚平板较之采用传统注塑工艺之肋厚1.2mm的2.5mm厚平板，只需80%的材料(减料或减重20%)，比弯曲刚度(specific flexural rigidity或IE/W可增加到1.21倍。周期时间缩短将大于30%(因可采用较低的料温以及无需融胶保压)。

若采气辅注塑工艺，肋基厚6.00mm的2.00mm厚平板较之采用传统注塑工艺之肋厚1.2mm的2.5mm厚平板，只需79.4%的材料(减料或减重21.6%)，比弯曲刚度(specific flexural rigidity或IE/W可增加到1.62倍。产品的最大厚度减到原来的4/5，冷却时间缩短36%，周期时间缩短约29%(=36%x0.8)。



外气成型使得传真机底座 得以泛用塑料成型

**External Gas-assist Process Enables Switch
to Commodity Resin in Fax Machine Base**



先進成型技術
AMTechnology



佳能外气成型传真机底座

Canon External Gas-assist Fax Machine Base

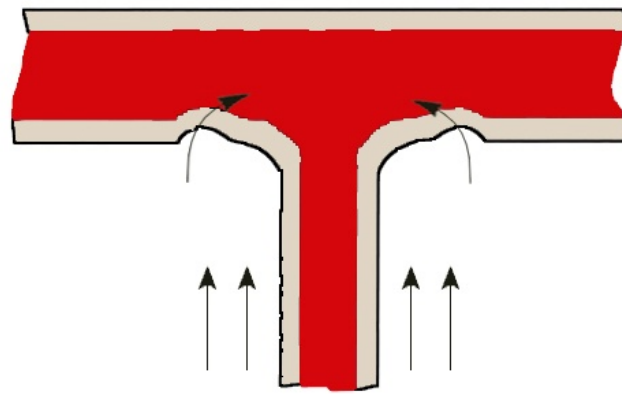
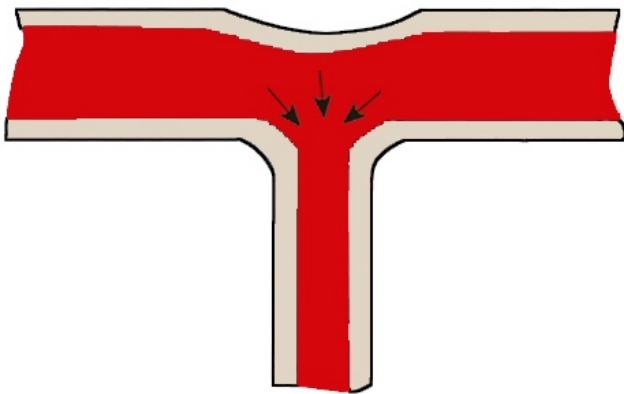
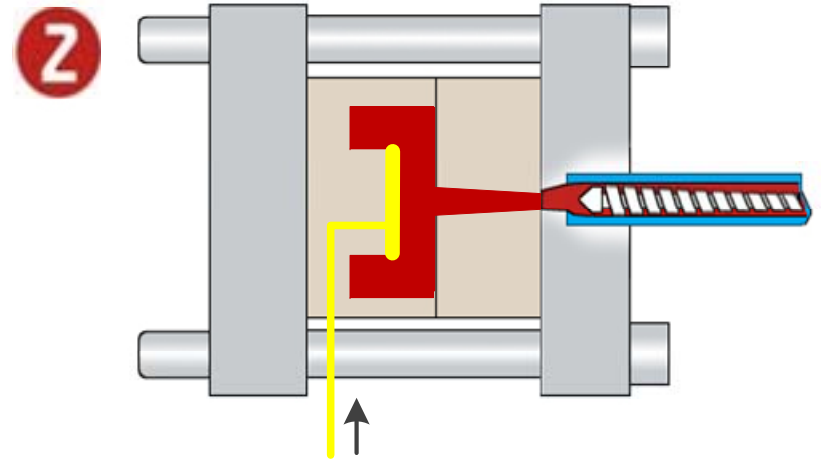
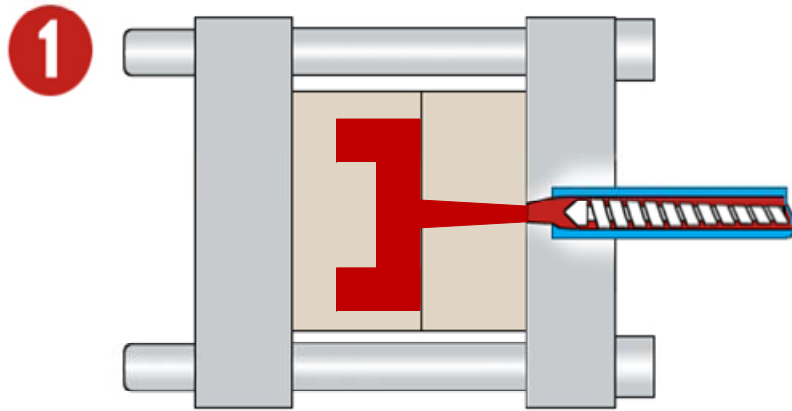
佳能采用外气辅成型，使其传真机底座的材料得以HIPS取代PC/ABS。

External gas-assisted injection molding enables Canon to switch from PC/ABS to HIPS for its fax machine base.

肋厚从1.3增加到2.0mm，但是壁厚从2.5打薄到2.0mm。据说肋最厚可设计到壁厚的二倍而仍然可以产生完美的表面光泽。

The rib thickness was increased from 1.3 to 2.0 mm, but the wall thickness was cut from 2.5 to 2.0 mm. It is said that rib thickness can be designed up to double the wall thickness, while still producing a perfect surface finish.

External Gas Molding



EGM vs Conventional Injection Molding

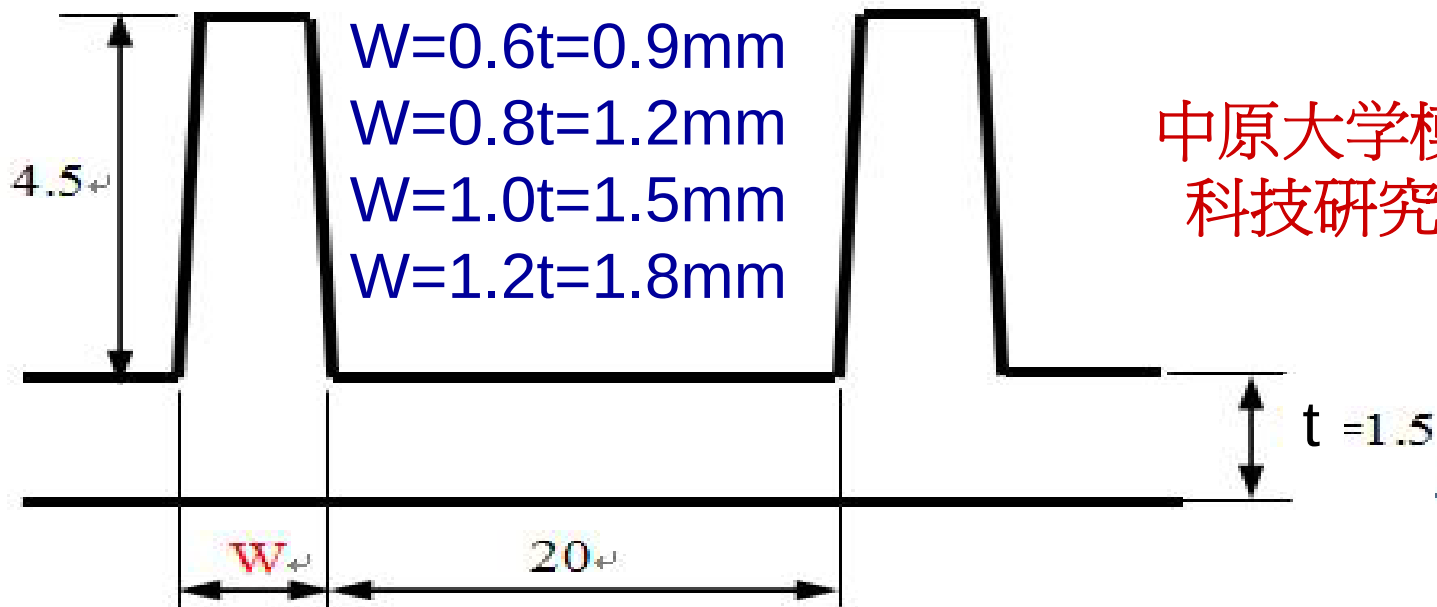
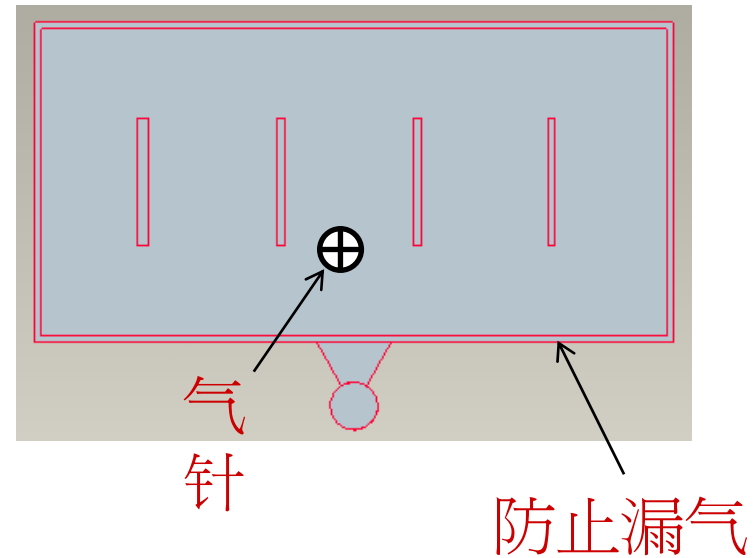


EGM

Conventional
Injection Molding

平板实验模具：

- 100 x 50 x 1.5 (mm)
- 4种不同厚度补强肋
(0.6t、0.8t、1.0t、1.2t)
- 三种模面
(一般、镜面8000、咬花TH-114)



中原大学模具与成型
科技研究发展中心

结论

- 外气气辅注塑成型制程参数对产品表面缩痕质量之影响，以模具温度、气体压力及气体保压时间影响较大。
- 三种模具表面(一般抛光、镜面和咬花面)使用外气气辅注塑成型制程可完全消除产品表面缩痕，提高产品表面质量，可接受肋与面板厚度比提高到**1.2**之设计，打破传统注射成型**0.5 ~ 0.75**的设计限制，并增加产品结构强度。
- 相较于传统注塑成型制程，由于保压方式的不同，三种不同表面的外气气辅注塑成型能有效的减轻产品重量**1 ~ 3 %**，且生产出高质量的产品表面，适合应用于现今多变的电子产品上。

Interior Door Trim , VW Touran



PP-Talc20

Design Drivers

- Energy absorption on impact
- No visible sink marks

Design Without MuCell®

Nominal Wall : 4.4 mm
Structural Ribs : 2.2 mm



Design With MuCell®

Nominal Wall : 2.2 mm
Structural Ribs : 2.4 mm

Comparison of solid design (, a 2nd module was welded to the back) vs MuCell® design - Equivalent energy absorption

- 40% reduction in part weight
- 20% through wall thickness reduction
- 6% through density reduction
- 14% through the elimination of the 2nd module

RHCM(Rapid Heat Cycle Molding) for Class A Surface/ High Gloss Applications

- # Lighter parts with more design freedom
- # Wall to rib ratio 1:1 without sink marks
- # Improved dimensional stability/less warpage
- # Dramatic clamp force reduction



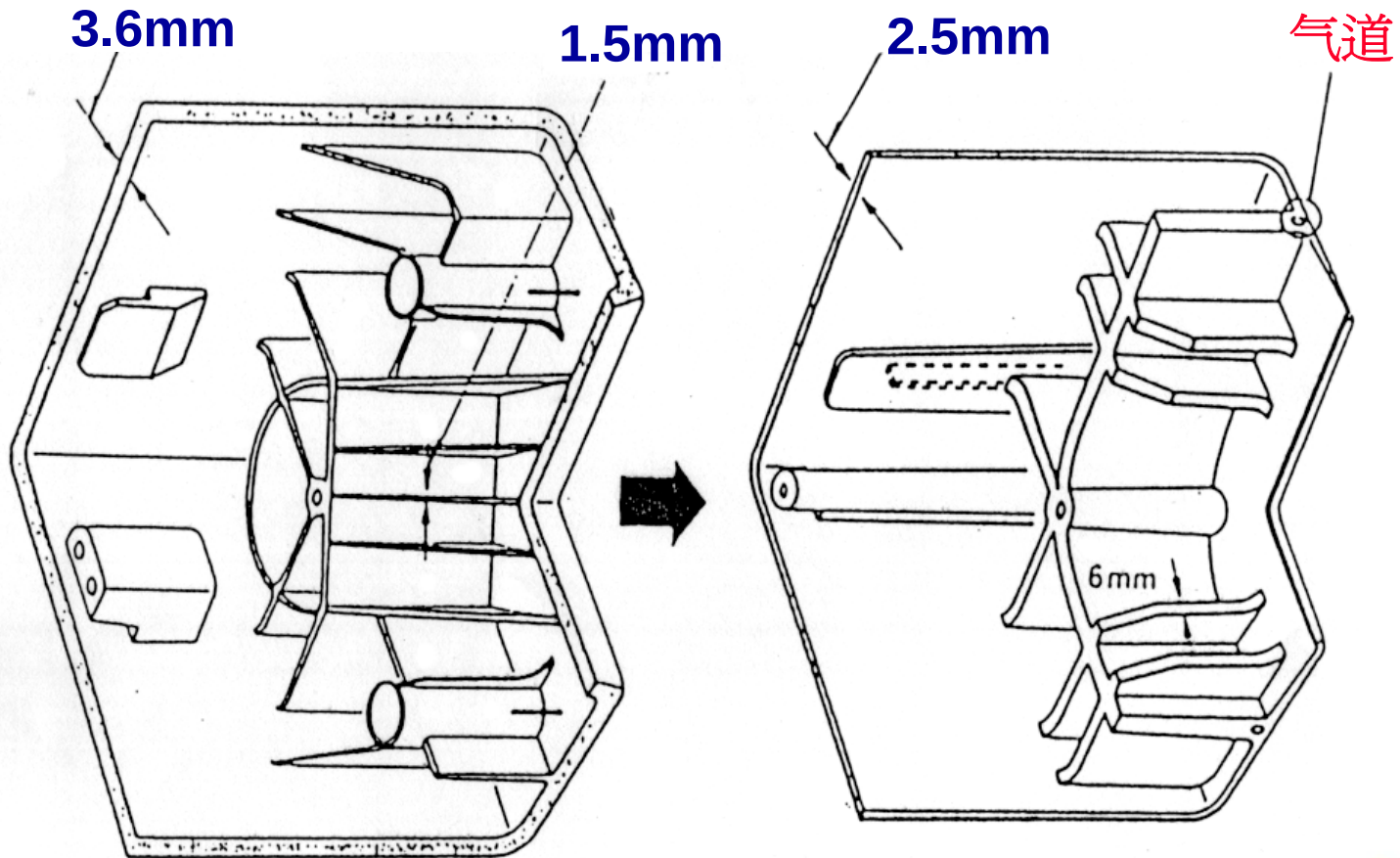
Mucell



RHCM + Mucell

电视机前框

TV Cabinet



(a) 传统注射设计

(b) 气辅注射设计

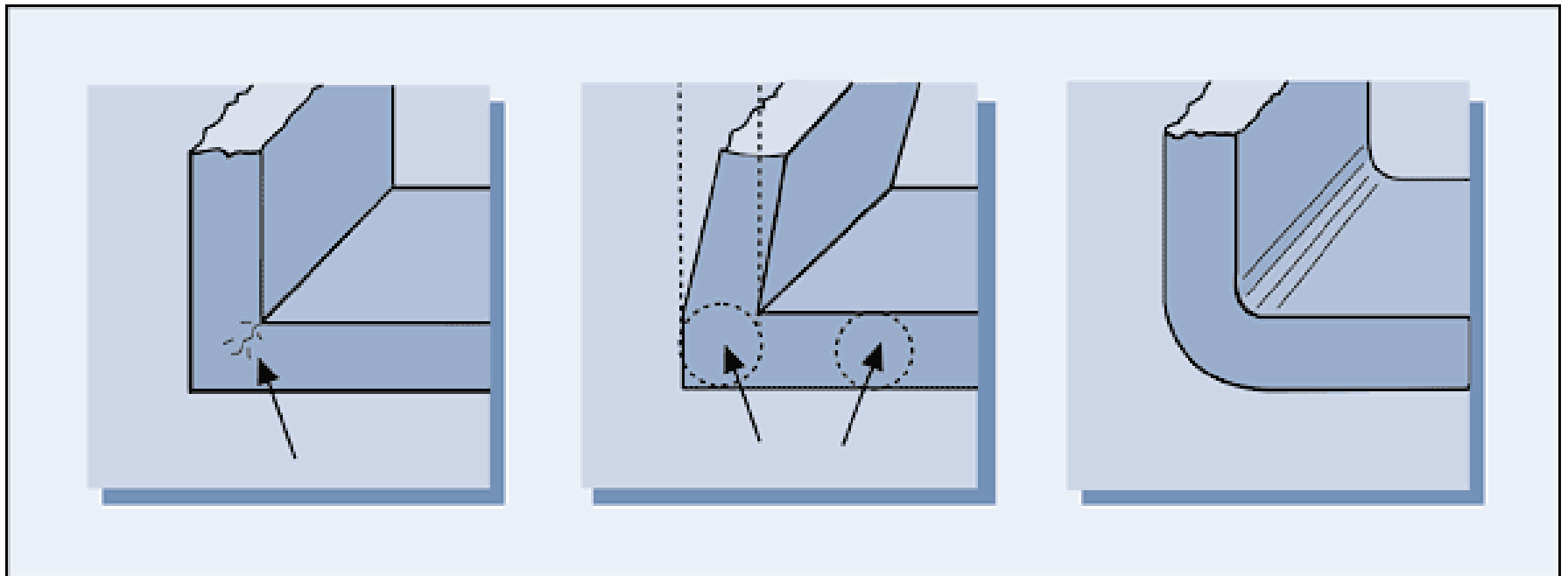
转角半径

Corner Radius

尖锐的转角应力集中。塑料中，如尼龙和聚碳酸酯者，是对V字型刻痕敏感的，较之不敏感的塑料，如ABS和聚乙烯者，成型时会在小的内圆转角上产生高的应力。

当一 90° 转角的内圆角半径小于公称厚度的25%时，角落就会有高的应力集中。内圆角的半径增加到公称厚度的75%时，二壁相交处就能进而强化。可接受的平均内圆角半径是公称厚度的50%。

转角 Corner



冰箱蔬果盒, PS, 脱模时即开裂

转角未加内圆角

2.5^t

2.5^t

2011/07/09 15:54



结构设计和注射成型薄壁制品

Structural Design & Injection Molding Thin-wall Parts

结构设计是薄壁注射成型制品的基础。

Structural design is the base of injection molding thin-wall parts.

薄壁成型制品不仅仅是一趋势，而且也是降低成本和提高竞争力的有效途径。

Molding thin-wall part is not only a trend but also an effective way to achieve cost reduction and competitiveness increase.

避免塑料降解

塑料降解

Plastic Degradation

薄壁成型的射料量较之传统为小。塑料在料管以及热流道中的停留时间过长，会使得塑料降解。

The shot weight for thin-wall molding may be smaller than is typical with conventional molding, material degradation may be accentuated due to long residence time for the material in the barrel and hot runners.

塑料降解

Plastic Degradation

塑料停留时间可以下式计算：

Resin residence time can be calculated as below:

1.4 x 使用塑料比重 x 料管料量 x 成型循环时间

聚苯乙烯比重 x 射料量

1.4 x sp. grav., plastic x injection cap. x molding cycle

sp. grav., PS x molded shot weight

1.4是一乘数(一般在1和2之间)，它将螺杆内的塑料一并考虑。

1.4 is a multiplier (typically between 1 and 2) taking the resin in the screw flights into account.



最短和最长停留时间

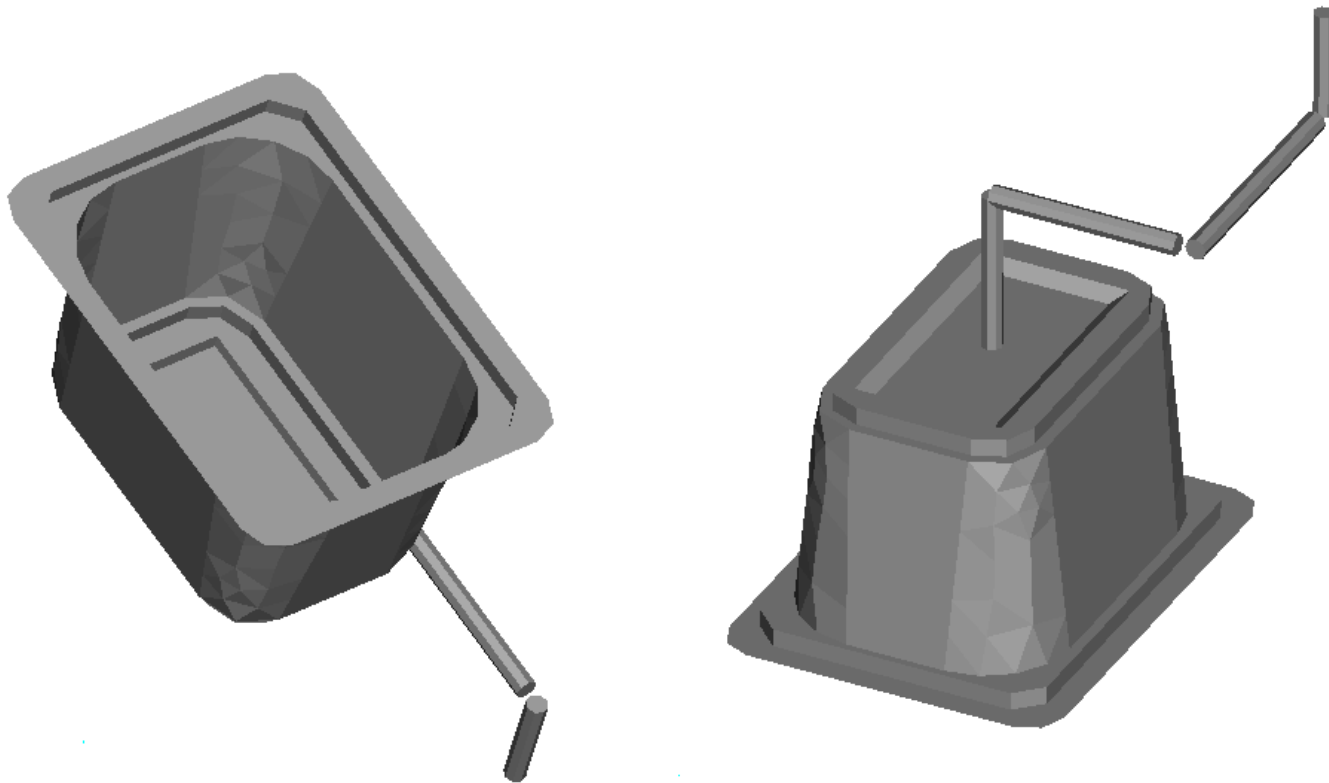
Minimum and Maximum Residence Time

最短和最长的停留时间应遵照塑料厂商的建议。如果特定的指示无从获得，最短和最长的停留时间可以**1.5**和**4**分钟为准。

Minimum and maximum residence times should follow resin supplier's recommendations or between 1.5 and 4 minutes if specific guidelines are not found.

4型腔看台杯模

4 Cav. Stadium Cup Mold





4型腔看台杯模

4 Cav. Stadium Cup Mold

材料 Material	聚丙烯 PP
射料量 Shot Weight	50 g (4 cav.)
进浇 Gating	热浇道 Hot Runner
流长 Flow Length	152 mm
壁厚 Wall Thickness	0.5 mm
流长/壁厚比 L/t Ratio	304
循环时间 Cycle	3.95 sec.



4型腔看台杯模

4 Cav. Stadium Cup Mold

某廠注射料筒料量为**795**克，塑料停留时间为：

The injection capacity of the machine is 795 g. The resin residence time is

1.4 x 使用塑料比重 x 料管料量 x 成型循环时间

聚苯乙烯比重 x 射料量

1.4 x sp. grav. , plastic x injection cap. x molding cycle

sp. grav. , PS x molded shot weight

= 1.4 x 0.91 x 795 x 3.95

1.05 x 50

= 76.2 (sec.)

没有塑料降解的问题，因为**76.2**秒远小于**4**分钟。

No material degradation problems, because 76.2 sec. is much less than 4 min.



超临界流体微发泡注射成型是 可以避免塑料降解的有效工艺

超临界流体微发泡流体的黏度低，PC和ABS的料温有降低60°C和20°C，而其注射成型都能顺利进行且其产品尺寸都能保持精准的成功案例。低的料温是停留时间长而不易降解的保证之一。

至于超临界流体微发泡注射成型件表面漩纹的问题可以高模温和充填时的反压(counter pressure)缓解之。高模温使得优化的注射时间变得比较长，长的注射时间又使得融胶因剪切应力太大而降解的可能减少。

所以，超临界流体微发泡注射成型是可以避免塑料降解的有效工艺。

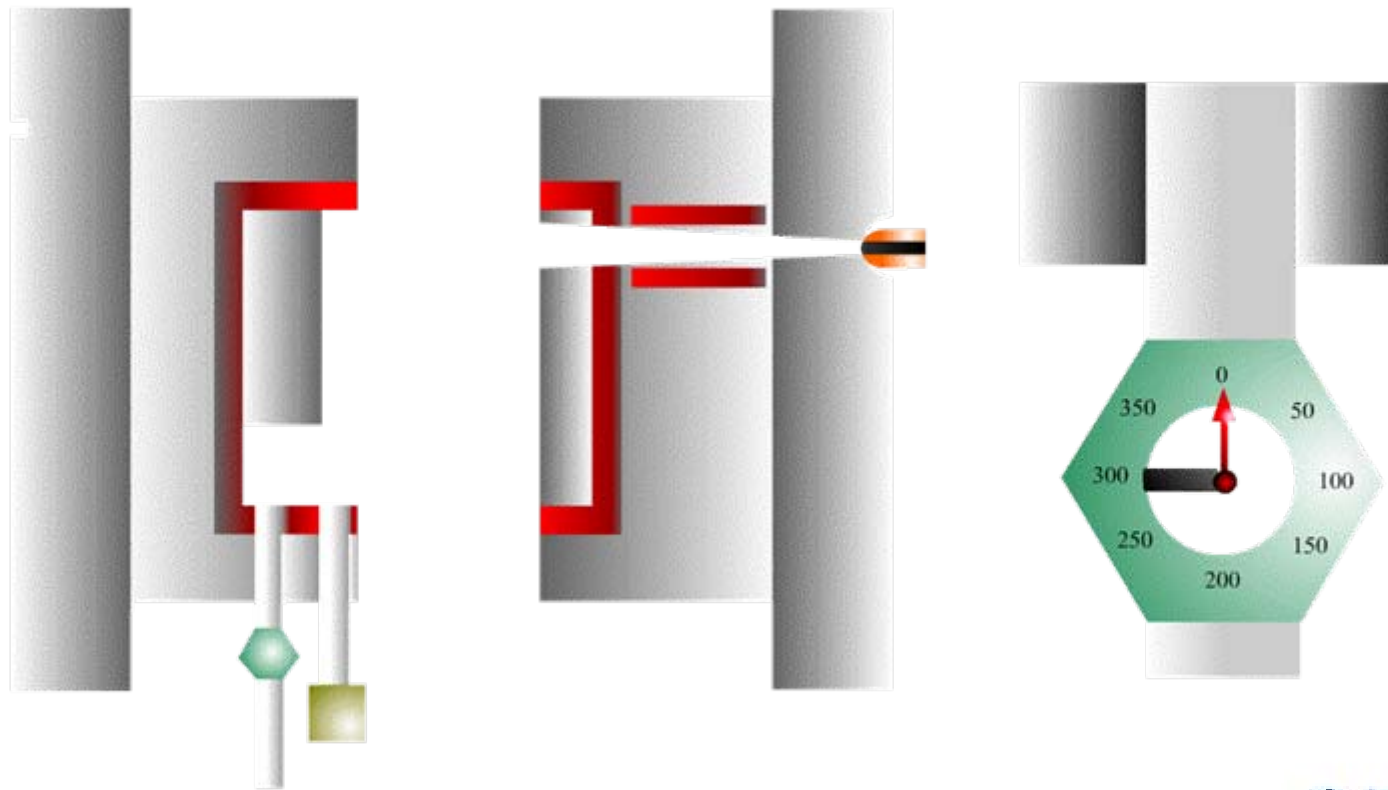
高模溫+超临界流体微发泡注射成型 RHCM+SCF Microcellular Inj. Molding



Polymer : ABS-GF20

MuCell Using Gas Counter Pressure

中原大学模具与成型科技研究发展中心



高模温或/和反压对塑件表面质量的影响

中原大学模具与成型科技研究发展中心



Mcell with
mold temp. control
Without GCP
Mold temp. : 120°C



Mcell with GCP
GCP : 150 bar
Holding time : 5s
Mold temp. : 40°C



Mcell with GCP+mold temp.control
GCP : 150 bar
Holding time : 5s
Dynamic mold temp. : 120°C

减少残余应力

残余应力的减少

薄壁化之塑件因为强度和刚度变差，很可能无法抵挡即使是与塑件打薄前相同的残余应力。如何减少残余应力就变得很重要了。

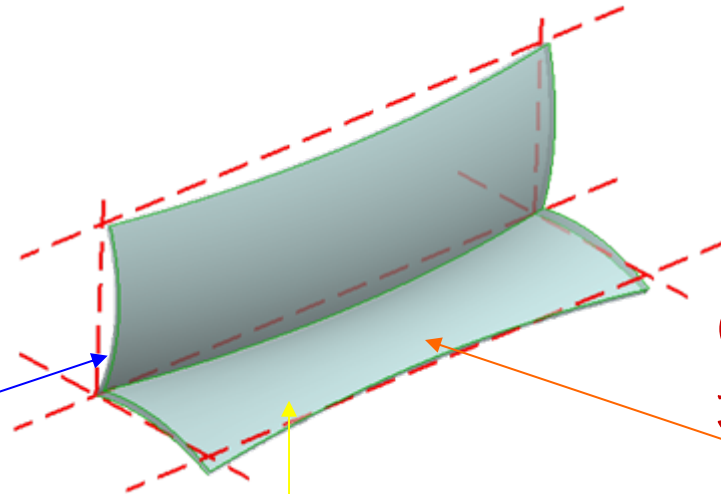
残余应力有可能是区域性收缩不均所致，也可能是取向的影响或是冷却不均造成，这些可能产生残余应力的病因都应该正本清源的移除，薄壁制品的变形自然能够减免。

找出残余应力的主要原因

Find the Major Cause of Residual Stress

C. Hsu: 型腔厚度方向不同分层的收缩与中心面对称。

冷却不均
Differential Cooling



C. Hsu: 不同区域的收缩不均。

收缩不均
Differential Shrinkage

C. Hsu: 流向和垂直流向的收缩不均。

取向效应
Orientation Effects

如果主要原因是 If the Major Cause is

收缩不均
Differential Shrinkage

C. Hsu: 不同区域的收缩不均。

检查浇注系统为首 **Check the filling system, firstly :**
熔胶流动是否平衡? Is the melt flow balanced ?
流长/壁厚比是否太大? Is the flow length/thickness ratio too large?
型腔厚度差异是否太大? Is the cavity thickness variation too big?

检查冷却系统为次 **Check the cooling system, secondly :**
同侧(动模侧或定模侧)的冷却是否均衡? Is the cooling on the same side (core side or cavity side) even ?

如果主要原因是 If the Major Cause is

取向效应 Orientation Effects

C. Hsu: 流向和垂直流向的收缩不均。

以PA6T-GF15, -GF30 & -GF50为例，其流向和垂直流向的模塑收缩率(%)分别为(0.6, 0.9), (0.2, 0.9) & (0.1, 0.7)，换言之，其垂直流向对流向的模塑收缩率的比例分别为(1.5), (4.5) & (7.0)倍。

检查浇注系统 **Check the filling system :**

熔胶是否是单一方向流? **Is the melt flow uni-directional ?**

熔胶波前在型腔中是否以常速推进? **Does the melt front advance, in the cavity, at a constant speed ?**

如果主要原因是 If the Major Cause is

冷却不均
Differential Cooling

C. Hsu: 型腔厚度方向不同分层的收缩与中心面不对称。

检查冷却系统 **Check the cooling system :**

型腔厚度方向(或动定模之间)的冷却是否均衡?

Is the cooling, along the cavity thickness direction (or between the core and cavity sides), even ?

如果主要原因是 If the Major Cause is

收缩不均
Differential Shrinkage

C. Hsu: 型腔面的方向不同区域的收缩不均。

检查浇注系统为首 Check the filling system, firstly :
 熔胶流动是否平衡? Is the melt flow balanced ?
 流长/壁厚比是否太大? Is the flow length/thickness ratio too large?
 型腔厚度差异是否太大? Is the cavity thickness variation too big?

检查冷却系统为次 Check the cooling system, secondly :
 同侧(动模侧或定模侧)的冷却是否均衡? Is the cooling on the same side (core side or cavity side) even ?



笔记本电脑A件，
PC/ABS，
注射、顶
出同侧，采
长条浇口
的目的在于
流动平衡。

植发器套, PET-GF30, 末端外翘.



2010/08/14 23:43

徐昌煜： 1.加溢流井以达到流动平衡的目的； 2.不用导流道 (flow leader)和限流道(flow deflector)，以保持壁厚均一。

溢流井

溢流井



如果主要原因是 If the Major Cause is

取向效应 Orientation Effects

C. Hsu: 流向和垂直流向的收缩不均。

以PA6T-GF15, -GF30 & -GF50为例，其流向和垂直流向的模塑收缩率(%)分别为(0.6, 0.9), (0.2, 0.9) & (0.1, 0.7)，换言之，其垂直流向对流向的模塑收缩率的比例分别为(1.5), (4.5) & (7.0)倍。

检查浇注系统 **Check the filling system :**

熔胶是否是单一方向流? Is the melt flow uni-directional ?

熔胶波前在型腔中是否以常速推进? Does the melt front advance, in the cavity, at a constant speed ?



玻纤补强制品的厚度及收缩

Thickness and Shrinkage of a Fiber Reinforced Part

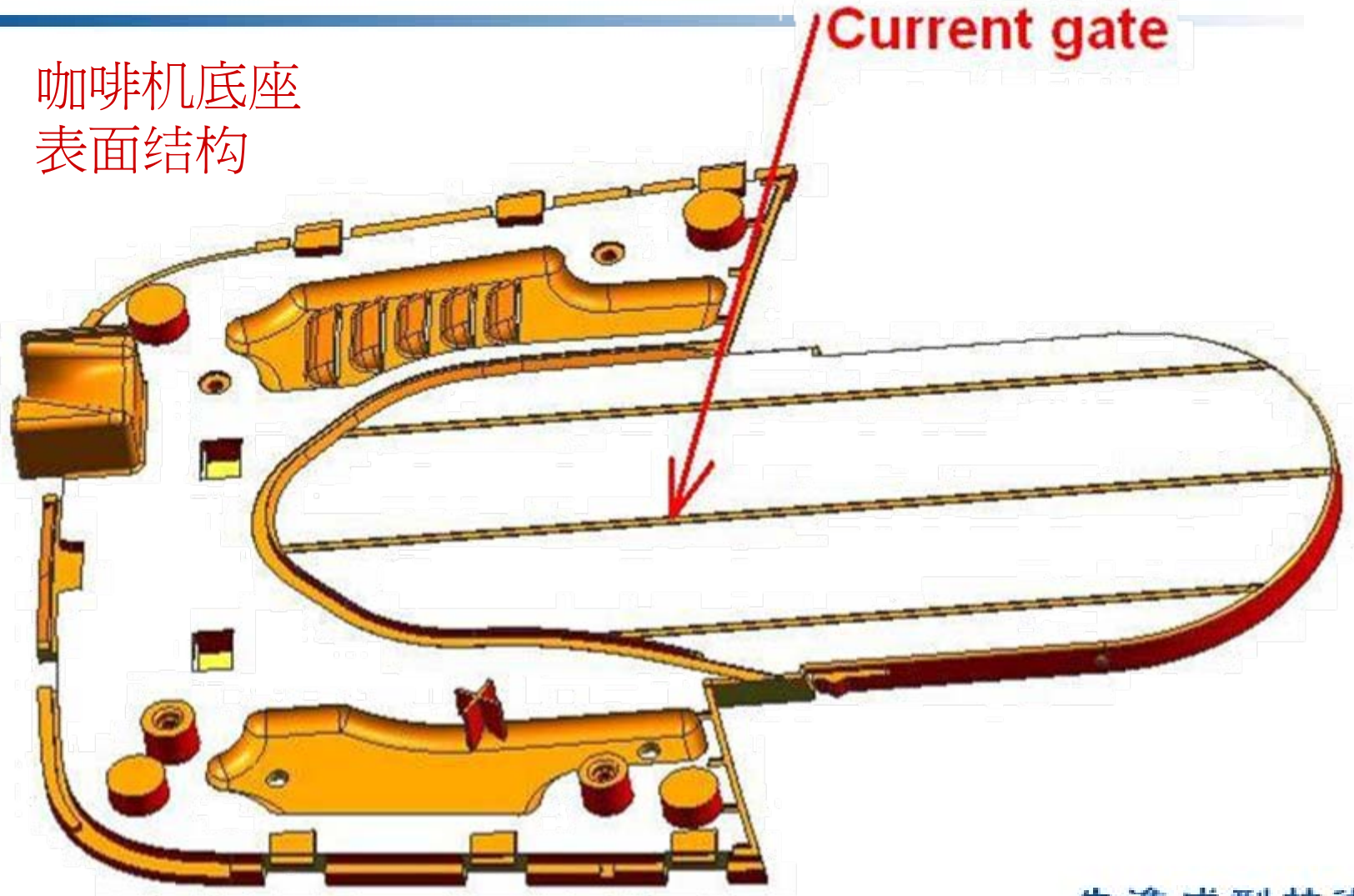
加纤强化的制品，若想有均匀合理的纤维配向、收缩以及物性，厚度以不小于**3mm**为宜。当壁厚是**1.25mm**时，约**90%**的纤维排列于流向，制品在流向收缩较少。不同方向收缩不一，成型时进入制品的应力增加，翘曲倾向提高。

Fiber reinforced parts will have reasonably uniform fiber orientations, shrinkage, and physical properties at wall thicknesses of not less than 3 mm. At a wall thickness of 1.25mm, approximately 90% of the fibers will be aligned in the flow direction. Such a part would have low shrinkage in the direction of flow. With different shrinkages in different directions, there is an increase in molded-in stress and a propensity for warpage.

先進成型技術

AMTechnology

咖啡机底座 表面结构





此端向上翘曲，实际样品变形量5.0mm左右



C.W. : MF预测之变形
是 $1 > 2 > 3$ 。

2011/10/14 14:48

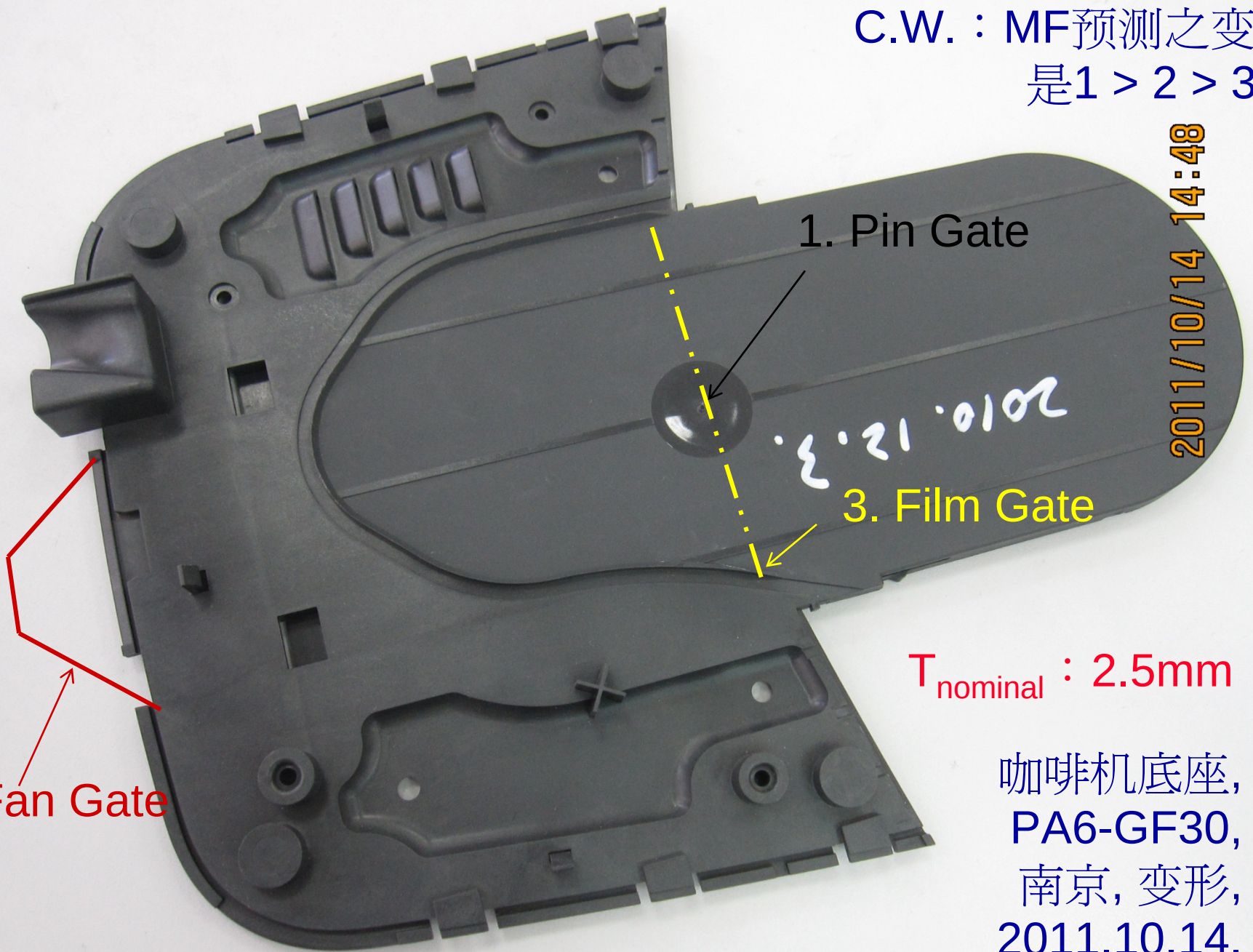
1. Pin Gate

3. Film Gate

2. Fan Gate

T_{nominal} : 2.5mm

咖啡机底座,
PA6-GF30,
南京, 变形,
2011.10.14.



如果主要原因是 If the Major Cause is

冷却不均
Differential Cooling

C. Hsu: 型腔厚度方向不同分层的收缩与中心面不对称。

检查冷却系统 **Check the cooling system :**

型腔厚度方向(或动定模之间)的冷却是否均衡?

Is the cooling, along the cavity thickness direction (or between the core and cavity sides), even ?

冷却系统

Cooling System

薄壁制品不像传统壁厚者一般可以承受较大的因热传不均而产生的残余应力。为了将收缩弯翘控制在可以接受的程度，均衡的冷却设计变得非常重要。

Thin-wall part can not afford as much thermal induced residual stress as the conventional one does. An even cooling design becomes very important to control the shrinkage and warpage at an acceptable level.



我们或许知道 **We May Know**

高模温
**High Mold
Temperature**

低模温
Low Mold Temperature



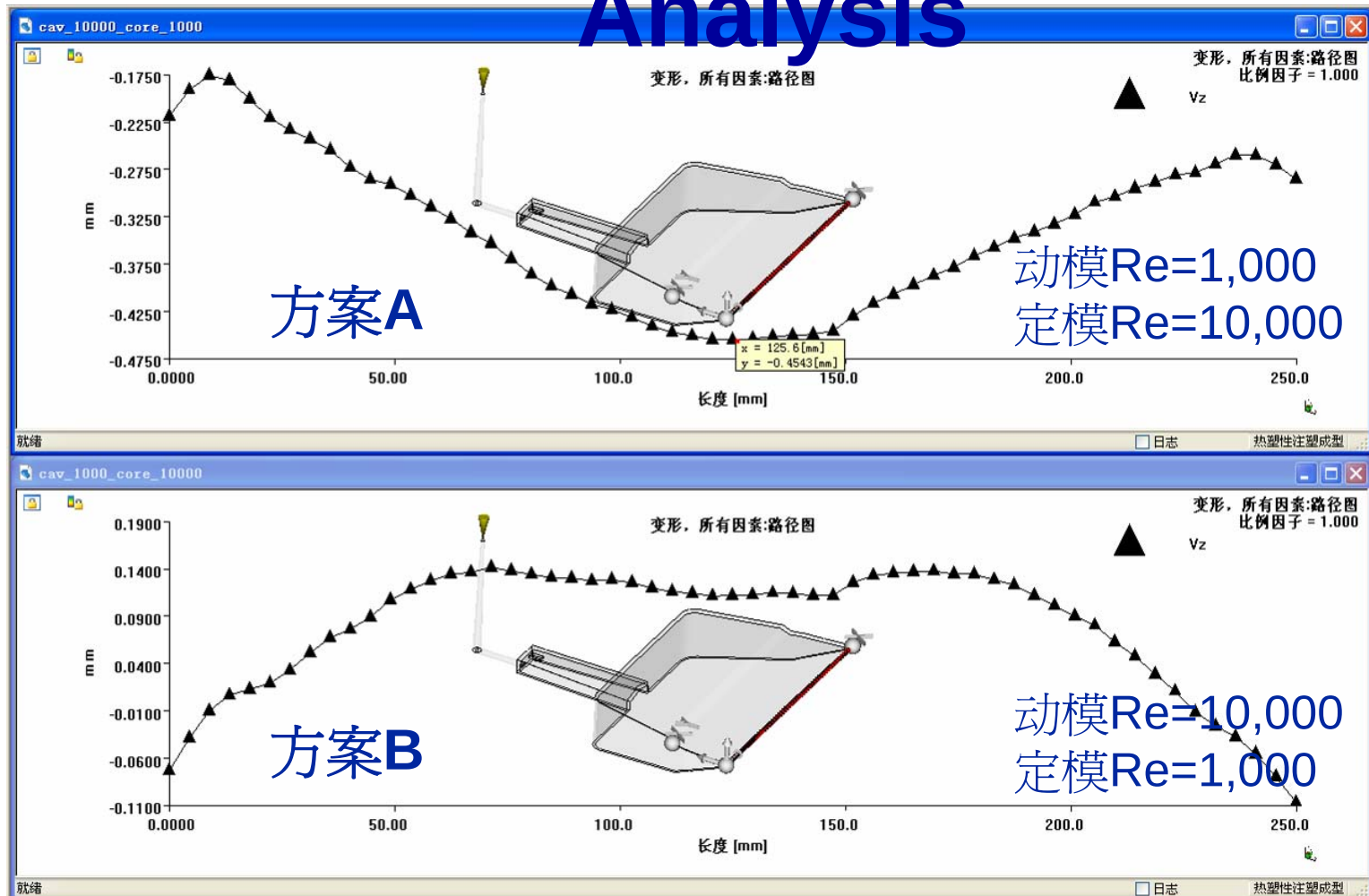
我们或许不知道 **We May Not Know**

低流速
Low Flow Velocity



高流速
High Flow Velocity

Dustpan Warpage Analysis



动、定模之层流($Re=1,000$, 低流速)、紊流($Re=10,000$, 高流速)易位时, 变形方向相反。

结论

研读固体力学、流变学、热传学，建立科学观，以清晰的物理概念、善用新工艺的长处，优化结构设计、避免塑料降解和减少残余应力，一定可以成功开发性价比更高的注塑成型薄壁件，不但降本创收，而且节能环保，是力图转型的业者应当努力以赴的事。

白日依山尽，黄河入海流；
欲穷千里目，更上一层楼。

·王之涣 〈登鹳雀楼〉·

问答？

谢谢！

在爱护环境、珍惜资源、
成型科技的发展与创新。

持续发展的前提下，促进精实高效
-先进成型技术学会-