注塑件变形与开裂的原因与对策

Causes and Solutions of Injection Molding Plastic Part Warpage and Crack

徐昌煜
Charles Hsu
先进成型技术学会 创会理事

2015年3月12日
上海龙之梦大酒店

先進成型技術
AMTechnology

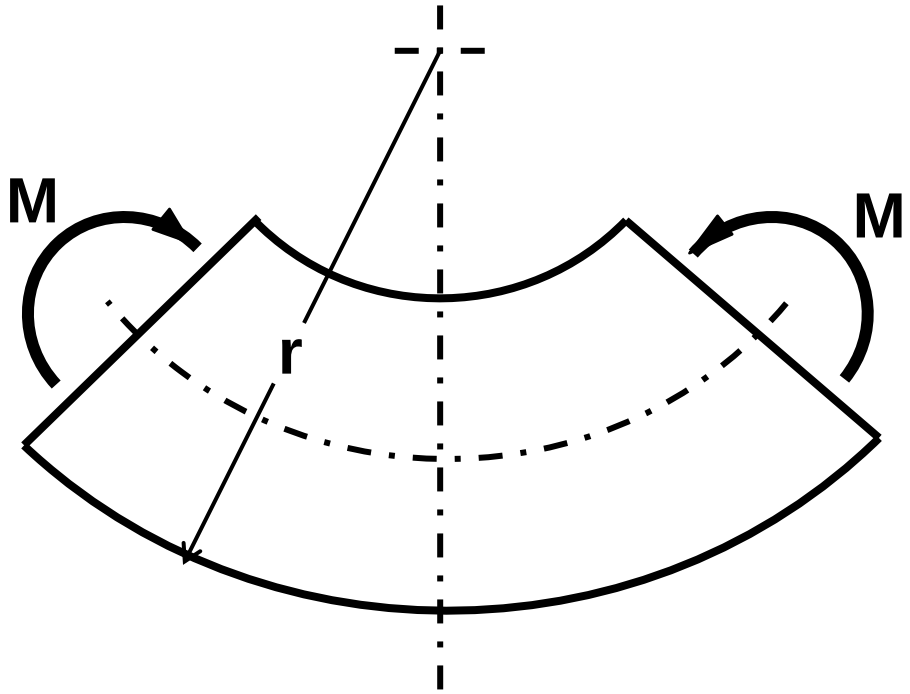
注塑制品变形与开裂的程度是两股势力角力的结果。这两股势力：一是制品本身的强度，另一是制品内部的应力。

要减少变形与开裂，优化制品的结构强度是一途，减少制品内部应力是另一途。 当然，双管齐下的效果更佳。

后就优化制品的结构强度以及减少制品内部应力分别论之。

优化制品的结构强度

选择弹性模量(E)大的塑料



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

where

r : radius of the curvature of the beam 梁的曲率半径

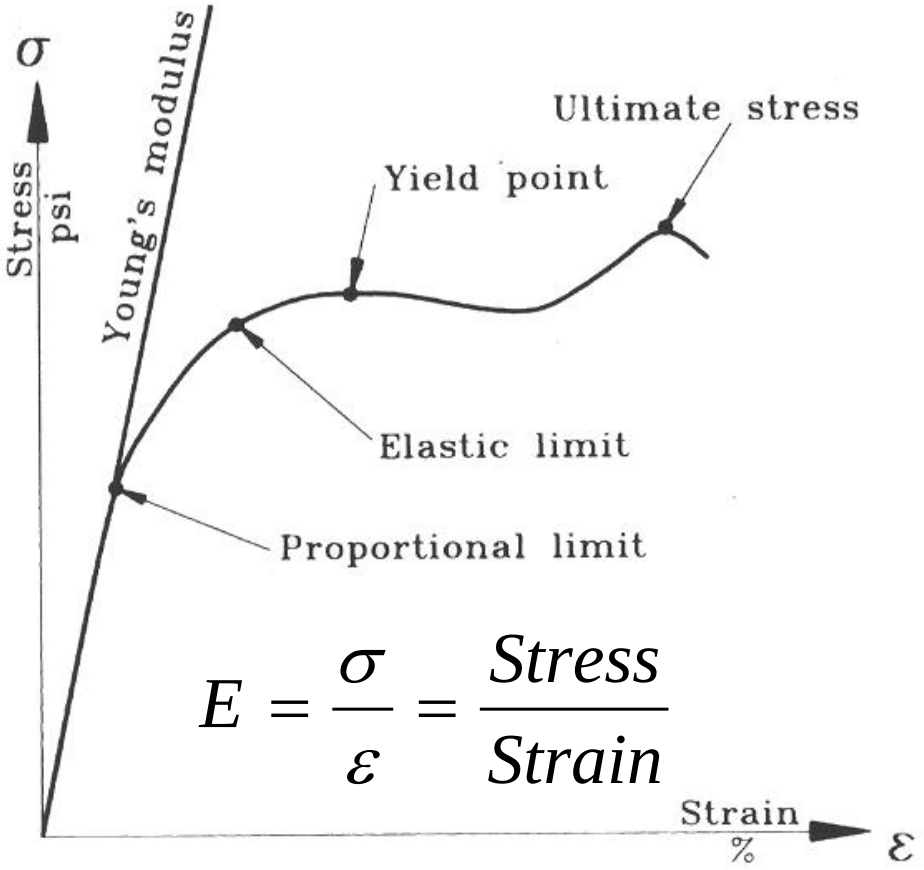
M : bending moment 弯曲力矩

E : modulus of elasticity 弹性模量

I : moment of inertia 惯性矩

弹性模量E

Modulus of Elasticity, E



$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{Stress}{Strain}$$

任一材料在弹性范围内，遵循胡克定律(Hooke's Law)，即应力对应变的比值为一常数，此一常数称之为弹性模量，可以MPa量之。

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)
PA66-GF50(L/D=25)	(16.000, 10.000)
PA66-GF50(L/D=100)	(16.560, 9.680)
Mg Alloy	45
Composite*	190
Steel	200

(E1, E2)分别为塑料在流向和垂直流向的弹性模量。表中打*号者为韩国LOTTE Chemical于2014年11月5日在余姚宾馆举行的第十届中国塑料产业发展(国际)论坛的报告“Technology of Automobile Lightweight Material”上发表的碳纤增强复合材料的E值。

(E1, E2) are the moduli of elasticity along the flow and across flow directions, respectively.

降解的料弹性模量较低

Modulus of Elasticity is Lower when Material Degrades

降解的料，高分子断链，强度差，弹性模量较低。

所以：

1.薄壁化的制品不要用回料；

2.薄壁化的制品即使用了新料，也要在注射成型的每一个阶段，防止降解的发生。

绞链：0.4±0.005^{t}

0.2^{h}x2.5^{w}浇口
加在2^{t}制品上

08/25/2014 05:14

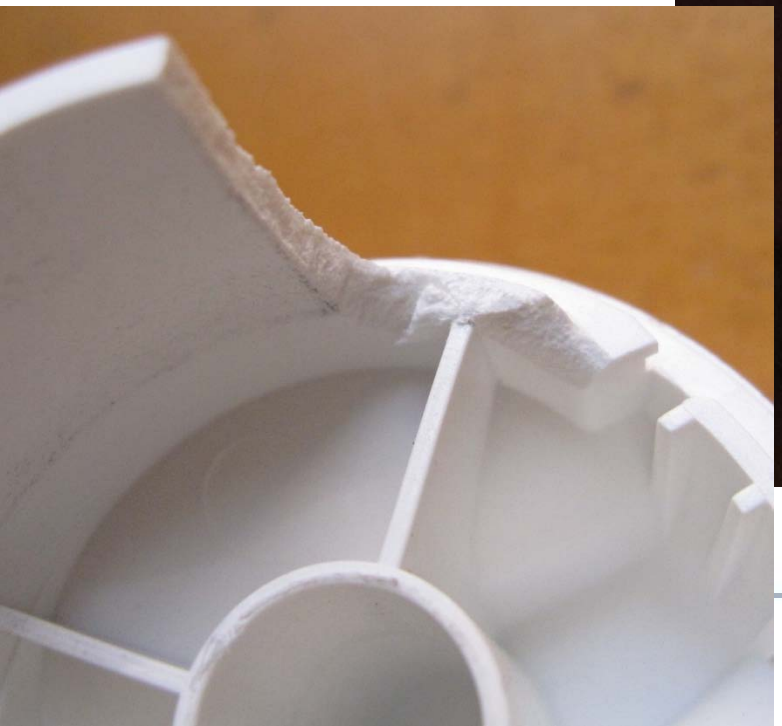
排气口深度：
PP ：0.007mm(7μ)
PA ：0.011mm

132.6/(1000+)
< 13% << 30 %
(The suggested shot size is 30 to 80% of the machine capacity. - GE Plastics)

射料量132.6g,
射胶量1000g +,
周期时间55s

汽车线槽, PP, 浙江省宁波市，一模四腔, 变形, 2014.8.25-26.

注射笔旋钮, POM-GF20, 香港商台湾分公司, 开裂, 2009. 8. 26.



80吨注射成型机的最大射胶量为68g, 单一产品重12.32g, 料头重2.16g, 射料量为14.48g。 射料量/射胶量=21.3%。 周期时间32.3秒。

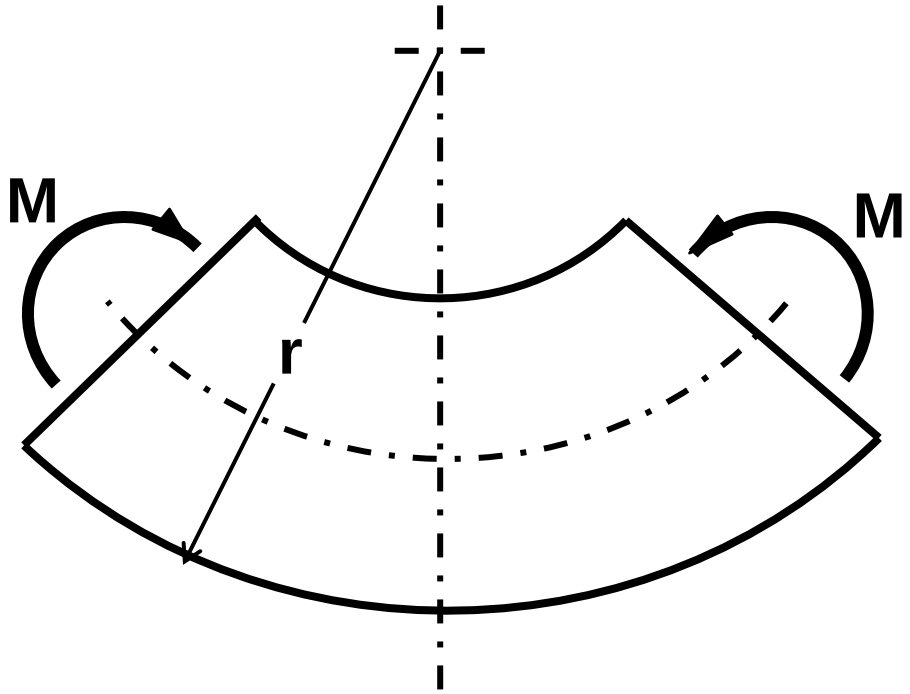
优化制品结构设计

大部分塑件可藉局部补强件(stiffeners) 來增加制品的强度(strength)与刚度(rigidity)，以避免制品的变形或开裂。 补强件包括加强筋(ribs)、角板(gussets)、卡扣板(cantilever snap beams)和螺柱(bosses)等。

优化制品结构设计使得用料少而刚度高，这就要优化制品断面材料的分布，在减少断面积的前提下，增加该断面的惯性矩(moment of inertia或I)。

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，这就要靠制程的手段消之于无形。

增加制品的单位用料的惯性矩(I)



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

where

r : radius of the curvature of the beam 梁的曲率半径

M : bending moment 弯曲力矩

E : modulus of elasticity 弹性模量

I : moment of inertia 惯性矩

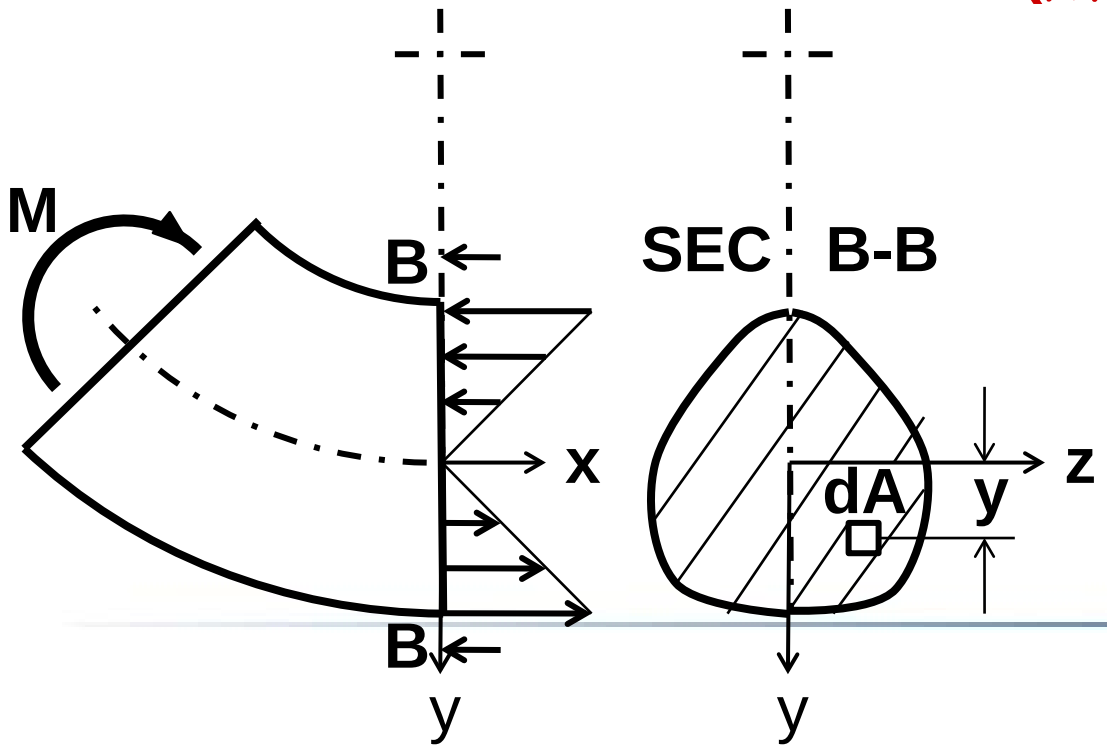
$$I = \int_A y^2 dA$$

where

M : bending moment 弯曲力矩

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

A : cross-sectional area 断面积 (断面线处)

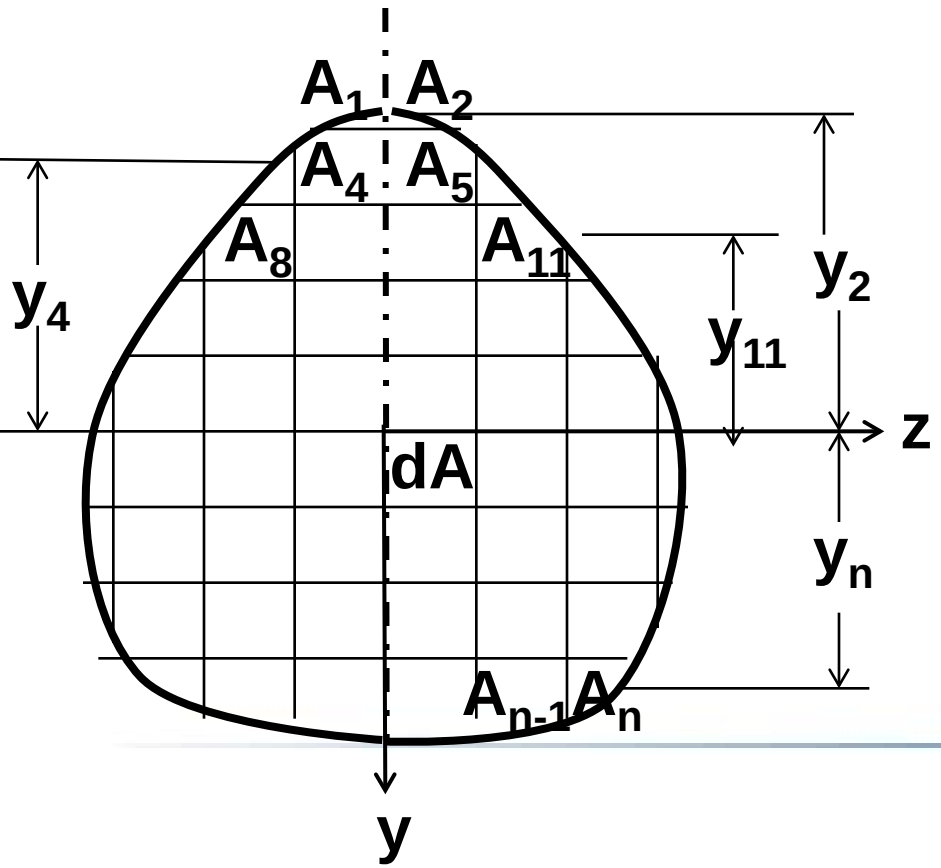


$$I = \int_A y^2 dA$$

$$= y_1^2 A_1 + y_2^2 A_2 + \cdots + y_{n-1}^2 A_{n-1} + y_n^2 A_n$$

$$= \sum_{k=1}^{n} y_k^2 A_k$$

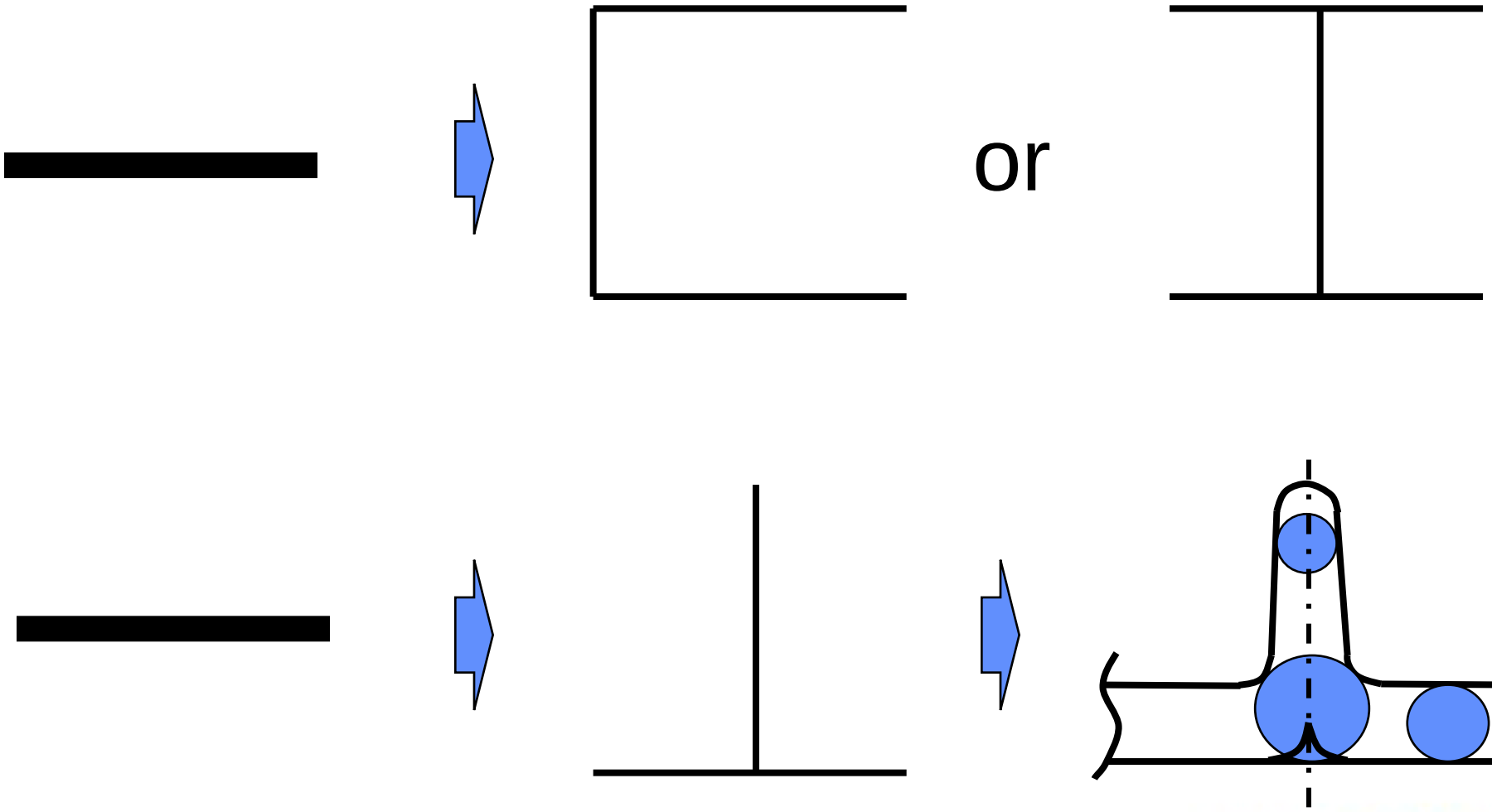
SEC B-B

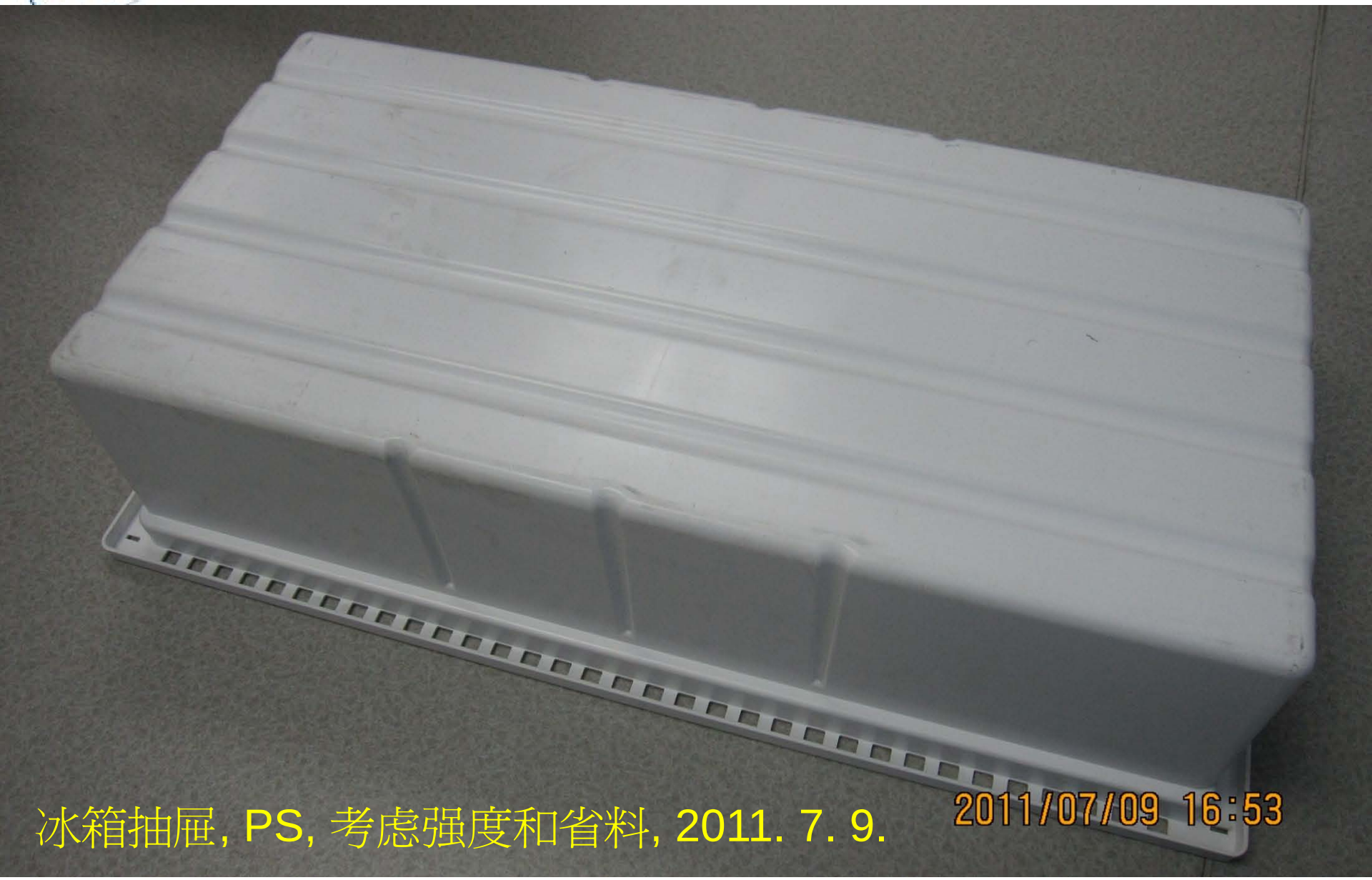


Where

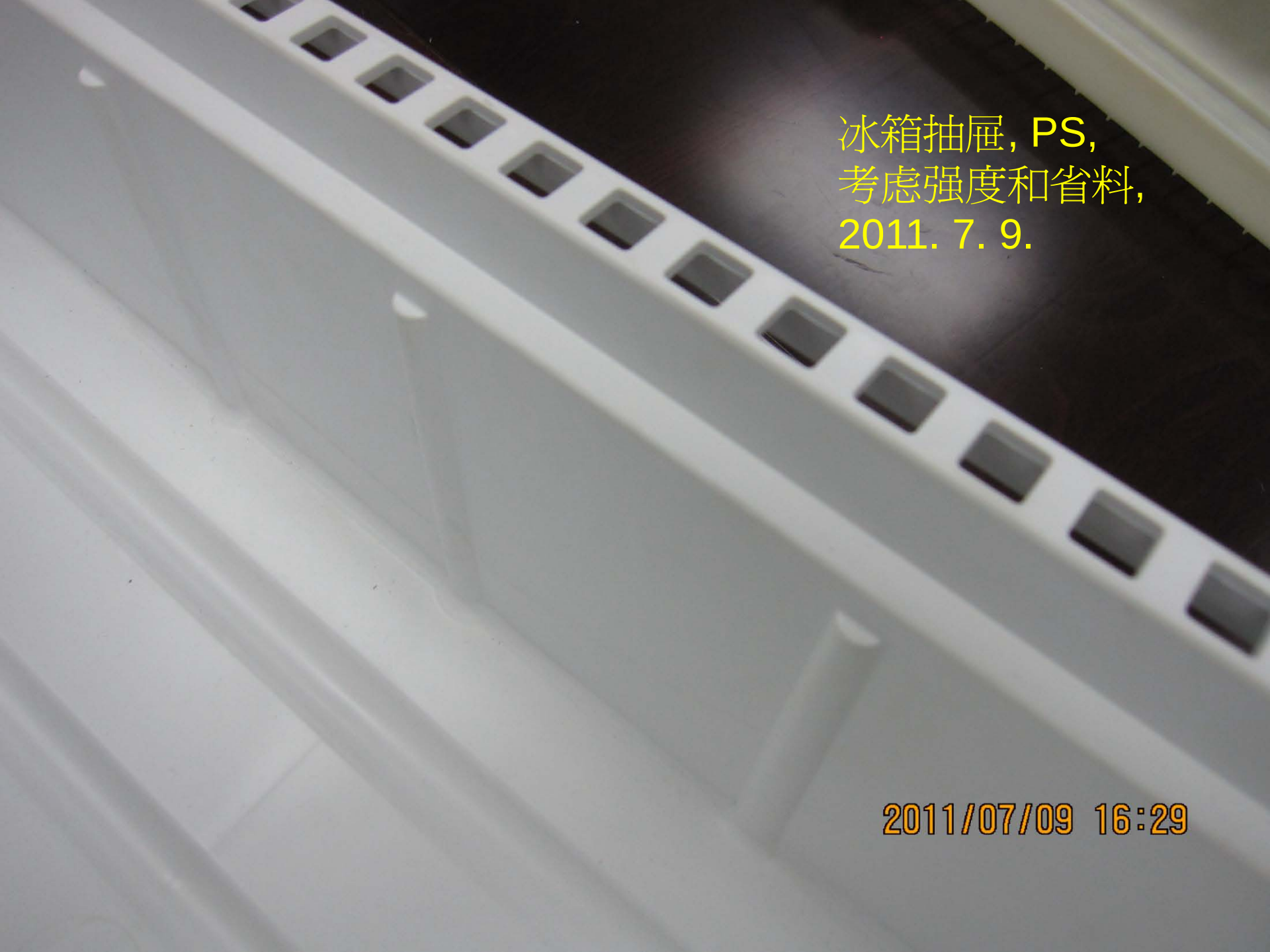
I : moment of inertia of A with respect to z axis 惯性矩

A : cross-sectional area 断面积


or

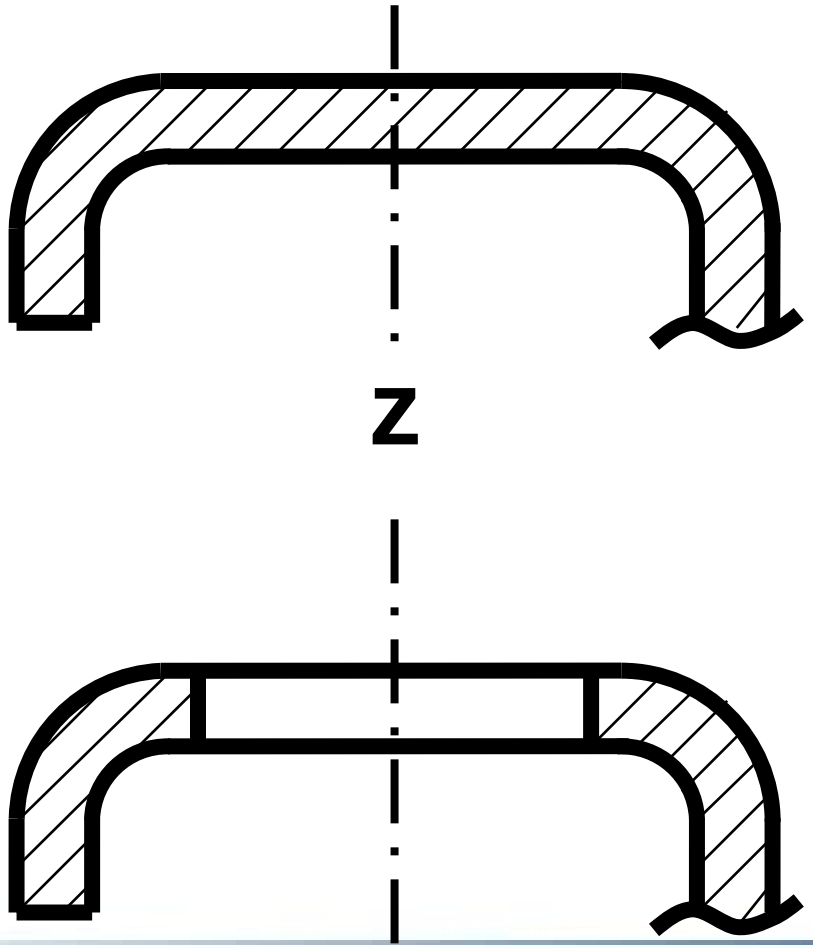


冰箱抽屉, PS, 考虑强度和省料, 2011. 7. 9.

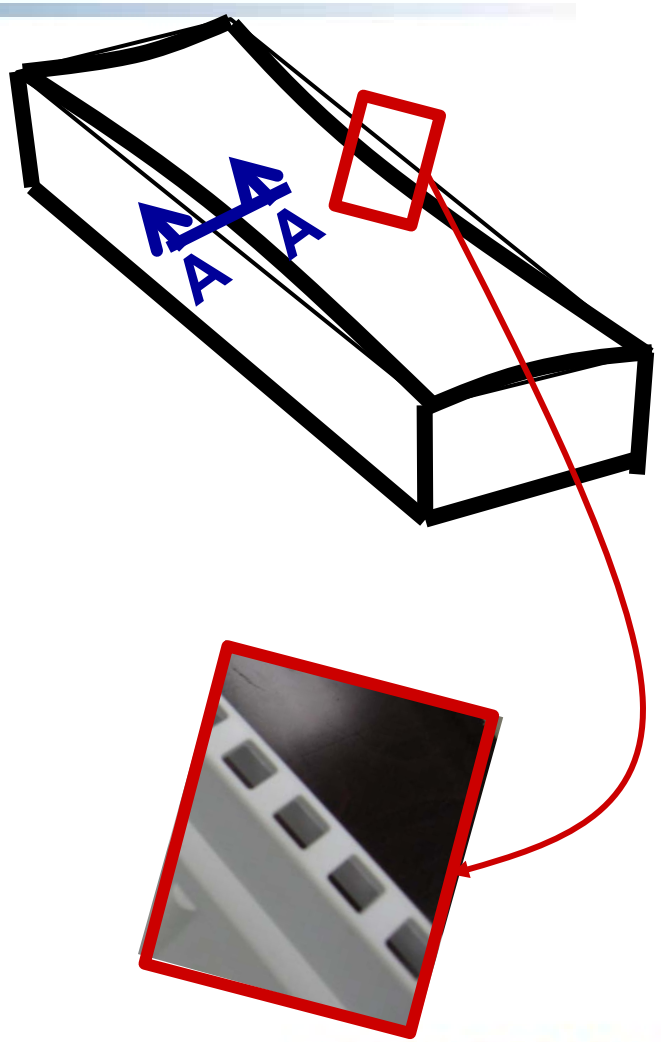

冰箱抽屉，PS，
考虑强度和省料，
2011. 7. 9.
2011/07/09 16:29

实心唇缘与带孔唇缘的比较

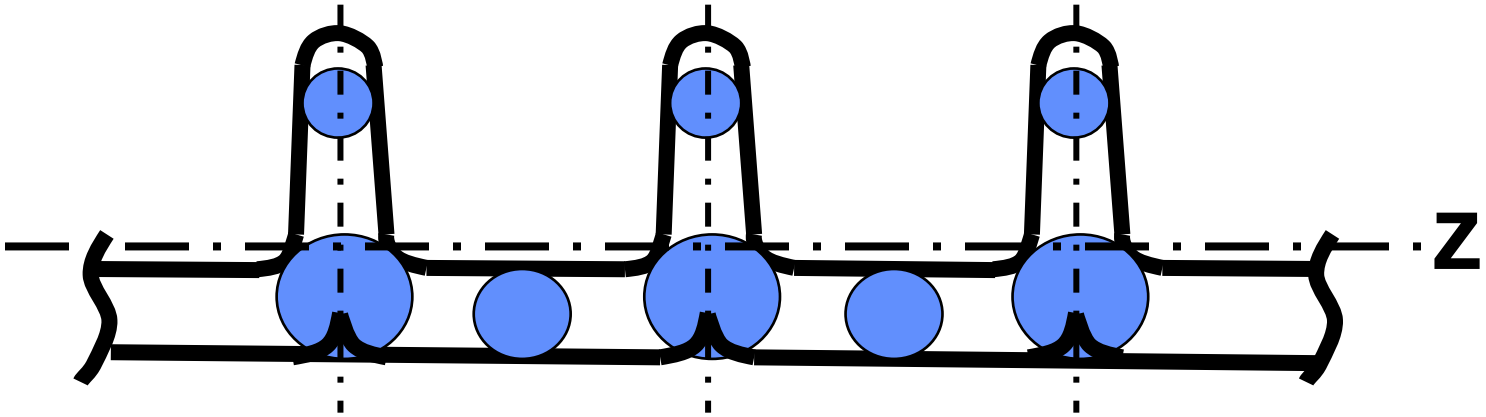
用料多，然而强度和刚度仅略增。



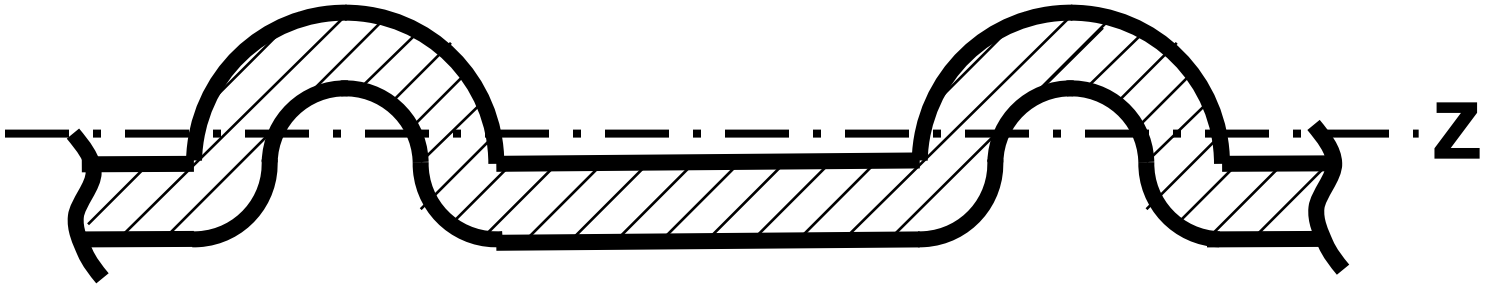
用料少，然而强度和刚度仅略减。



加强筋板与浪板之比较



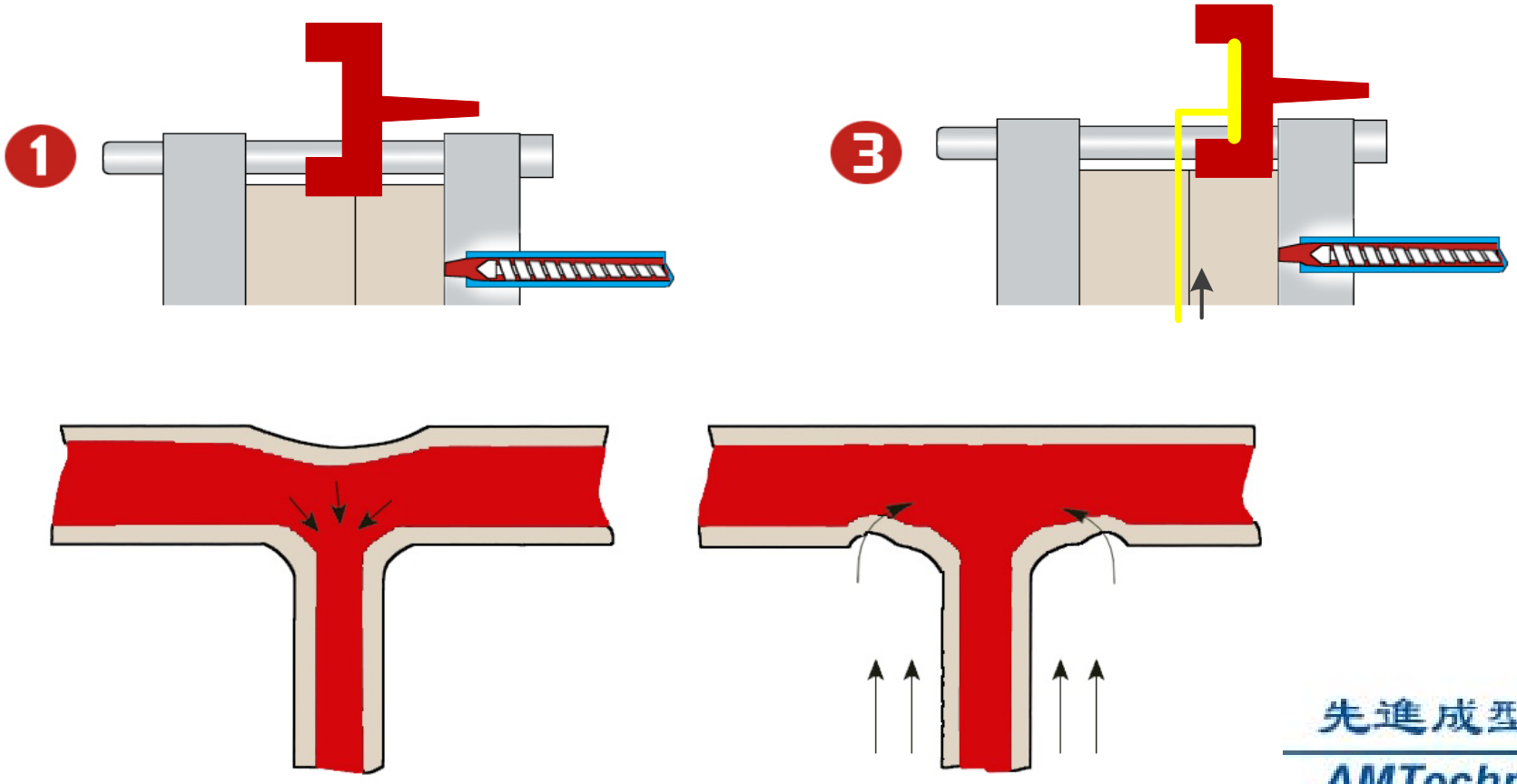
在同样强度和刚度下用料多而有缩痕之顾虑。

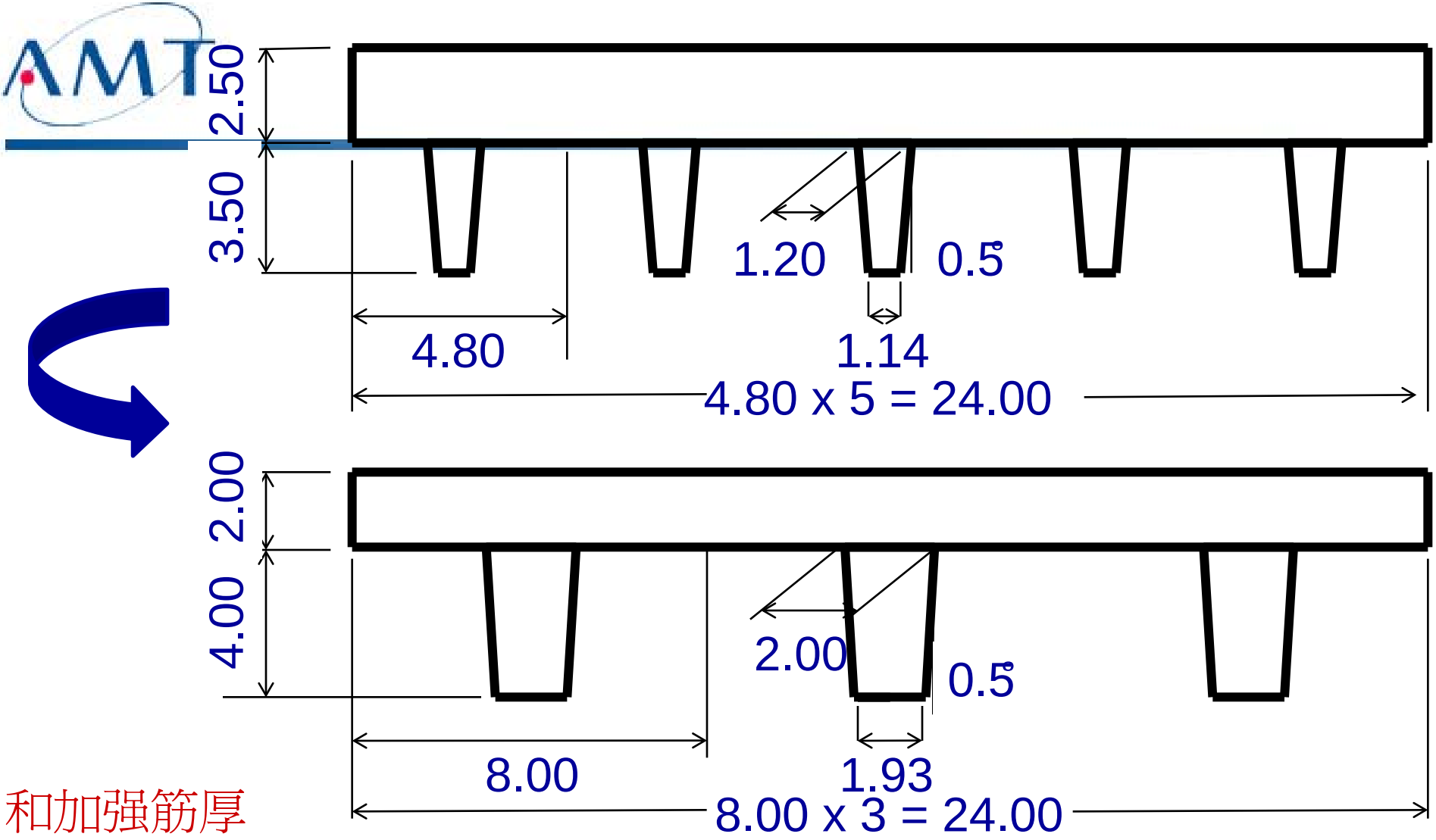


在同样强度和刚度下用料少而无缩痕之顾虑。

外气成型

External Gas Molding





和加强筋厚

1.2mm的2.5mm厚平板比，加强筋厚2.00mm的2.00mm厚平板只需87%的材料(减料或减重13%)，**比弯曲刚度(**specific flexural rigidity或IE/W却增加到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)。(采用EGM制程)

減少制品内部应力

制品内部应力可以分成两部分，一部分是制品从注塑机取出时就有的应力，另一部分是制品离模后受到外力而产生的内应力，这两部分的内应力加总起来就成为制品当时的合内应力，该合内应力如果大于制品材料的屈服极限，变形就显现了，变形的极端就是开裂，开裂往往始于应力集中点。

为了减少上述之合内应力，可以做的是减少制品顶出时生成的内部应力以及塑胶收缩不均产生的残余应力。

塑胶从液态变成固态之收缩，有如水之就下，是不可避免的。只要塑件各处塑胶收缩均匀，就不会有残余应力。

但是---

收缩
Shrinkage

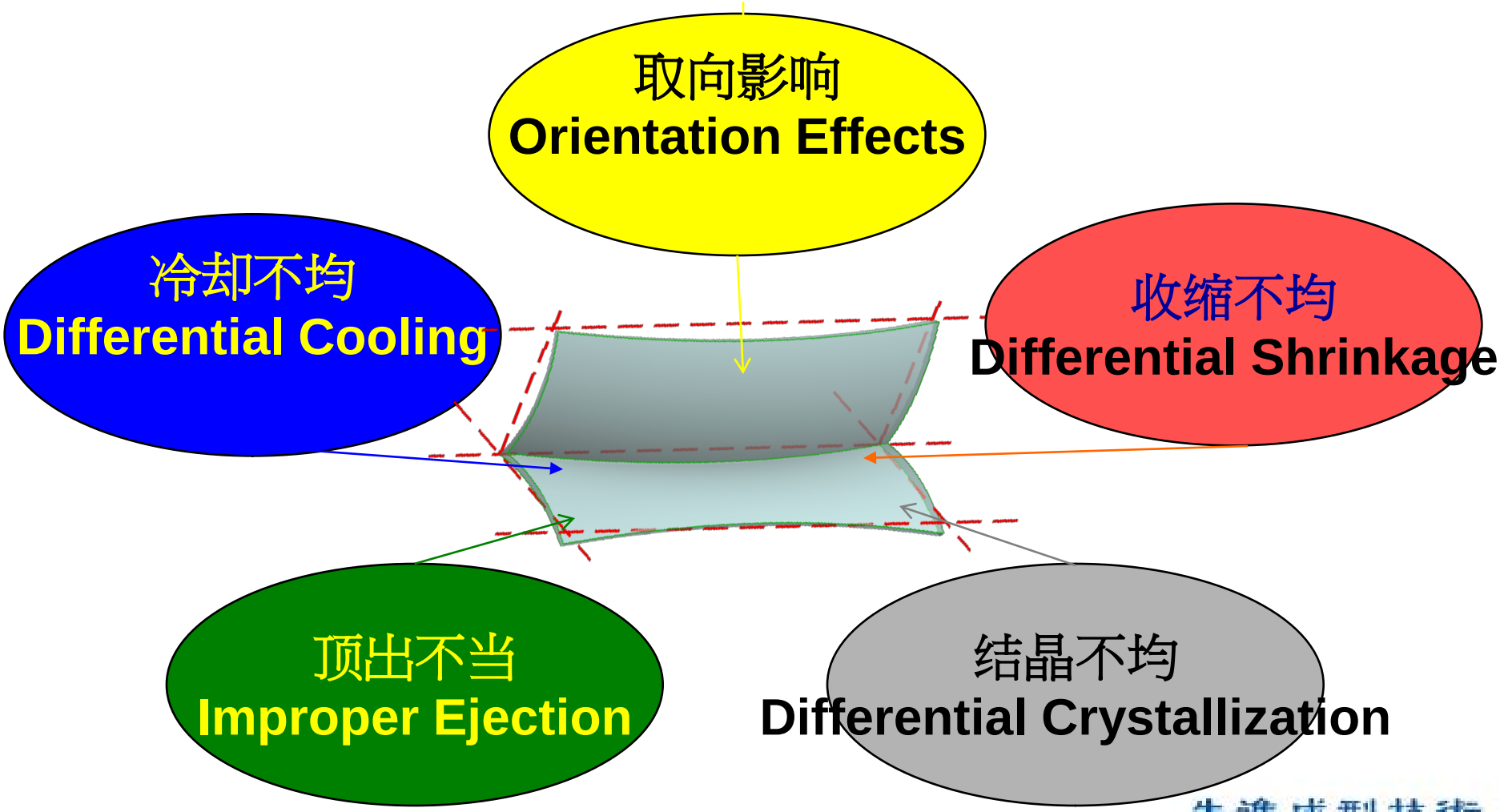
塑料在平行和垂直于熔胶流动方向有着不同的收缩率，此一收缩差异随着长条型添加物(如玻璃纤维、滑石粉等)的增加而增大。

熔胶固化时，会因冷却率(cooling rate)不同，而使得结晶度不同，而造成收缩的差异- 冷却得慢，结晶度和收缩率都会增加。

加上熔胶固化前的温度或压力差异都会造成收缩的差异。

所以要使得塑料收缩均匀并非易事，是要费心思努力以赴的目标。

找出应力的来源
Find the Sources of Stress



如果主要来源是

If the Major Source is

C. Hsu：
型腔面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 ?

如果主要来源是

If the Major Source is

取向影响
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。

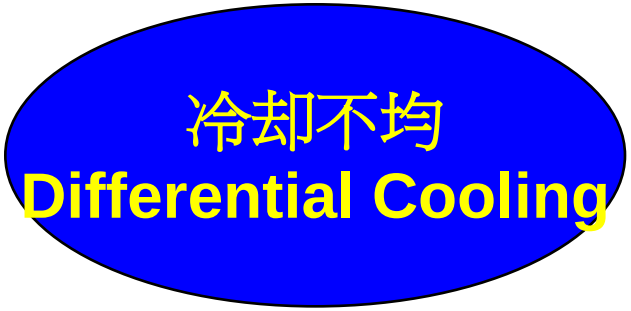
检查浇注系统 **Check the filling system**：

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

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

如果主要来源是

If the Major Source is



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 ?

如果主要来源是

If the Major Source is

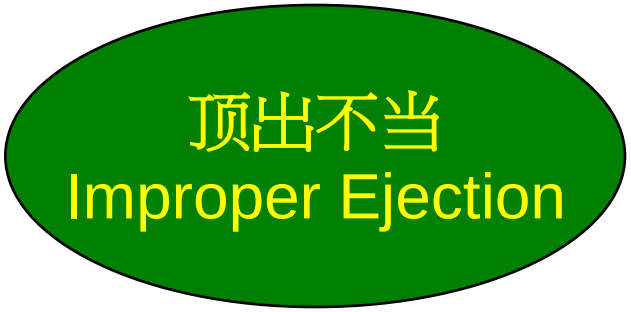
结晶不均
Differential Crystallization?

C. Hsu：结晶度不同造成的收缩不均。

塑件各面的冷却率差异是否太大?
Is the difference of the cooling rate at different part surface area too big ?

如果主要来源是

If the Major Source is



C. Hsu：顶出时局部应力过大。

顶出面积是否太小? Is the ejection area too small ?

顶出是否不均衡? Is the ejection unbalanced ?

顶出位置是否太薄弱？ Is the ejection position too weak ?

脱模阻力是否太大？ Is the resistance to demolding too large ?

如果主要来源是

If the Major Source is

C. Hsu：
型腔面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 ?

植发器套, PET-GF30, family mold produces two halves, 江苏省苏州市,
末端外翅, 2010. 8.13.

C. Hsu：1.加溢流井以达到流动平衡的目的； 2. No flow leader and flow deflector in the cavity, 壁厚保持均一, 2010.8.14.

流动平衡
Flow Balance

就单型腔而言，流动平衡意味着熔胶前沿于同一时间抵达型腔各末端；就多型腔而言，流动平衡意味着熔胶前沿于同一时间抵达各型腔末端。

同一型腔的浇口数目相同时，流动平衡的浇口设计所须的射压与锁模力最低。

流动平衡的设计，熔胶的压力、温度以及体积收缩率分布均匀，质量均一。

流动平衡是塑料注射成型产品和模具设计最重要的原则之一。

如果主要来源是

If the Major Source is

取向影响
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 ?

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

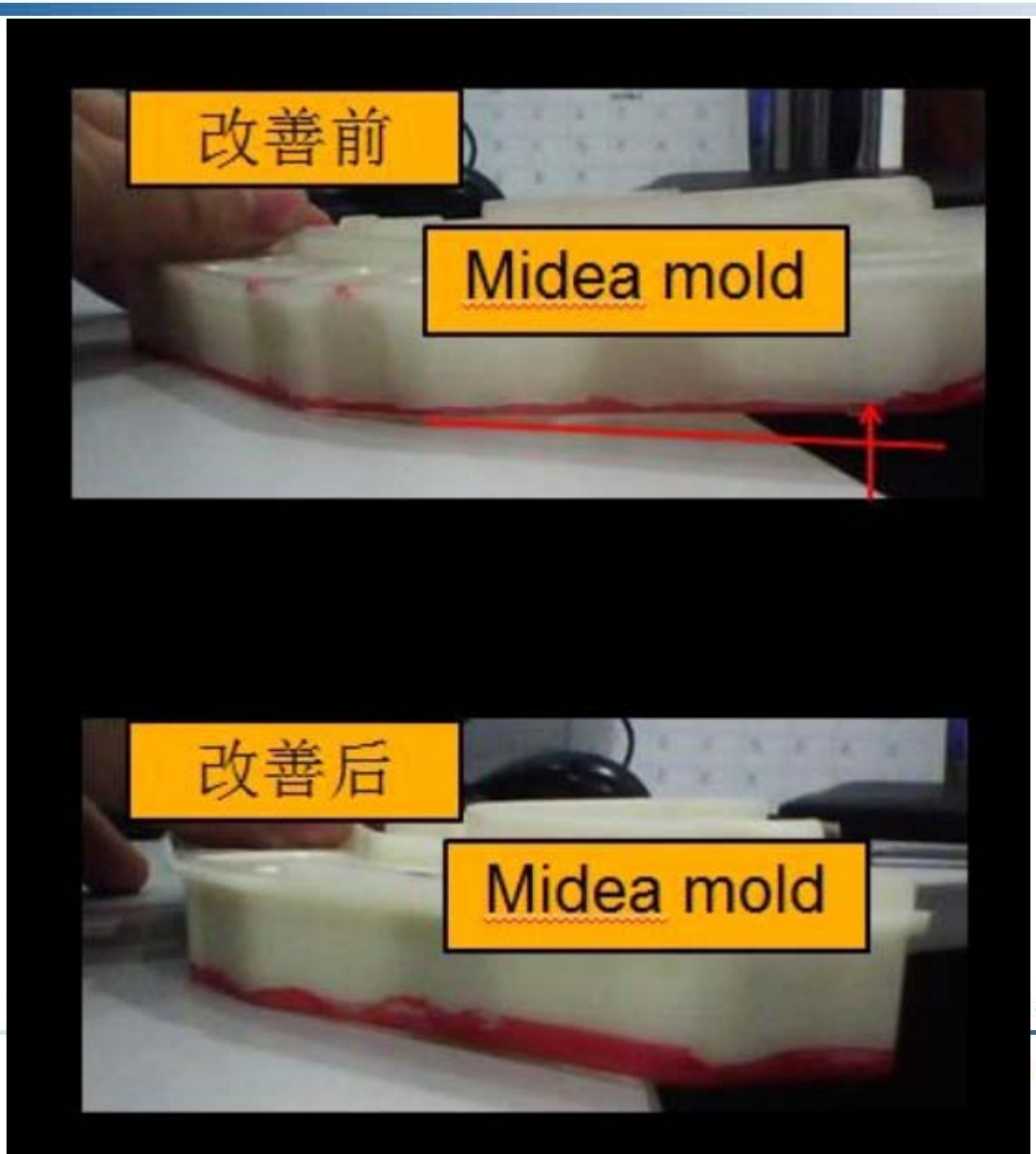
可以导致单一方向流的浇口设计，较能产出平直的制品。

空调内部结构件-左支撑，美的集团家用空调事业部模具公司，广东省佛山市，PP-GF30，边缘的平面度差，变形，影响功能，2014. 9. 25.

2014 第五届
Autodesk
Simulation
Moldflow
大师赛银獎

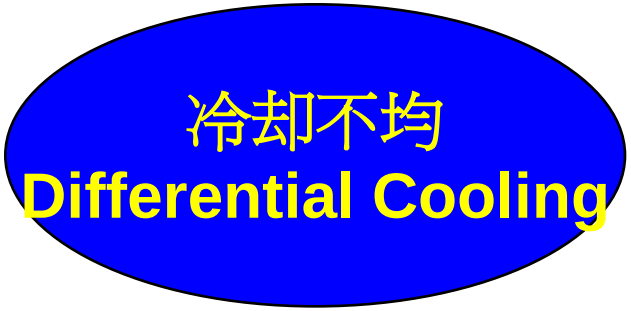
浇口2，
设变进胶方案

浇口1，
原始进胶方案


改善前
Midea mold
改善后
Midea mold

如果主要来源是

If the Major Source is



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**：

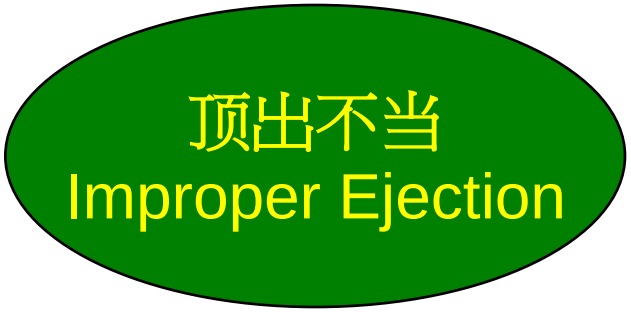
型腔厚度方向(或动定模之间)的冷却是否均衡?
Is the cooling, along the cavity thickness direction (or between the core and cavity sides), even ?

上盖, PA6, 河南省, 变形, 2014. 5. 10.

Top cover(汽车塑件), PC, 江苏省苏州市,
变形、迟滞痕、脱模时黏定模, 2013.3.28-29.
C. Hsu：动、
定模温应同
定模模温：130°C
动模模温：50°C
03/28/2013 23:22
保压大时，concave upward
turns to concave downward.

如果主要来源是

If the Major Source is



C. Hsu：顶出时局部应力过大。

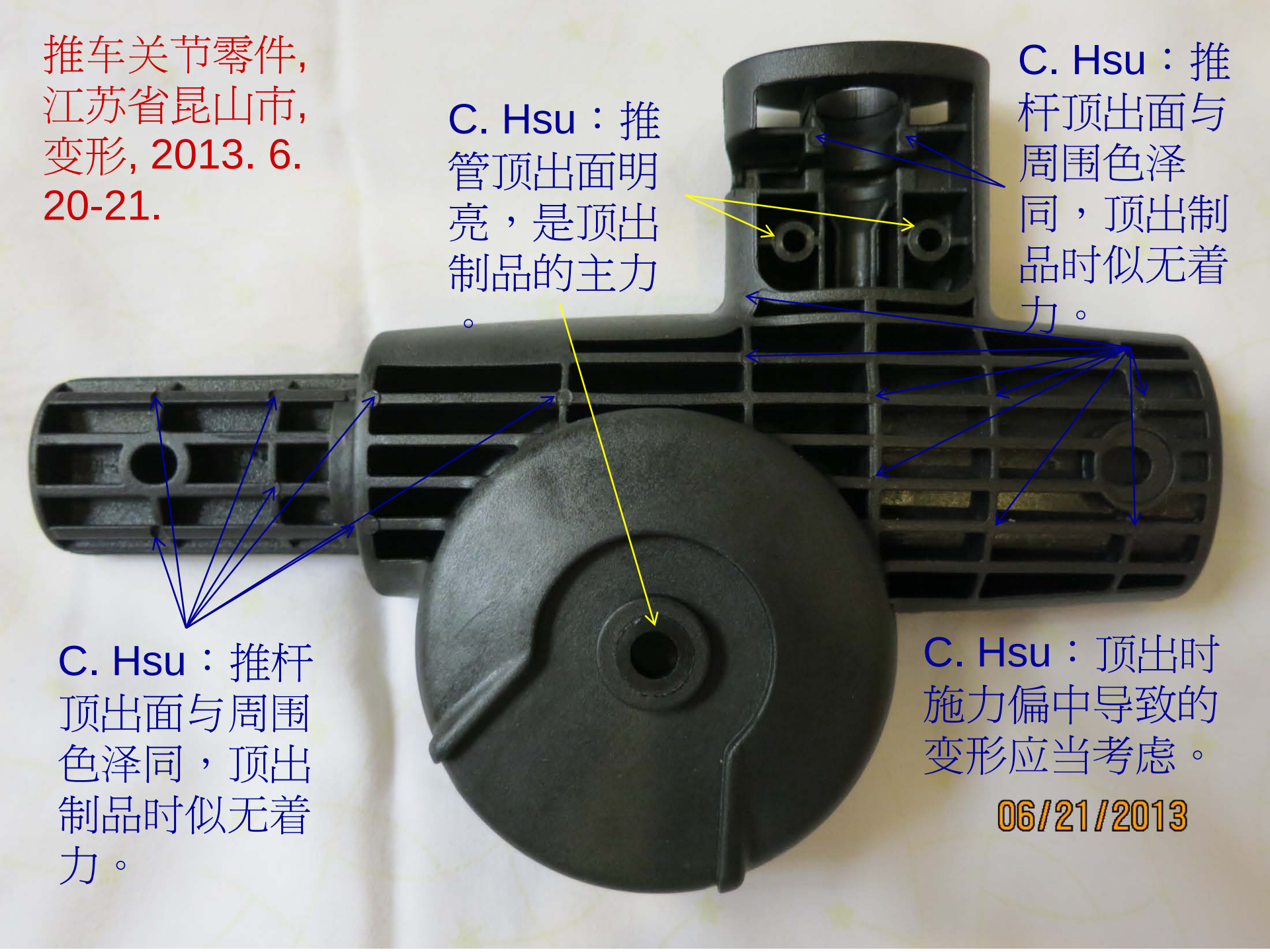
顶出面积是否太小? Is the ejection area too small ?

顶出是否不均衡? Is the ejection unbalanced ?

顶出位置是否太薄弱？ Is the ejection position too weak ?

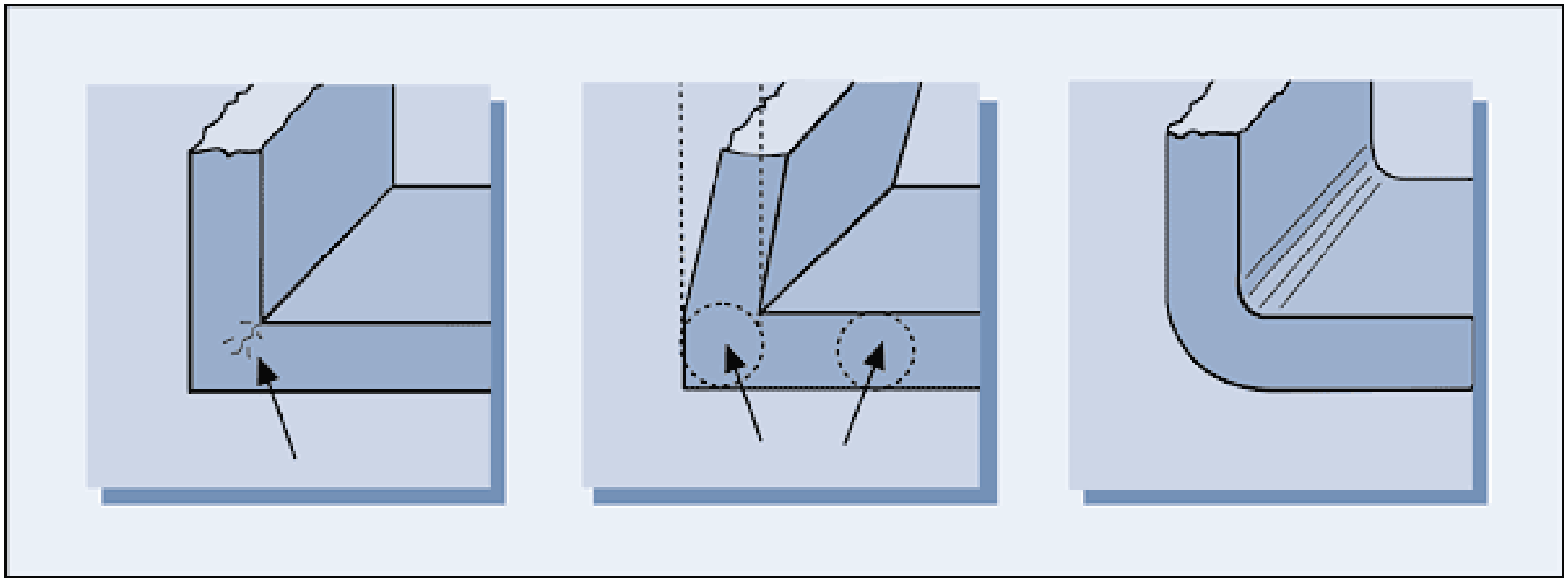
脱模阻力是否太大？ Is the resistance to demolding too large ?

推车关节零件,
江苏省昆山市,变形,
2013. 6. 20-21.
推管
06/21/2013


推车关节零件，江苏省昆山市，变形，2013. 6. 20-21.
C. Hsu：推管顶出面明亮，是顶出制品的主力。
C. Hsu：推杆顶出面与周围色泽同，顶出制品时似无着力。
C. Hsu：推杆顶出面与周围色泽同，顶出制品时似无着力。
C. Hsu：顶出时施力偏中导致的变形应当考虑。
06/21/2013

缓解制品局部的应力集中

转角
Corner



转角半径
Corner Radius

尖锐的转角应力集中。 塑胶中，如尼龙和聚碳酸酯者，是对V字型刻痕敏感的， 较之不敏感的塑胶，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名义厚度的25%时，角落就会有高的应力集中。 内圆角的半径增加到名义厚度的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名义厚度的50%。

应力集中因数

Stress Concentration Factor

应力集中因数K的定义： 实际最大局部应力(不连续处的峰值)对名义 (典型力学用于规范几何形状及净断面-忽略了较复杂的应力分布-上的公式决定的)应力的比值。

Stress concentration (or intensity) **factor, K**, is defined as the ratio of the true maximum stress (the peak stress at the discontinuity) to the stress anticipated or determined using classical formulas of mechanics (for regular geometries) for the net section, ignoring the more complex stress distribution.

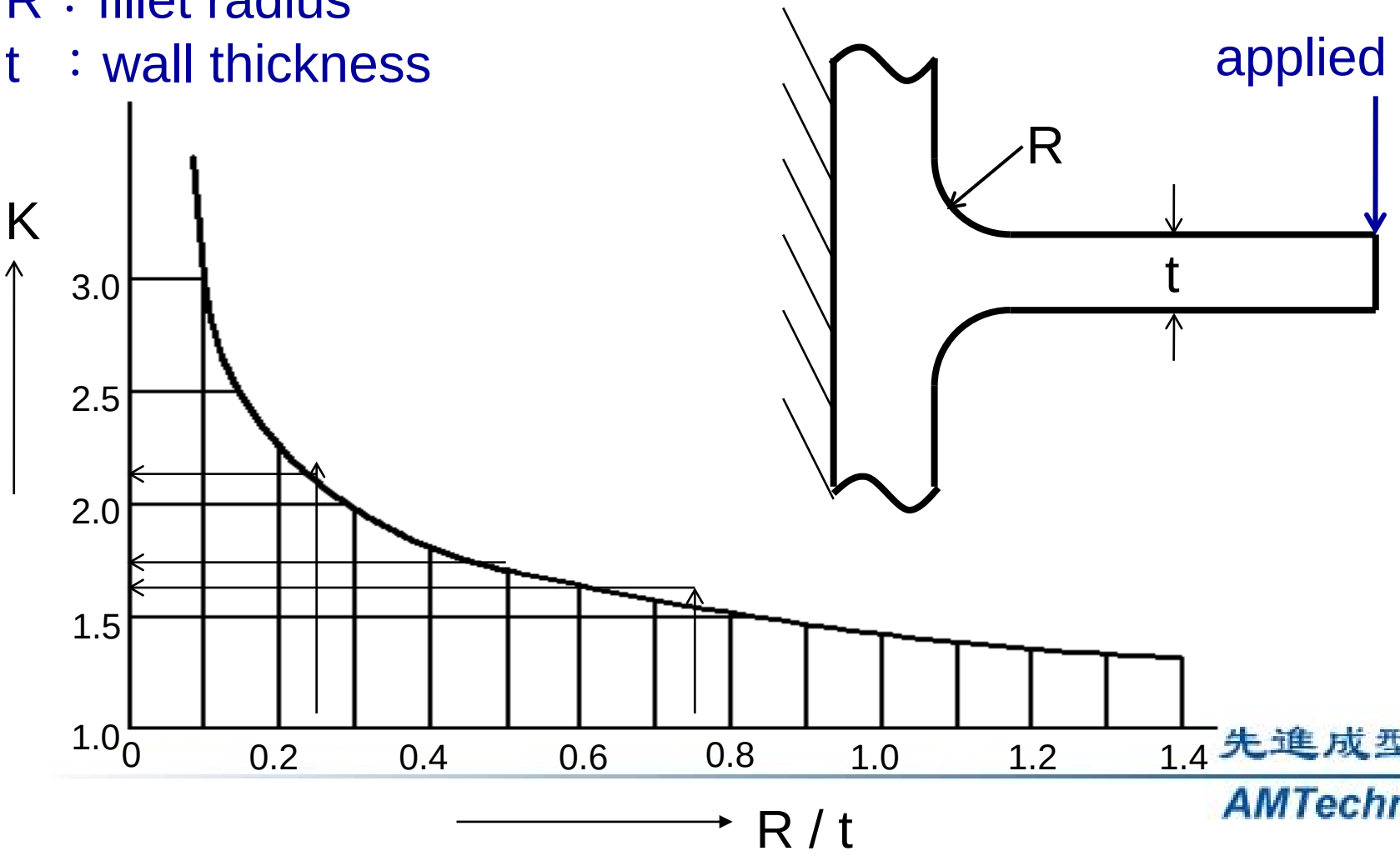
内圆角半径与应力集中

Fillet Radius and Stress Concentration

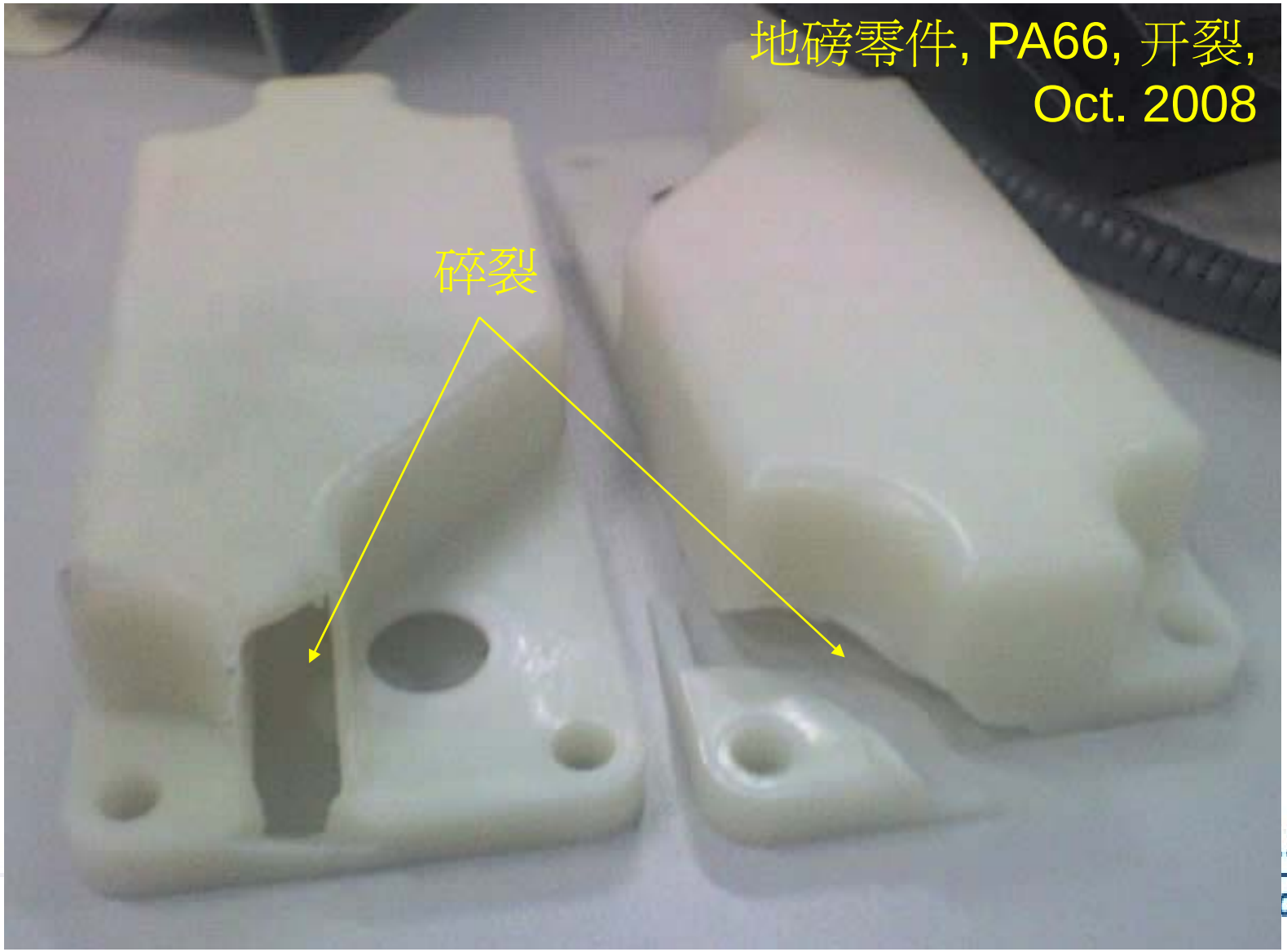
K：stress concentration factor

R：fillet radius

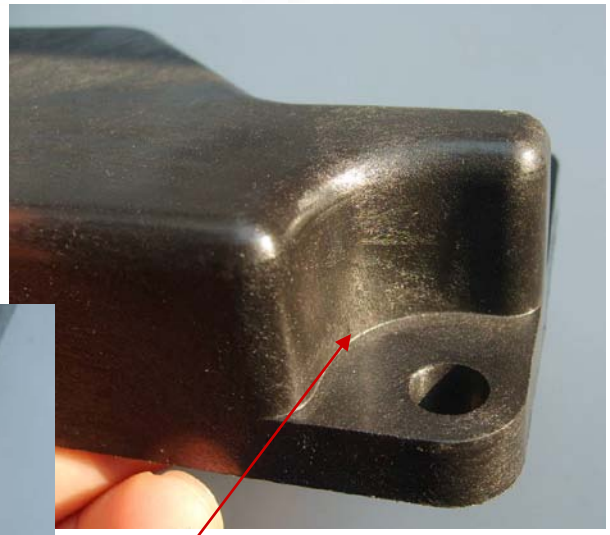
t ：wall thickness

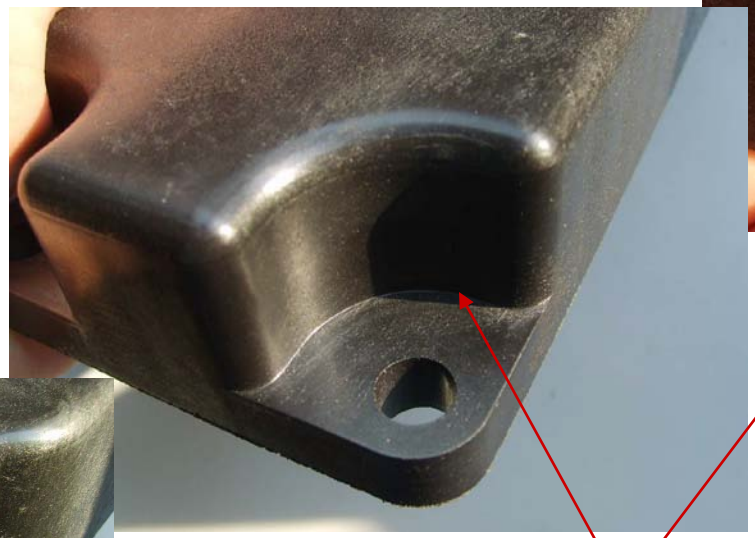


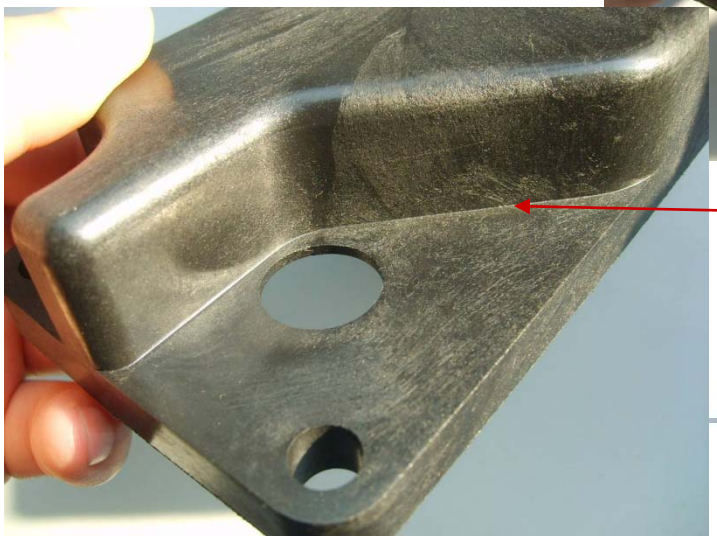
先進成型技術
AMTechnology


地磅零件, PA66, 开裂,
Oct. 2008
碎裂

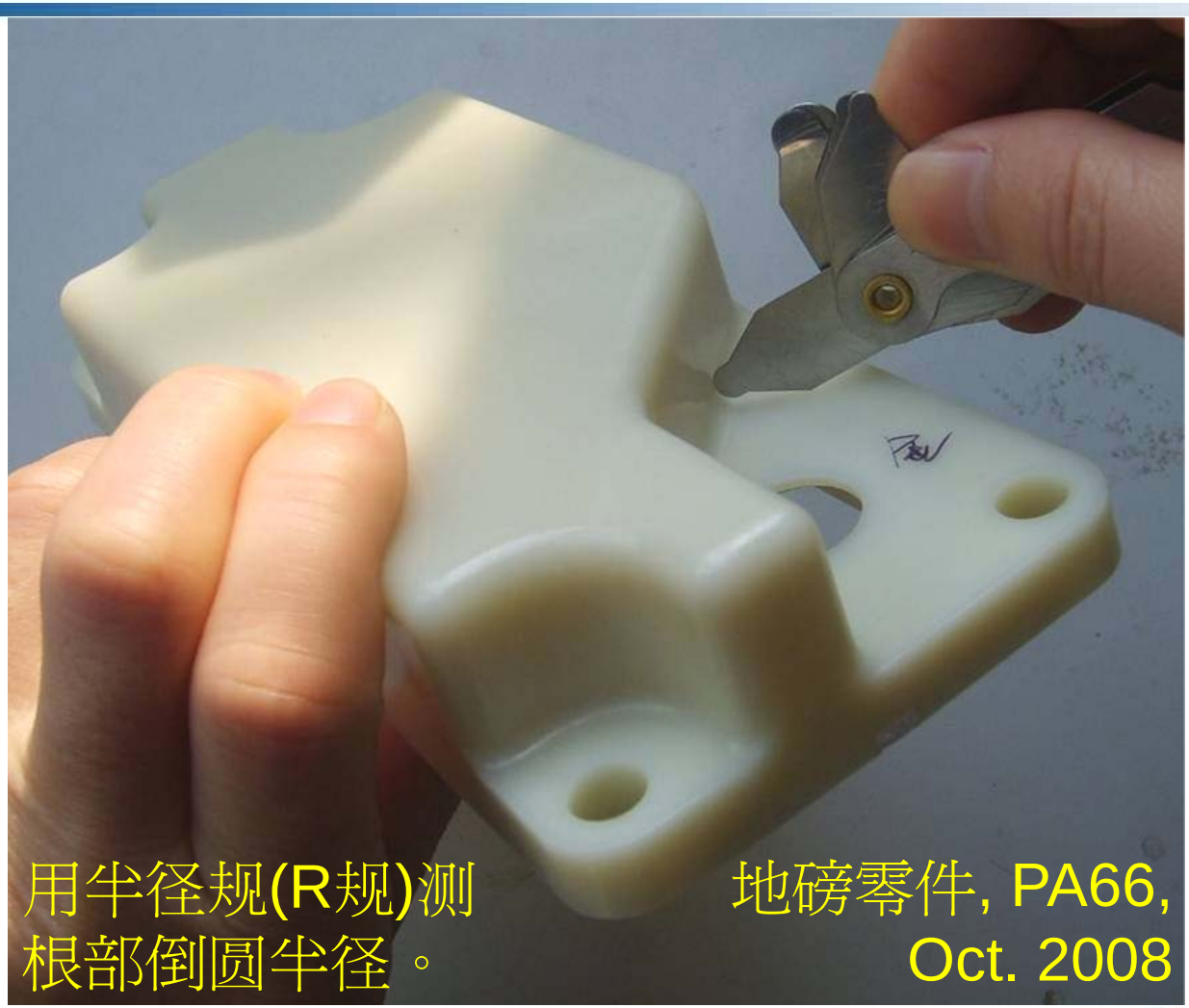
地磅零件, PA66,
开裂, Oct. 2008







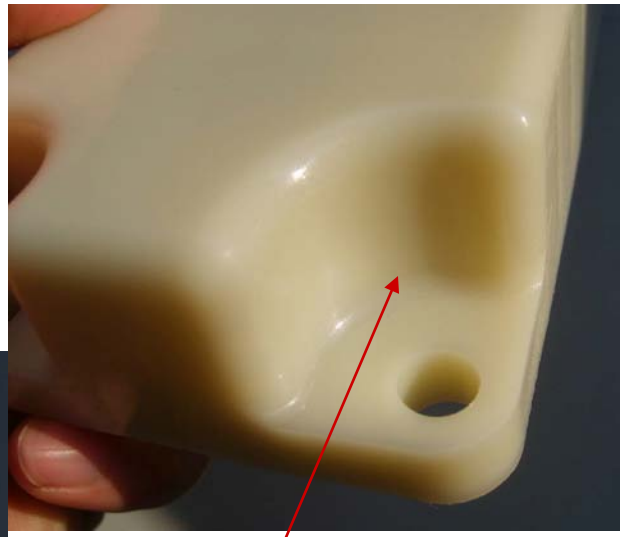
根部尖角

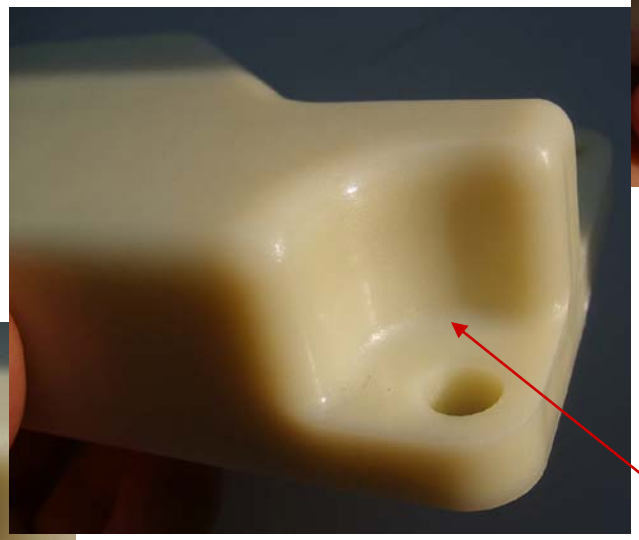


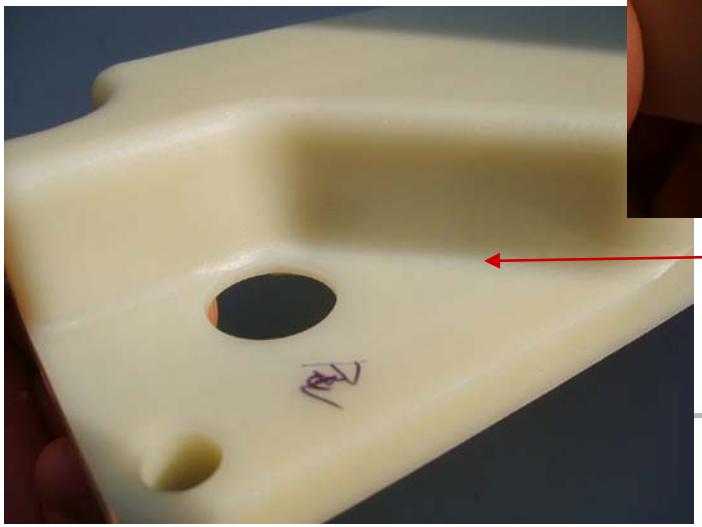
在尖角部位倒圆R2.5mm，开裂问题解决。

地磅零件, PA66,
Oct. 2008

在尖角部位倒圆
R2.5mm，
开裂问题解决。



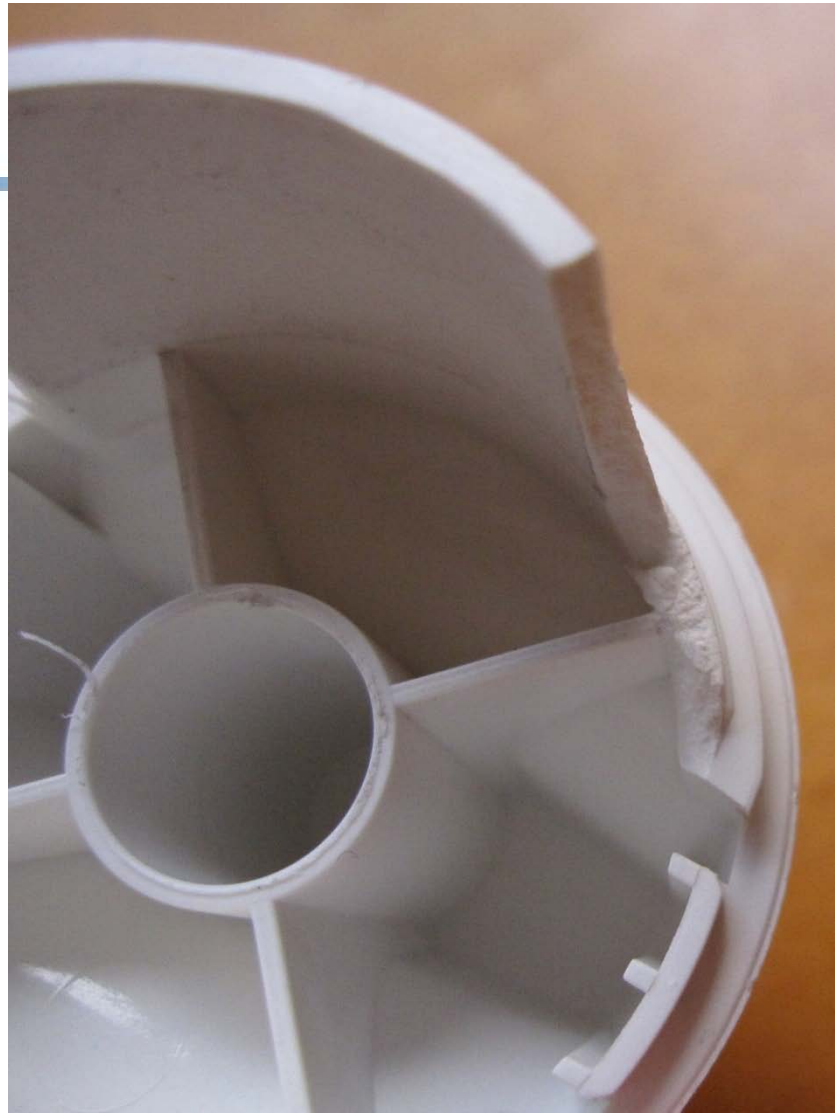


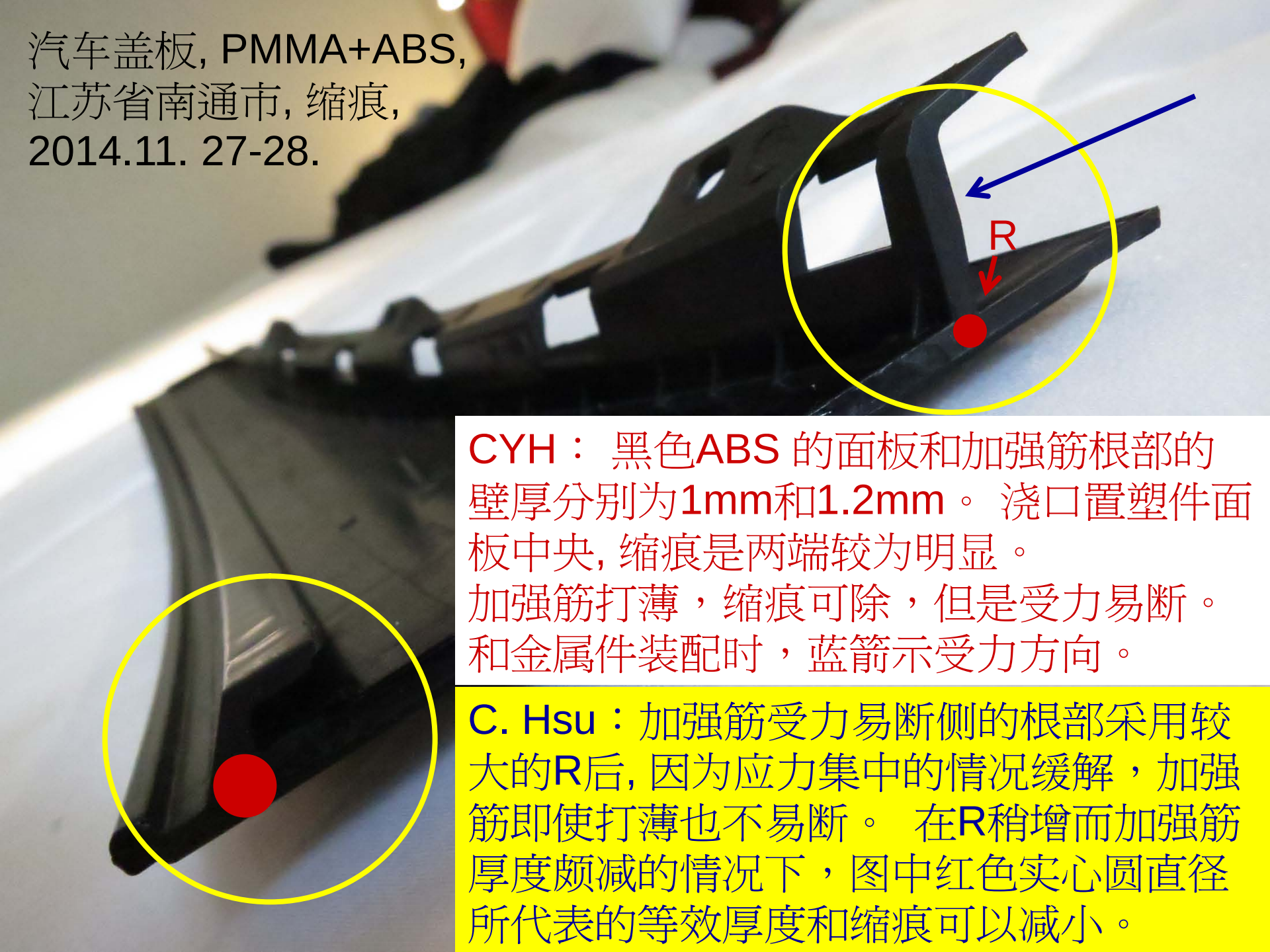


根部倒圆

注射笔旋钮, POM-GF20, 香港商台湾分公司,开裂, 2009. 8. 26.

注射笔旋钮, POM-GF20, 香港商台湾分公司, 开裂, 2009. 8. 26.





CYH： 黑色ABS 的面板和加强筋根部的壁厚分别为1mm和1.2mm。 浇口置塑件面板中央, 缩痕是两端较为明显。
加强筋打薄，缩痕可除，但是受力易断。
和金属件装配时，蓝箭示受力方向。

C. Hsu：加强筋受力易断侧的根部采用较大的R后, 因为应力集中的情况缓解，加强筋即使打薄也不易断。 在R稍增而加强筋厚度颇减的情况下，图中红色实心圆直径所代表的等效厚度和缩痕可以减小。

问答？

谢谢！

在爱护环境、珍惜资源、
促进精实高效成型科技的发展与创新。

持续发展的前提下，
-先进成型技术学会-