



超临界流体微发泡注塑成型的技术与应用

Supercritical Fluid Microcellular Plastic Injection Molding Technologies and Applications

徐昌煜

Charles Hsu

先进成型技术学会 创会理事

2014年12月11日
上海龙之梦大酒店

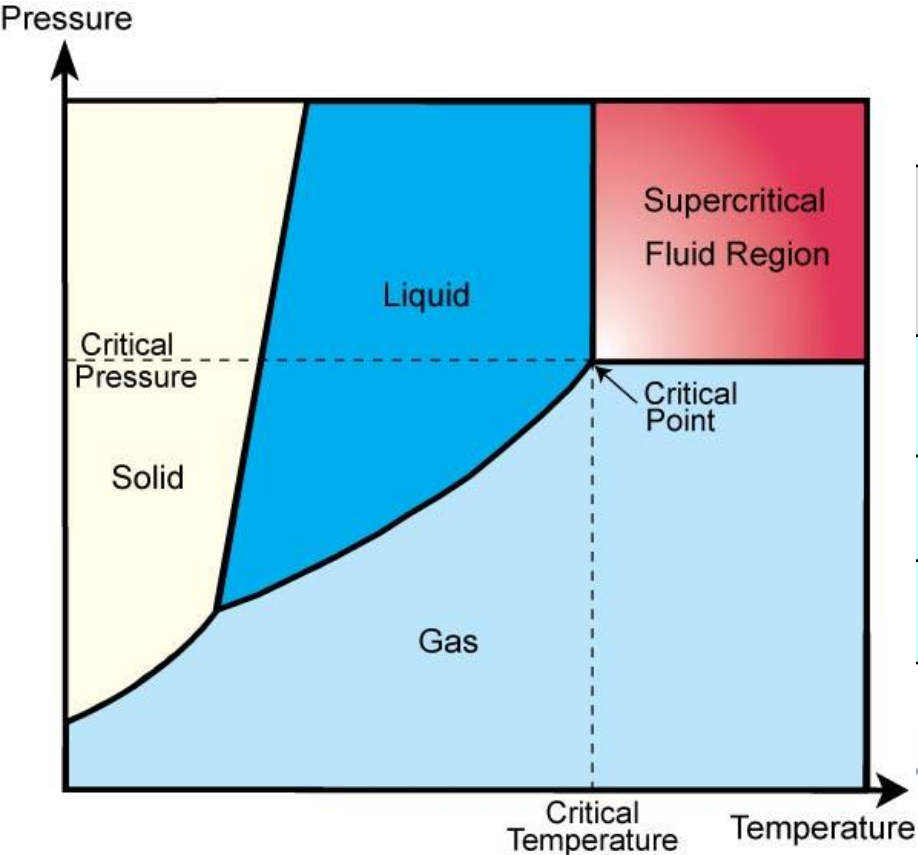
先進成型技術
AMTechnology

一、超临界流体微发泡注塑成型的物理背景和先天优势

超临界流体

Supercritical Fluid (SCF)

- 什么是超临界流体？
- 流体处于具有适当压力(>临界压力)和温度(>临界温度)的环境中，成为兼具气体与液体特性的流体。



常见SCF的临界点

	<i>Critical Temperature</i> ($^{\circ}\text{C}$)	<i>Critical Pressure</i> (MPa)
Carbon Dioxide 二氧化碳	31.1	7.38
Nitrogen 氮	-147	3.4
Water 水	374	22.12

超临界流体

Supercritical Fluid (SCF)

Phase	密度 (g/ml)	黏度 (g/cm*s)	扩散系数 (cm ² /s)
Gas	$(0.6\sim2.0)*10^{-3}$	$(0.5\sim3.5)*10^{-4}$	0.01~1.0
SCF	0.2~0.9	$(2.0\sim9.9)*10^{-3}$	$(0.5\sim3.3)*10^{-4}$
Liquid	0.8~1.0	$(0.3\sim2.4)*10^{-2}$	$(0.5\sim2.0)*10^{-5}$

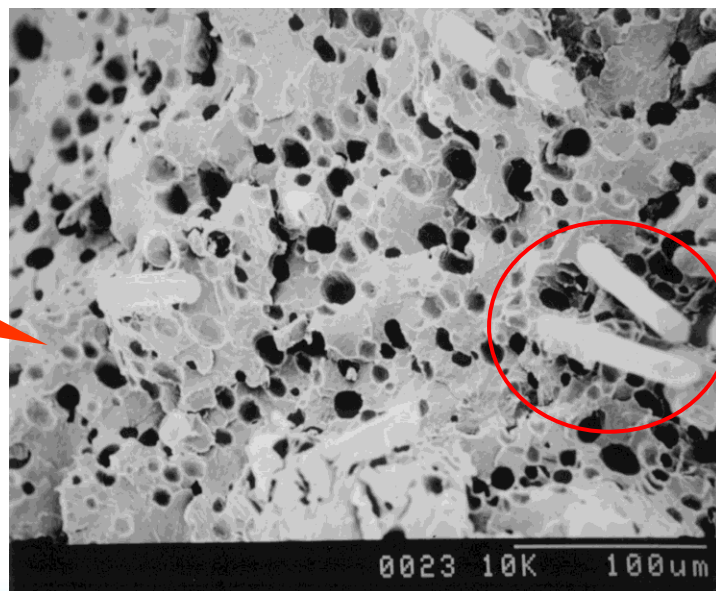
- 为什么要用超临界流体？
 - 具有液体的低压缩性
 - 具有气体的高扩散性
 - 具有很好的可溶解性
 - 可以精准的控制超临界流体的流量



超临界流体微发泡注塑成型

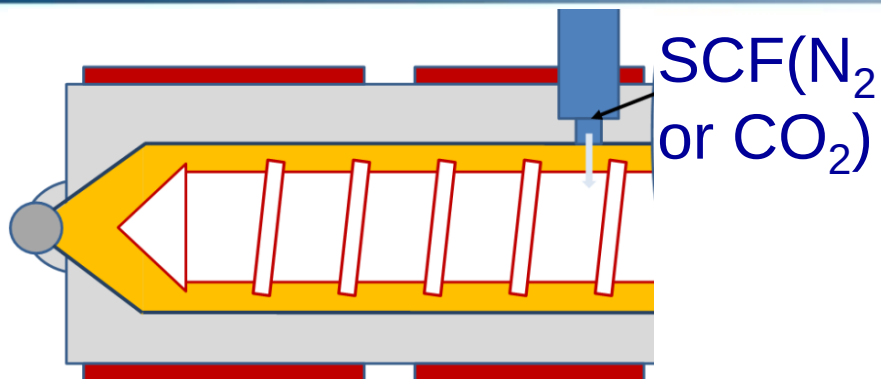
SCF Microcellular Injection Molding

超临界流体微发泡注塑成型工艺将熔体与超临界氮或二氧化碳流体在料筒内混炼成单相流体，经由喷嘴注射进模具时，熔体经历高的压力降而成核及生成10到50微米的微泡，均匀散布在模腔内，经微泡保压、塑料冷却定型，成为内含微泡的塑件。

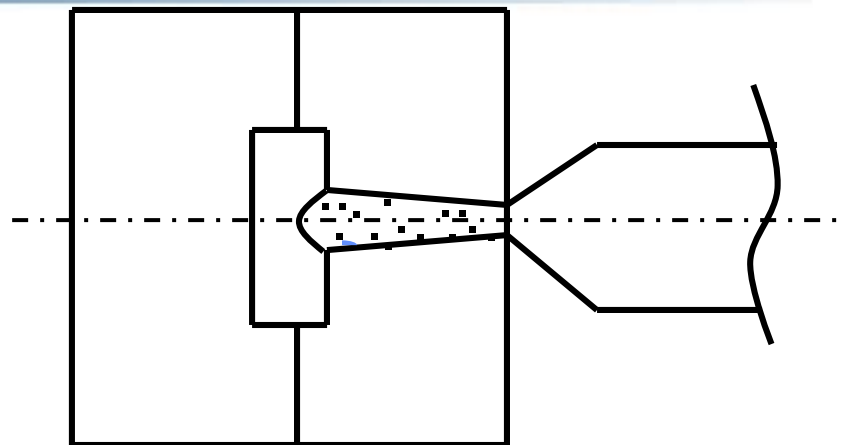


玻璃纤维
Glass Fiber

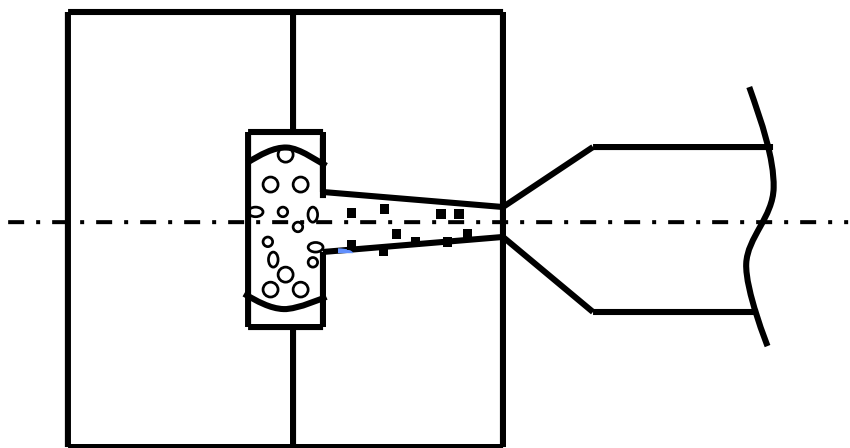
超临界流体微发泡注塑成型



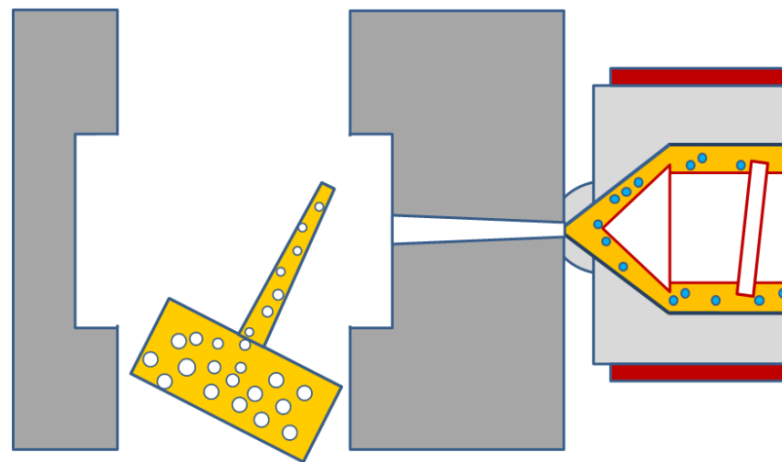
1. SCF注入料筒混炼成单相流体



2. 在高压力降下均匀成核



3. 充填型腔，气泡成长

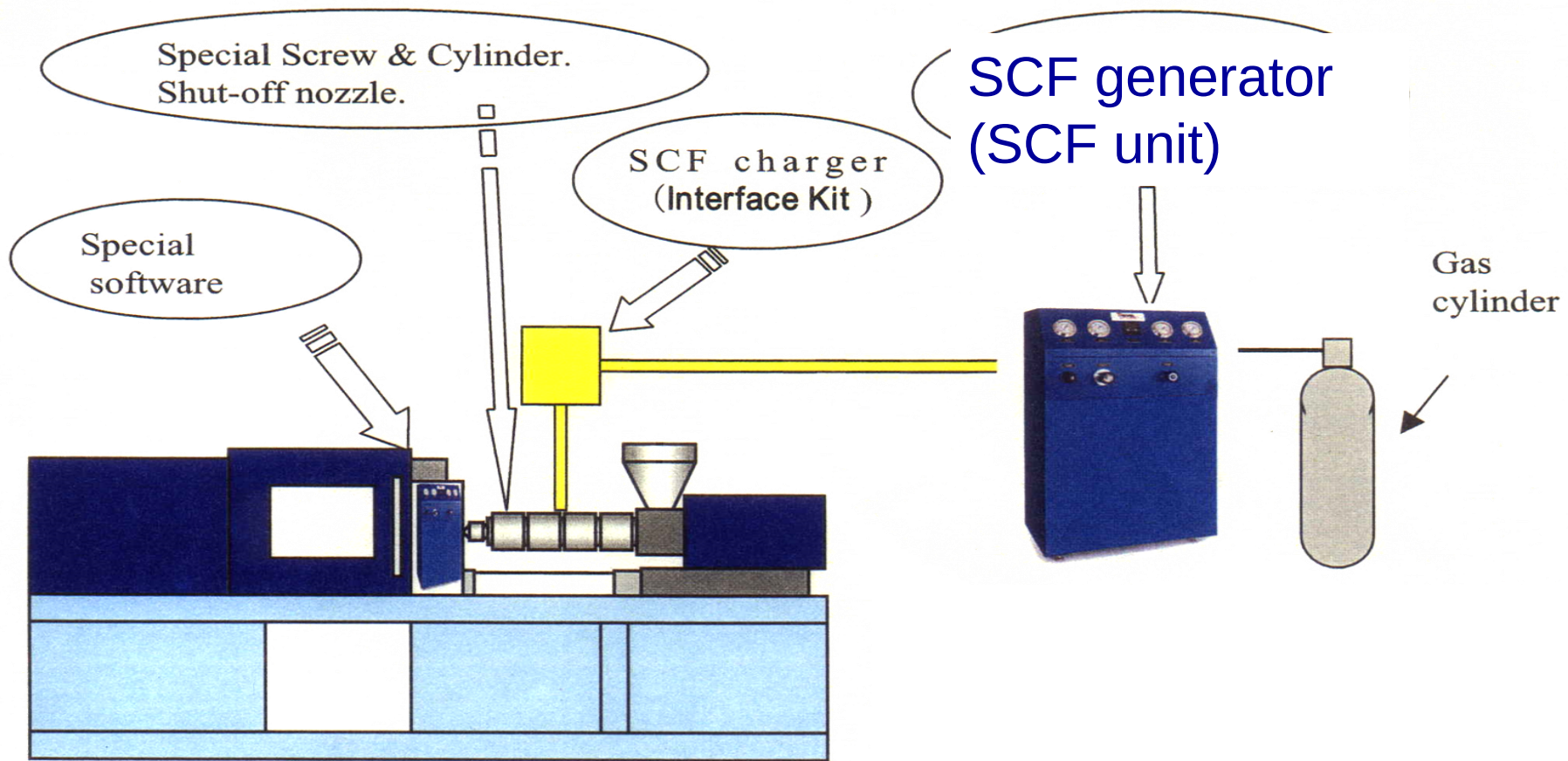


4. 制品成型脱模



超临界流体微发泡注塑成型

SCF Microcellular Injection Molding



超临界流体微发泡注塑成型的特点

- 1) 微发泡的熔体黏度低、压力降小，充填容易；
- 2) 压力降小，所须射压和锁模力低；
- 3) 压力降小，上下游熔体压力差小、塑料收缩差异小，加上剪切应力小，残余应力低，产品不易变形，产品尺寸精准而且稳定；
- 4) 黏度低，可用低料温和低模温，冷却时间短，加上充填后即可释除保压(靠型腔熔体内的微泡膨胀保压)，去除传统的保压时间，加上残余应力小，不需以模具作为治具，费时等待制品冷硬后开模，周期时间缩短；
- 5) 型腔熔体内的微泡持续膨胀保压，可避免缩痕(sink mark)和缩孔(void)；
- 6) 产品减重；
- 7) 不需要设计气道，较之气辅注塑成型，超临界流体微发泡注塑成型的产品和模具设计比较容易。

二、以实例讲解超临界流体微发泡注塑成型的主要应用在于达致产品尺寸的精准度和稳定性

为何超临界流体微发泡注塑成型的产品尺寸能有较高的精准度和稳定性？

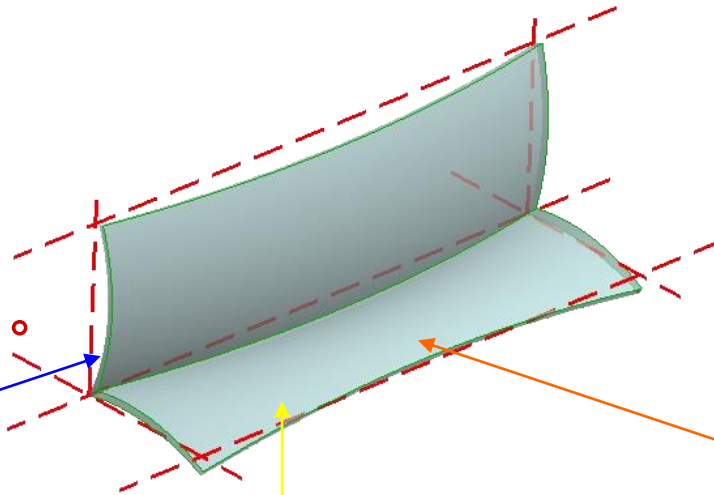
注塑成型制品从注射成型机取出时变形的程度是两股势力角力的结果：一是制品本身的强度和刚度，另一是制品内部的残余应力。后者胜过前者，变形就比较严重。

超临界流体微发泡注塑成型制品比较容易达致产品尺寸的精准度和稳定性，主要是因为残余应力低、不容易变形。

目前商用化的注塑CAE把残余应力的来源分成三大支：**1. 区域性收缩不均、2. 壁厚方向冷却不均、3. 取向效应。**

为何超临界流体微发泡注塑成型的产品尺寸能有较高的精准度和稳定性？

目前商用化的注塑
CAE把残余应力的来源
分成三大支：1. 区域性
收缩不均、2. 壁厚方向
冷却不均、3. 取向效应。



壁厚方向冷却不均
Differential Cooling

取向效应
Orientation Effects

区域性收缩不均
Differential Shrinkage

为何超临界流体微发泡注塑成型的产品尺寸能有较高的精准度和稳定性？

目前商用化的注塑CAE把残余应力的肇因归为三大项：1. 区域性收缩不均、2. 壁厚方向冷却不均、3. 取向效应。

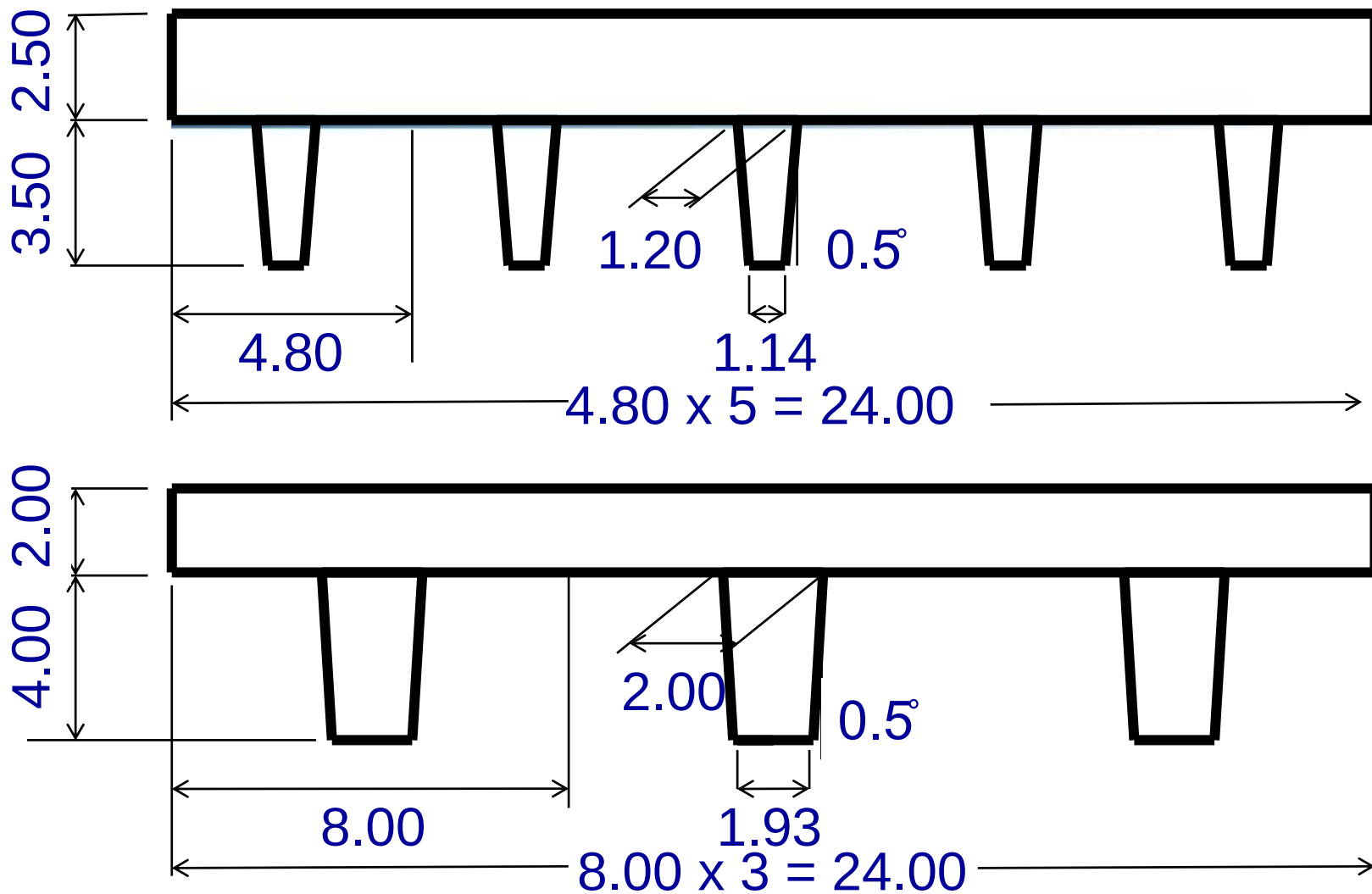
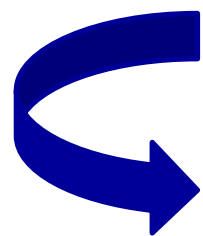
传统的超临界流体微发泡注塑成型可以就这三大项残余应力的肇因进行正本清源、防患未然的工作：黏度的降低和发泡保压取代了自浇口挤压熔体进入型腔的保压，分别减少了充填和保压阶段的压力降和剪切应力，减少了1和3项因素产生的残余应力，发泡保压使得后固化的熔胶与先行者的收缩差异变小，而使得2项的影响变小而减少了2项因素产生的残余应力。

为何超临界流体微发泡注塑成型的产品尺寸能有较高的精准度和稳定性？

采用气体反压(gas counterpressure)的超临界流体微发泡注塑成型，可以进一步降低剪切应力，而使得1和3项残余应力减少得更多，变形更小而产品尺寸更为精准和稳定。

要减少变形，减少制品的残余应力是一途，优化制品的结构强度和刚度是另一途，当然，双管齐下效果更佳。

超临界流体微发泡注塑成型是以发泡的方式保压，即使采用厚如外壳的加强筋也不必担心缩痕。在用料较少的情况下，只要设计得当，制品的结构强度和刚度不减反增，使得变形进一步减少(见后页案例)。



与加强筋根部厚1.2mm和面板厚2.5mm的传统外壳比，加强筋根部厚2.00mm和面板厚2.00mm的超临界流体微发泡注塑成型 (SCF Microcellular Injection Molding) 外壳(以8%塑料被氮气取代为例)只需80%的材料(减料或减重20%)，比弯曲刚度(specific flexural

Interior Door Trim (内门饰条) , 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

先進成型技術

AMTechnology



Nov 18, 2014

Dear Chang-Yu

I'm excited to share with you the latest news from Trexel. We've completed some very exciting applications, added new staff, attended key global trade shows and developed some important partnerships.

Thank you for your continued interest in MuCell® microcellular foaming technology for injection molding.

*Regards,
Steve Braig, President and CEO, Trexel, Inc.*

先進成型技術
AMTechnology

Trexel, GmbH Presents Daimler Mercedes C-Class console with 50% weight reduction using MuCell® at Fakuma (2014年德国塑料展FAKUMA)

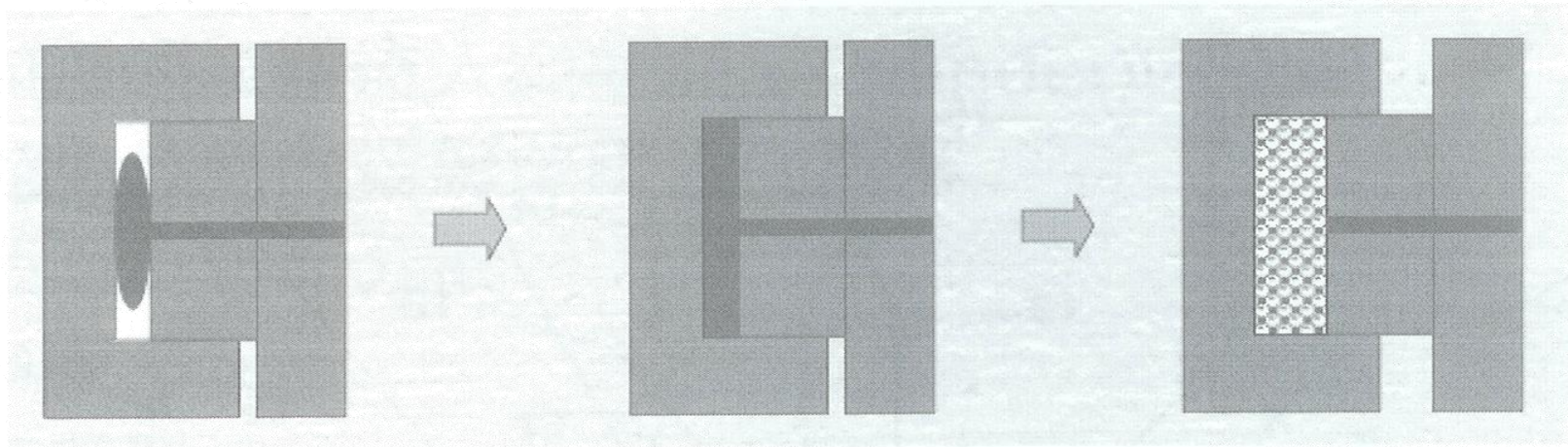
The newest development with the MuCell technology was shown on the Trexel booth: **the center console(控制台，操纵台) of the Daimler Mercedes C-Class**, that achieved an optimum of productivity and weight savings using MuCell. The whole assembly group of the center console contains six different part types - with each and every part of the assembly designed and produced using MuCell technology. Thanks to the systematic implementation of physical foaming, **the part weight could be reduced by 50% (減重一半)** compared to its predecessor(前身).

"This application was one of the reasons that our booth was so crowded during the whole show", said Dr. Hartmut Traut, Business Director at Trexel GmbH. "Lightweight design is the main subject in the automotive industry and MuCell is a tool which brings this to perfection!"

Trexel, GmbH Presents Daimler Mercedes C-Class console with 50% weight reduction using MuCell® at Fakuma (2014年德国塑料展FAKUMA)



先進成型技術
AMTechnology



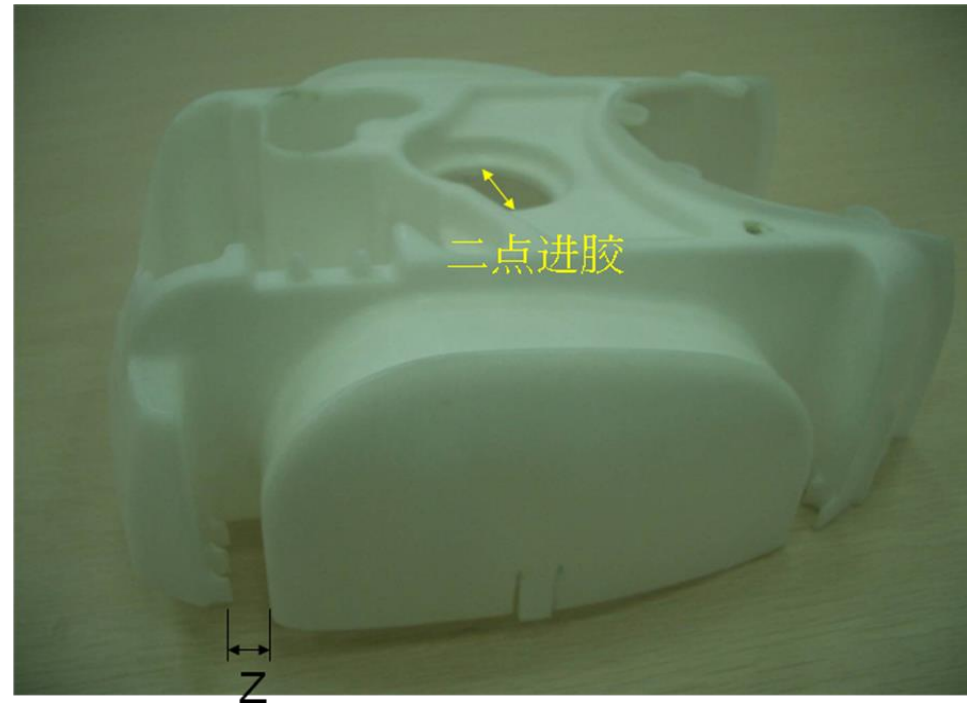
使用模穴縫隙可變模具，在充填後擴大模穴

- 採用滑動模芯法（真正的抽芯（Core-Back）法）
- 利用可動模具承板的動作方法（上圖）

秋元英郎(Dr. Akimoto Hideo, 日本秋元技術士事物所所長
於2011年2月23日在台中市塑膠工業技術發展中心講：
”射出發泡成型(尤其是微細射出發泡成型)的問題解決與最新動向”

超临界流体微发泡注塑成型改善 产品尺寸精准度和稳定性的案例

右图是一采用超临界流体微发泡注塑成型的医疗器械的PP外壳，之前以传统注塑成型试模时，左下槽缝间距 Z 始终无法达到要求的9.8mm，最好的情形也只能做到7mm。改用超临界流体微发泡注塑成型后，该间距 Z 很容易就达到规格要求。



超临界流体微发泡注塑成型改善 产品尺寸精准度和稳定性的案例

此一应用发挥了上述超临界流体微发泡注塑成型的第3项优势：压力降小，上下游熔体压力差小、塑料收缩差异小，加上剪切应力小，残余应力低，产品不易变形，产品尺寸精准而且稳定。因此，有平面度(**flatness**)和真圆度(**roundness**)要求而采用传统注塑成型难以达成目标的产品，就会想到超临界流体微发泡注塑成型的应用。

超临界流体微发泡注塑成型改善产品尺寸精准度和稳定性的案例

右图是一医疗器械的塑件，材料是PA6-GF30(添加30%玻璃纤维的尼龙单六)，采用如图示的二浇口设计，以传统方式注塑成型时，平面度达不到要求，费时经年，备受煎熬。后来采用超临界流体微发泡注塑成型，不但平面度达到要求，而且因为压力降小，只需使用单一浇口，因而消除了中央一条有碍观瞻的熔接线(weldline)。



超临界流体微发泡注塑成型改善 产品尺寸精准度和稳定性的案例

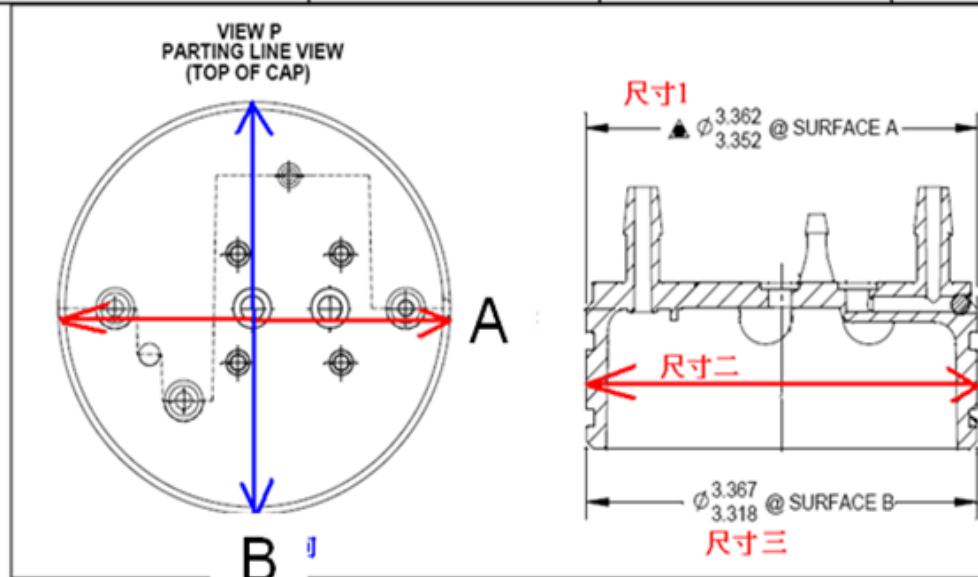


左图是一医疗器械用盖，材料是PA6-GF14(添加14%玻璃纤维的尼龙单六)，传统注塑成型时，即使采用夹具(jig)和治具(fixture)，真圆度仍然不符合要求。采用超临界流体微发泡注塑成型之后，真圆度大为改善。

超临界流体微发泡注塑成型改善产品尺寸精准度和稳定性的案例

樣品	Δ 尺寸 1 (inch)	Δ 尺寸 2 (inch)	Δ 尺寸 3 (inch)
傳統實心	0.0075	0.0120	0.0180
MuCell #1	0.0050	0.0025	0.0060
MuCell #2	0.0060	0.0020	0.0030

左图是与传统注塑成型比较，医疗器械用盖采用超临界流体微发泡注塑成型，真圆度改善的程度





超临界流体微发泡注塑成型改善 产品尺寸精准度和稳定性的案例

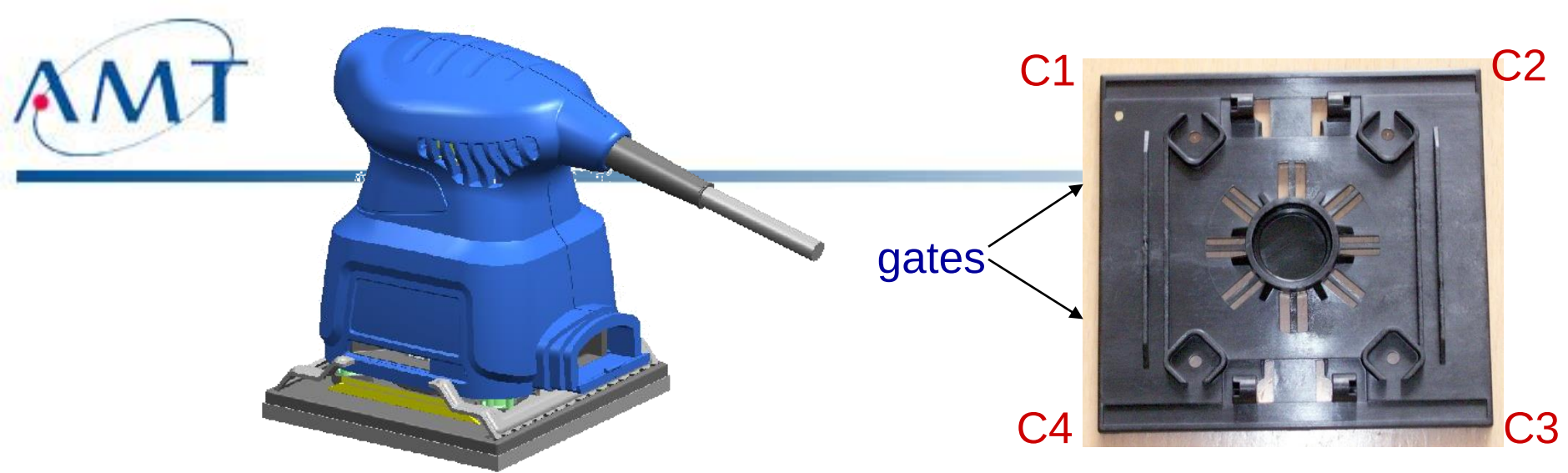
以前图之医疗器械用盖为例，真圆度改善是最重要的，其他获益有：

- 1) 周期时间缩短**31.5%**
- 2) 减重**20.0%**
- 3) 须要的锁模力减少**61.5%**
- 4) 同一付模具可以采用双型腔
- 5) 不再需要夹具和治具

超临界流体微发泡注塑成型改善 产品尺寸精准度和稳定性的案例

右图是一医药用钉枪外壳(medical staple gun housing)，材料是PPS或PC，采用超临界流体微发泡注塑成型，较之传统注塑成型，除了外壳合缝小和尺寸稳定以外，外壳减重30%、周期时间缩短50%(模温从80°C降到15°C)以及锁模力须求从120吨降到15吨(减少87.5%)。





左上图是一电动工具(手掌砂)，其底板如右上图所示，原来材料是铸铝，为了减重和降本，改以**PA6-GF30**(添加**30%**玻璃纤维的尼龙单六)注塑成型，由于变形严重，试用超临界流体微发泡注塑成型，除了变形减少**70%**(见下表)，底板减重**8%**以及周期时间缩短**18%**。

	Warpage (requirement is not > 0.34mm)					
	C1	C2	C3	C4	Average	Reduction
Solid	1.00mm	1.10mm	1.00mm	0.90mm	1.00mm	-
MuCell	0.32mm	0.25mm	0.32mm	0.30mm	0.30mm	70%

Bottom Plate for Power Tool



2010. 4. 21.
at Trexel
booth,
CHINAPLAS
2010, 上海



Power Tools Base Plate

<http://www.trexel.com/>

Application:
Power Tools Base Plate

Manufacturer:
Nanjing Chervon Industry Co., Ltd.



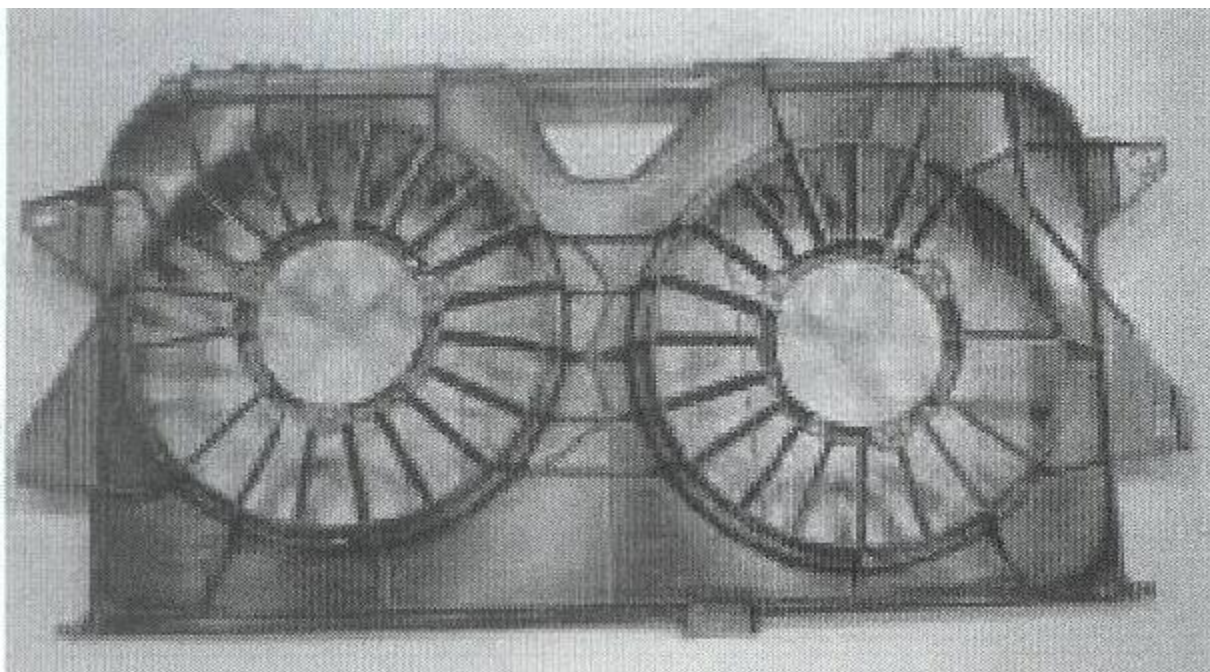
Benefits:

- Improvement in warpage by 70% to meet spec.
- Cycle time reduction of 18%
- Convert product from aluminum to a less costly plastic

先進成型技術
AMTechnology

超临界流体微发泡注塑成型改善 产品尺寸精准度和稳定性的案例

下图是汽车(Chrysler RS Car)用风扇罩，材料是尼龙单6(PA6)添加玻纤和矿纤，采用超临界流体微发泡注塑成型，较之传统注塑成型，除了变形减少以及耐疲劳寿命增长以外，产品(1,850克)较前减重8%、周期时间(45秒)较前缩短20%以及锁模力须求从800吨降到400吨(减少50%)。



超临界流体微发泡注塑成型改善产品尺寸精准度和稳定性的案例



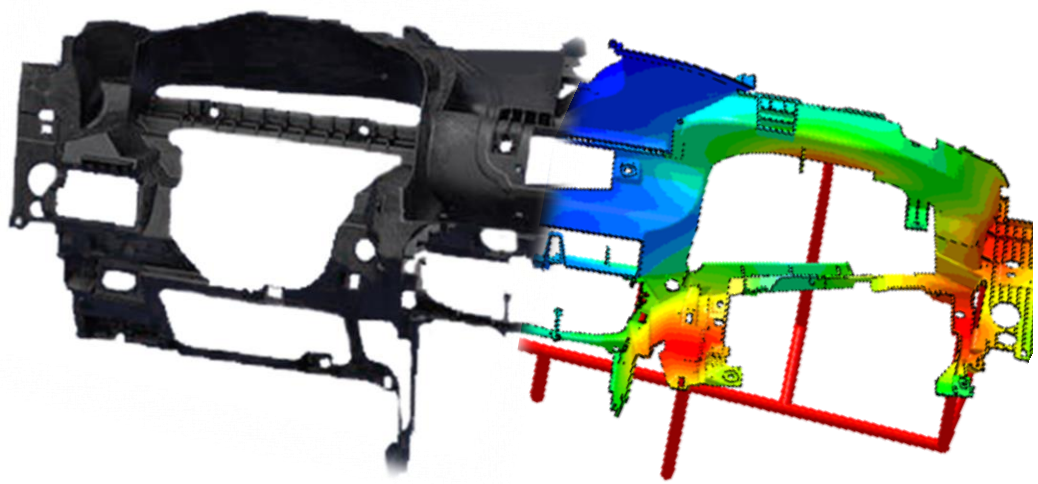
左图是一汽车散热器上盖(end tank , radiator)，材料是PA66-GF30(添加30%玻璃纤维的尼龙双六)，注射成型品的最大的问题是两侧壁如图中箭指方向内弯，使得装配困难。采用超临界流体微发泡注射成型之后，除了变形减少60%，产品减重12%、周期时间缩短32%以及锁模力须求减少50%。

MuCell® + LGFPP Instrumental Panel

MuCell IP wins grand award in SPE auto competition

By Doug Smock
Published: November 10th, 2011

A game-changing use of microcellular foam to reduce weight of instrument panels in the 2012 Ford Escape SUV and Kuga is the Grand Award winner in this year's Automotive Innovation Awards Competition held by the Society of Plastics Engineers. Winners were announced last week at a banquet in Livonia, MI.



	Solid Part	MuCell Part
Part Weight [g]	2724.2	2446.9
Max. Clamping Force [Ton (m)]	1579	699.5
x-Displacement [mm]	11.37	3.81
y-Displacement [mm]	15.69	6.87
z-Displacement [mm]	8.27	3.32

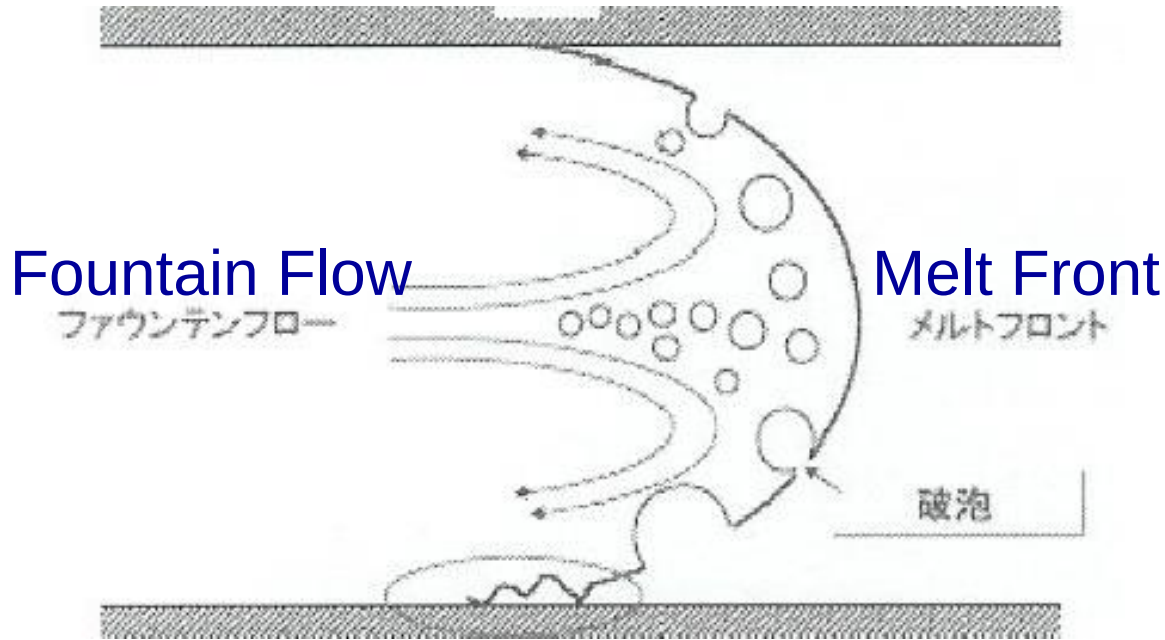
Part dimension: 644.5*1415.8*562.4 (mm)

仪表板重量从2,724.2克减到2,446.9克，减重10.2%
所需锁模力从1,579公吨降到699.5公吨，减少55.7%
x、y和z方向的变形位移分别减少66.5%、56.2%和59.9%

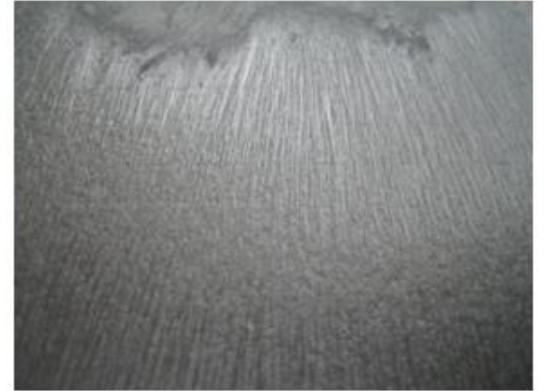
先進成型技術
AMTechnology

三、如何淡化和消除超临界流体
微发泡注塑成型产品的表面漩纹，
使得此一工艺可以用于外观件上

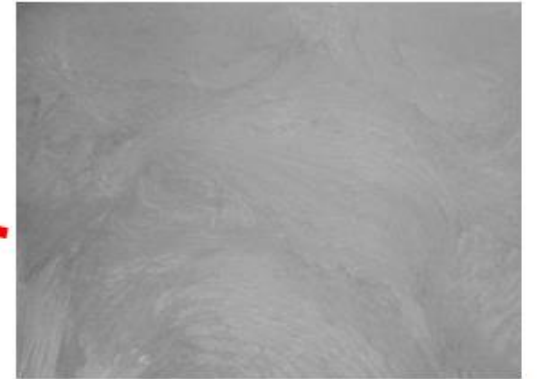
超临界流体微发泡注塑成型品常见缺陷



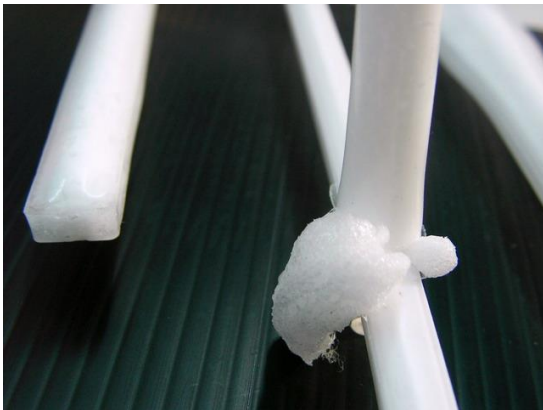
气泡受到拉扯造成表面银纹



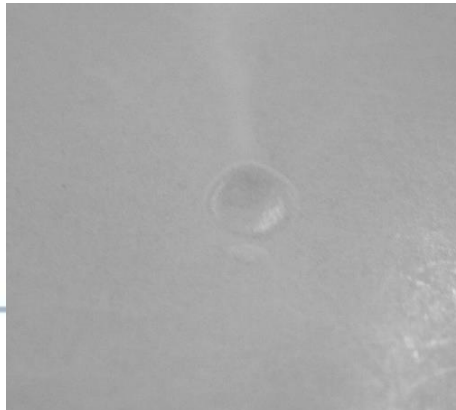
SCF析出滞留于模壁与熔体之间造成涡流纹路



冷却不足造成鼓泡爆裂



SCF溶解不完全造成内泡



先進成型技術
AMTechnology

超临界流体微发泡注塑成型+喷漆

SCF Microcellular Injection Molding + Painting

下图是一采用超临界流体微发泡注塑成型的汽车内饰框件(automotive trim bezels)，塑料是耐冲击的改性聚碳酸酯(impact modified PC)，主外观面以喷漆(painted with a water based system)遮盖微发泡注塑成型产生的表面银纹以及其他流痕等。

此一汽车内饰框件获得的超临界流体微发泡注塑成型的好处，包括了减重、周期时间缩短20%、锁模力须求降低35%、缩痕(sink mark)消除、平面度改善以及因为浇口少(从7减到3)而使得模具成本降低。



先進成型技術
AMTechnology

超临界流体微发泡注塑成型 + 皮紋面

SCF Microcellular Injection Molding + Textured Surface



电圆锯机筒, PA6-GF30, 2007.

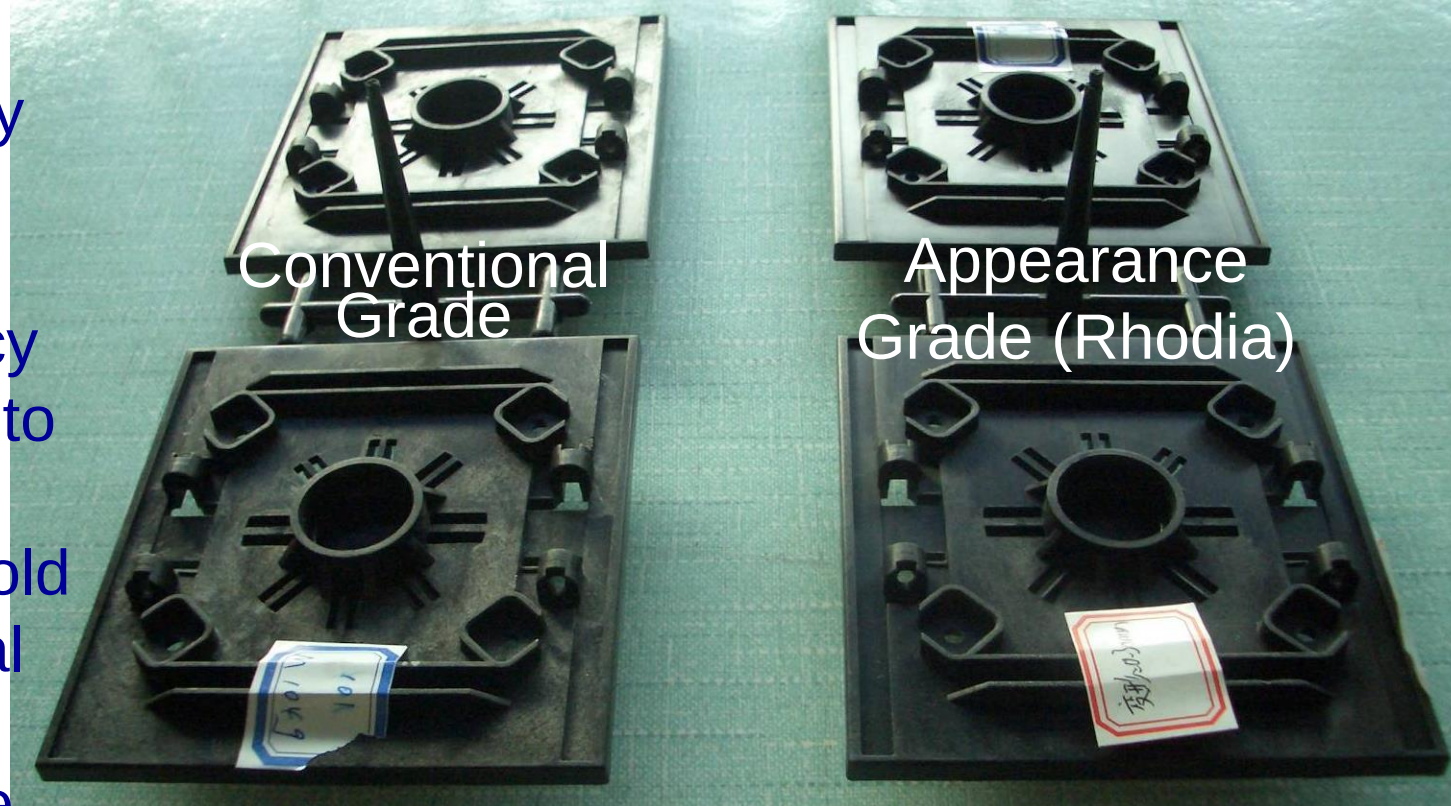
Texturing can be useful
for engineered resins.

先進成型技術
AMTechnology

改性料+超临界流体微发泡注塑成型

Appearance Grade Resin + SCF Microcellular Inj. Molding

Actual material reformulation by Rhodia to overcome the natural tendency of gas to come to the interface between the mold and the material as it is being injected into the mold and to create splay.



手掌砂底板, PA6-GF30, 2007.

先進成型技術
AMTechnology

改性料+超临界流体微发泡注塑成型

Appearance Grade Resin + SCF Microcellular Inj. Molding



Standard Grade



Appearance Grade

电钻(power drill),
PA 6 and 6,6 (BASF), 2008

先進成型技術
AMTechnology



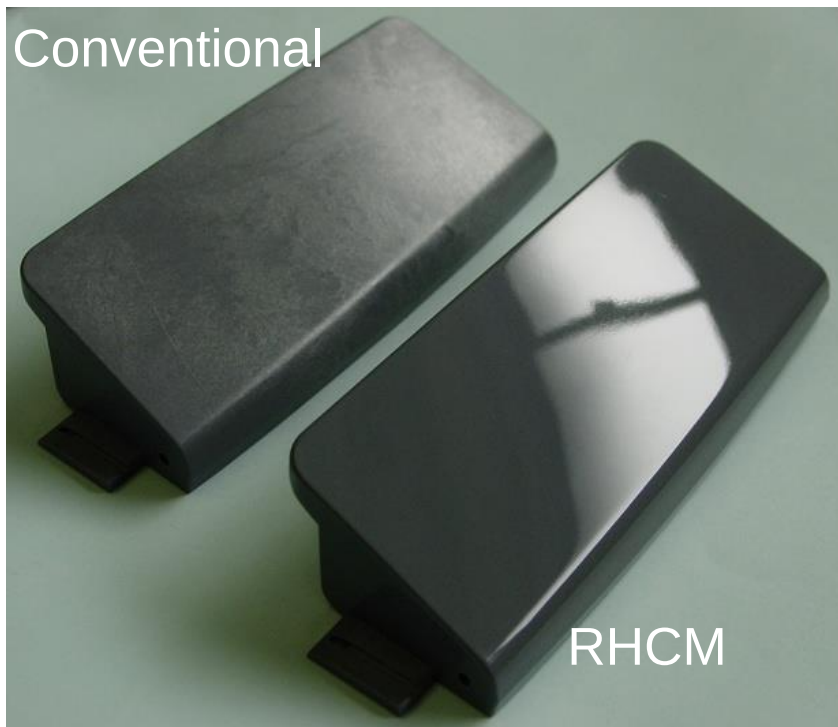
超临界流体微发泡注塑成型 + 优化工艺条件

SCF Microcellular Injection Molding + Optimized Processing Parameters

超临界流体微发泡注塑成型的工艺条件，包括超临界流体的用度、浇口尺寸、螺杆速度对行程曲线、射速、模温和料温，可以优化，以获得较好的表面光泽。

The parameters of the SCF microcellular injection molding process, including gas level, gate sizes, ram speed profiles, injection speeds, mold and melt temperatures, can be optimized in order to get better surface finish.

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



Polymer : ABS-GF20



超临界流体微发泡注塑成型+高模温 SCF Microcellular Inj. Molding+RHCM



At Trexel Booth, K 2010,
Germany, Oct. 27-Nov. 3, 2010

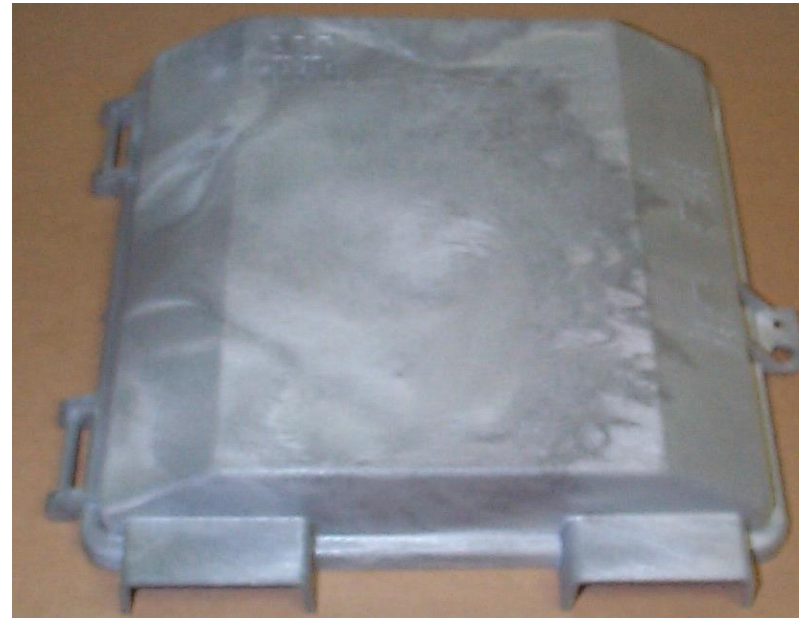
超临界流体微发泡注塑成型 + 优化螺杆速度对行程曲线

SCF Microcellular Injection Molding + Optimized Ram Speed Profile

Profiled Injection Speed



Unprofiled Injection Speed





超临界流体微发泡共射成型

SCF Microcellular Co-injection Molding



左图之汽车椅背，是先注射表面塑料**ABS**，接着注射核心微发泡塑料**ABS**。不仅表面色泽光滑均匀，而且缩痕(sink mark)减少**25%**、减重**13%**、周期时间缩短**24%**以及锁模力从**275 吨**降为**70吨**(降幅达**75%**)。

超临界流体微发泡注塑成型+模内装饰

SCF Microcellular Inj. Molding+IMD

下图是一采用超临界流体微发泡注塑成型和模内装饰(IMD)的汽车内饰件，预成型聚碳酸酯薄膜(PC film)覆盖在添加玻璃纤维的ABS壳体上，可以遮盖微发泡注塑成型产生的表面银纹以及其他流痕等。



超临界流体微发泡注塑成型+模内装饰

SCF Microcellular Inj. Molding+IMD

采用低黏度和低料温的超临界流体微发泡注塑成型，免除了模内装饰的顾忌 - 高料温、高剪切应力、高压降导致的冲墨、短射、飞边和变形等问题。而采用模内装饰则遮盖了超临界流体微发泡注塑成型件表面易见的银纹和流痕。模内装饰和超临界流体微发泡注塑成型的所有好处 - 包括产品表面花样新颖亮丽、尺寸精准稳定、无缩痕(sink mark)、注塑机所须射压(减少28%)和锁模力小(从250吨降到75吨，降幅高达70%)、用料少(减重10%)、周期时间短(料温从271°C降到 249°C)等等几乎囊括殆尽。

超临界流体微发泡注塑成型+模内装饰

SCF Microcellular Inj. Molding+IMD

图示一采用超临界流体微发泡注塑成型的盒，壁厚只有0.38mm，塑料是PP，主外观面覆以38 μ m(或0.038mm)厚的印花薄膜(film)，遮盖微发泡注塑成型产生的表面银纹以及其他流痕等(即IMD或IML, In-Mold-Labeling)。该盒以具二分型面而每一分型面有四型腔的堆迭模(4+4 cavity stack mold)生产，周期时间仅4.8秒，所须锁模力只有500吨(较前减少15-30%)

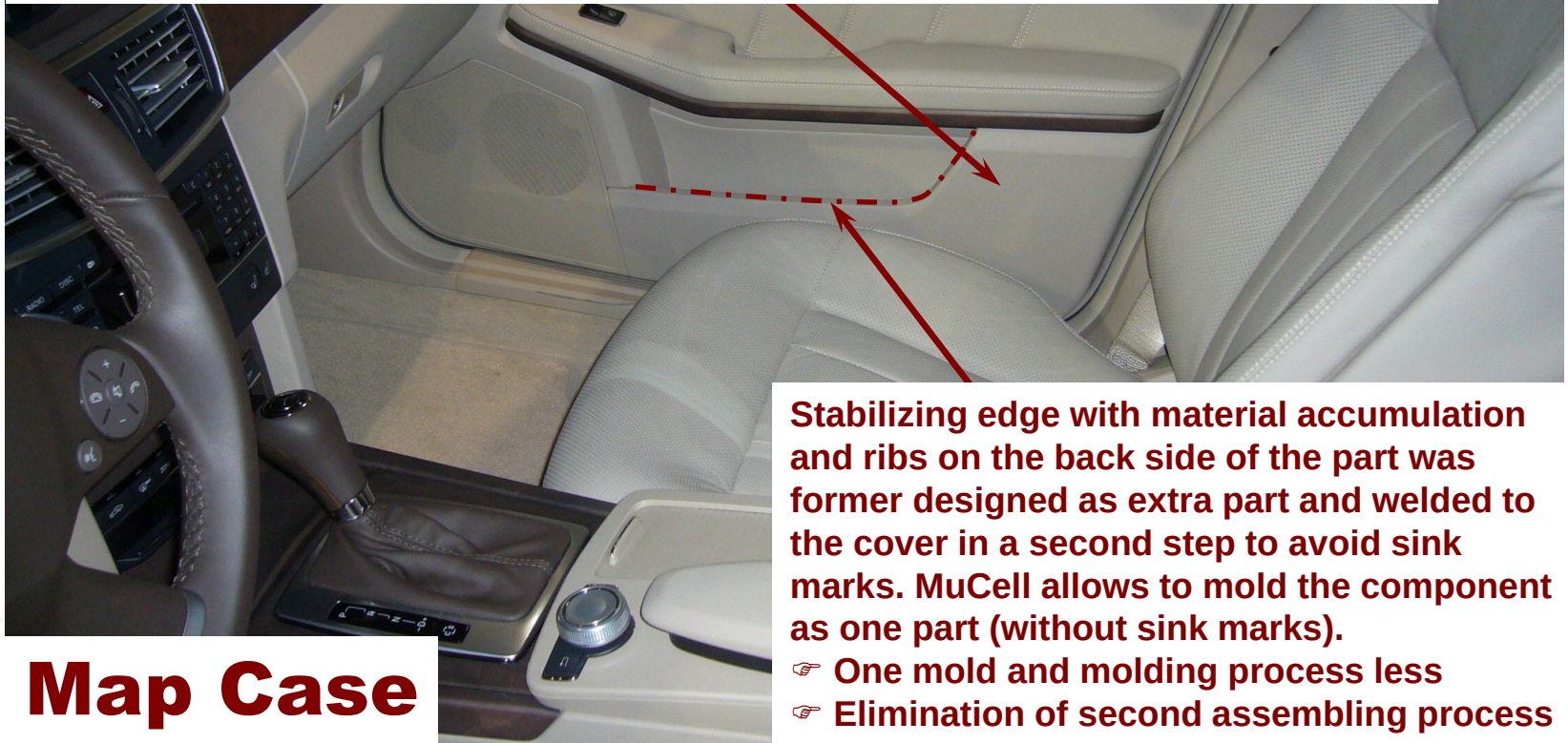


超临界流体微发泡注塑成型+模内装饰

SCF Microcellular Inj. Molding+IMD

IML Map Case with MuCell:

- ⇒ 1:1 wall to rib ratio design without sink marks
- ⇒ Former 2 parts molded as one (with MuCell)
- ⇒ IML Thin Film (PP) covers typical MuCell flow marks
- ⇒ PP Thin Film allows application of different colors without changing plastic material in the barrel
- ⇒ PP Thin Film is equally grained in the mold (by injection and foaming pressure)



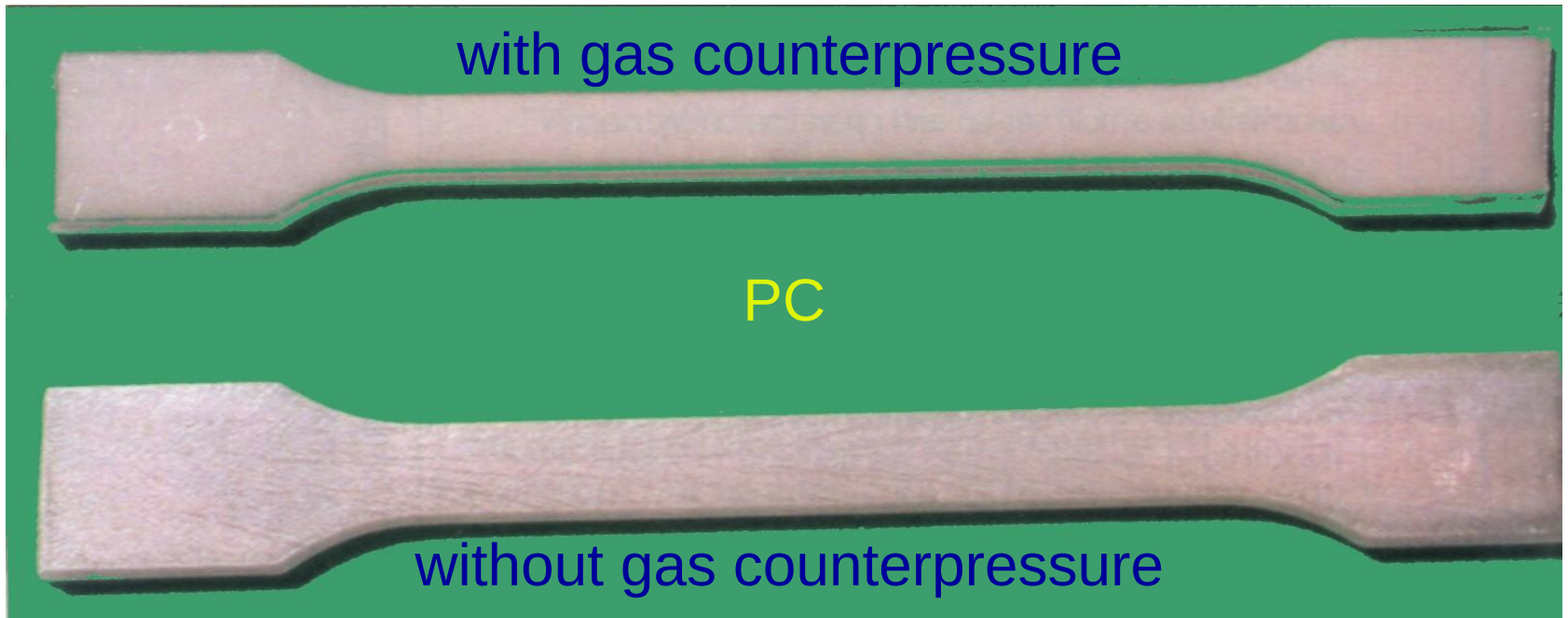
Stabilizing edge with material accumulation and ribs on the back side of the part was former designed as extra part and welded to the cover in a second step to avoid sink marks. MuCell allows to mold the component as one part (without sink marks).

- ⇒ One mold and molding process less
- ⇒ Elimination of second assembling process

Map Case

超临界流体微发泡注塑成型+气体反压

SCF Microcellular Injection Molding + Gas Counterpressure

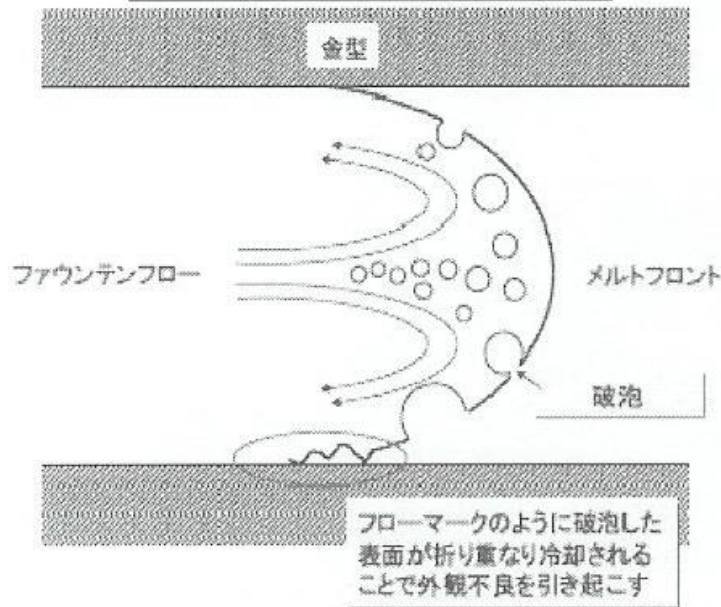


The difference in the surfaces of the MuCell samples molded with (top) and without (bottom) gas counterpressure is even more dramatic than what you can see in this photo.

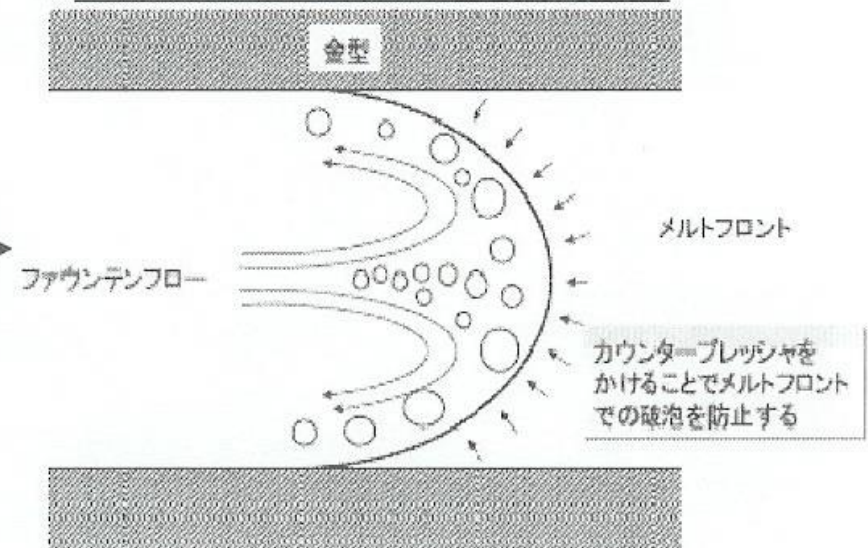
先進成型技術
AMTechnology

透過反壓法之表面改良

發泡成形外觀不佳



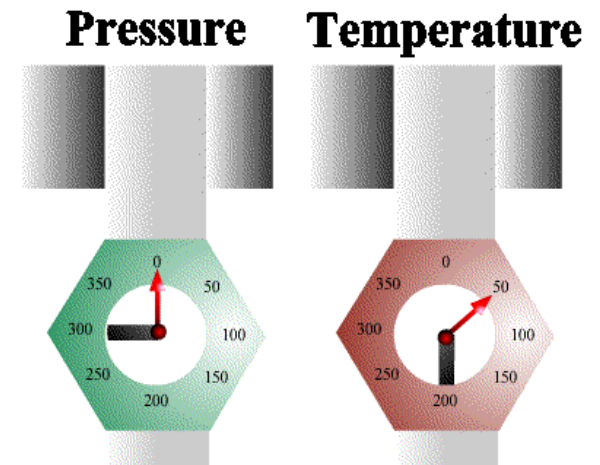
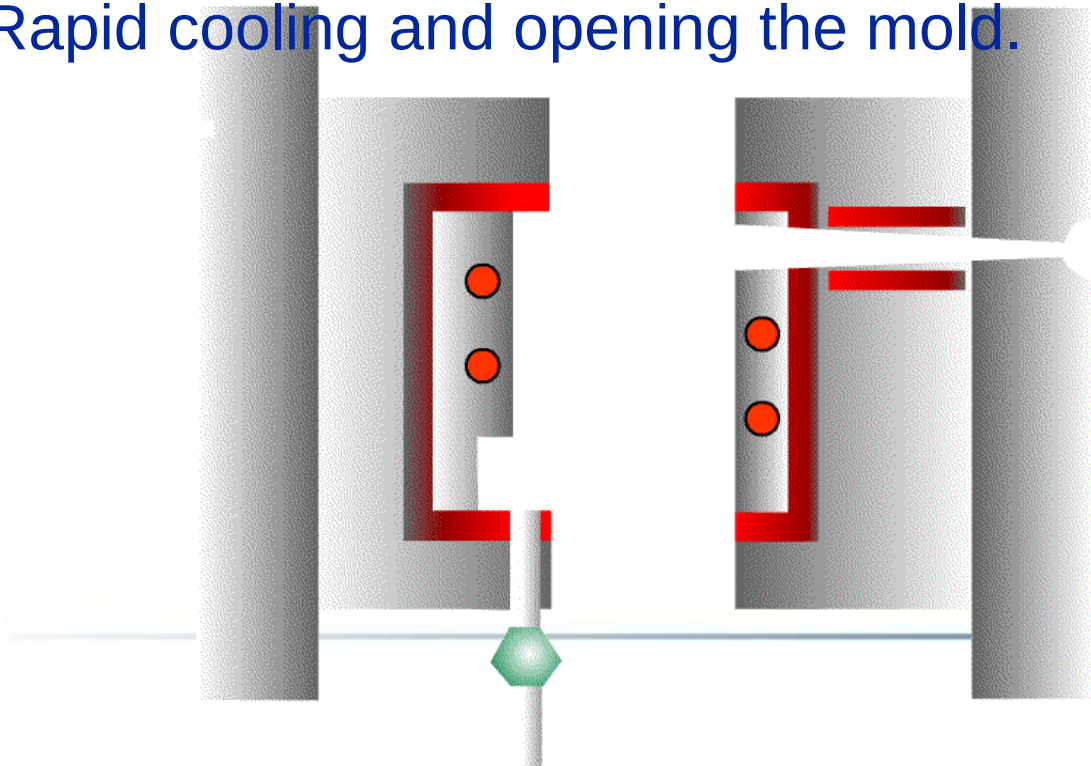
反壓法之效果



摘自日本制钢所技术报告

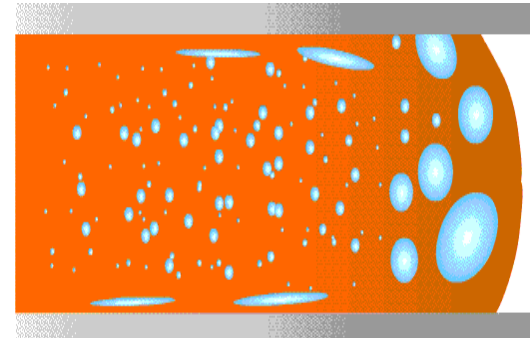
AMT 气体反压与快速冷却控制流程

- Mold closing, rapid heating and setting the gas pressure
- Injection of stable, high pressure gas
- Injection of the PS/ScN2 melt into the cavity, and use of the gas pressure control valve to control the cavity pressure
- Control GCP holding time & mold temperature
- Rapid cooling and opening the mold.

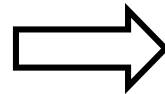
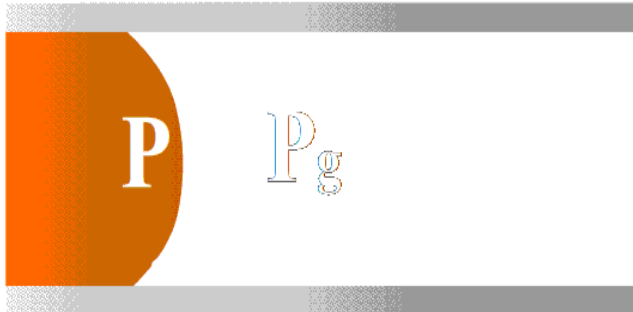


GCP Effect on Foaming During Melt Filling

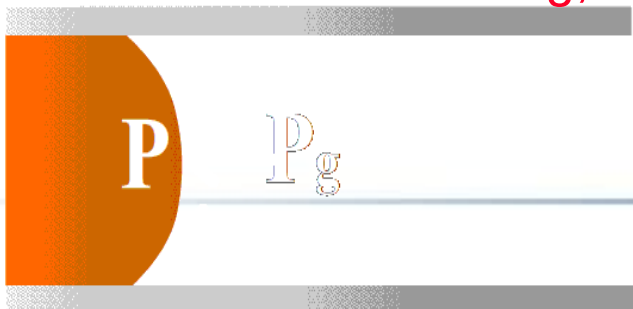
Silver-Streak-Like Flow Mark



$P > P_g, P_g < P_{\text{Critical}}$



$P > P_g, P_g > P_{\text{Critical}}$



No Foaming

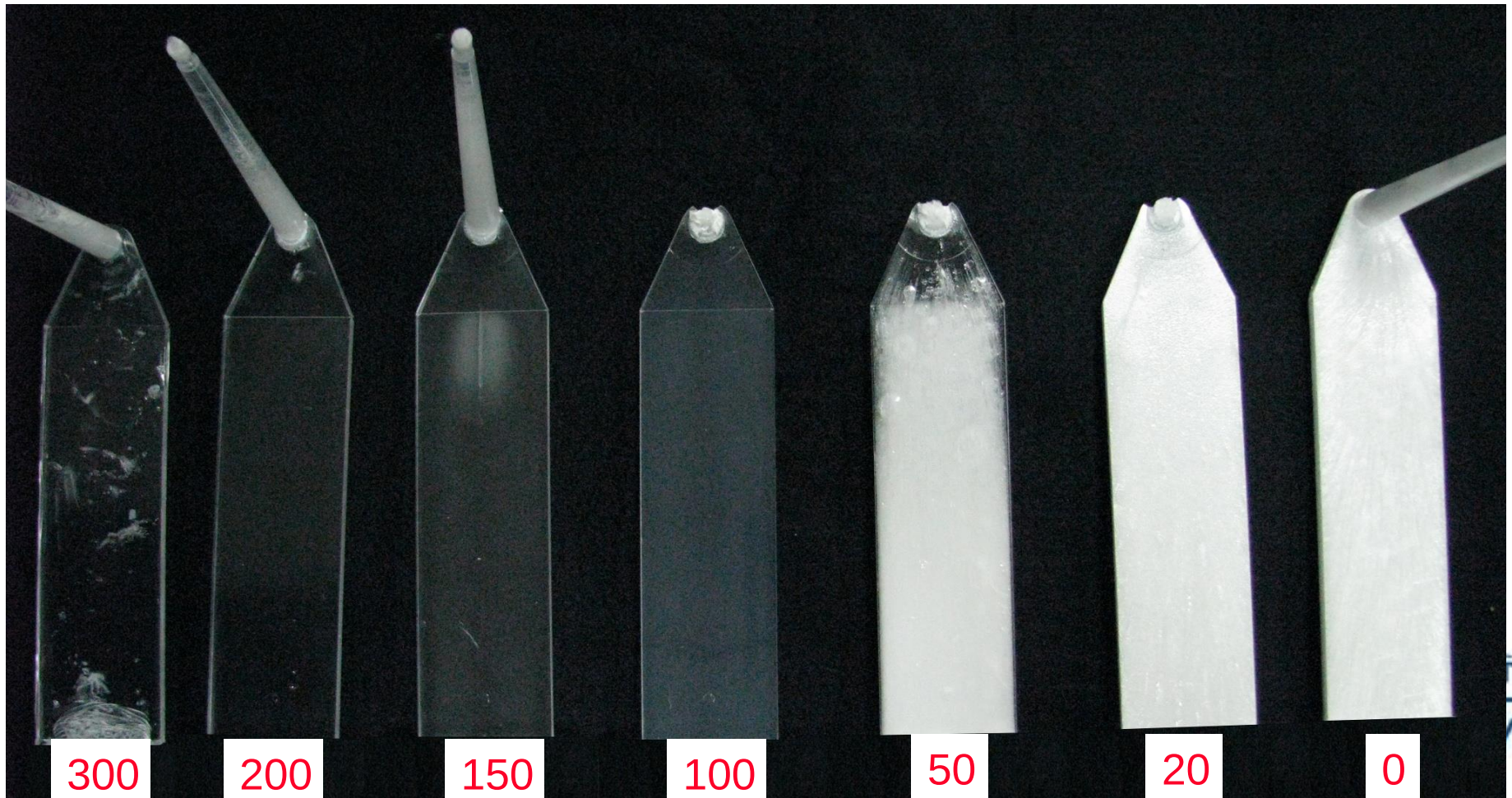
集成型技術
Technology

气体反压抑制发泡的效应

Effects of GCP on the Foaming of MuCell Parts

G.C.P. : 0~300 bar

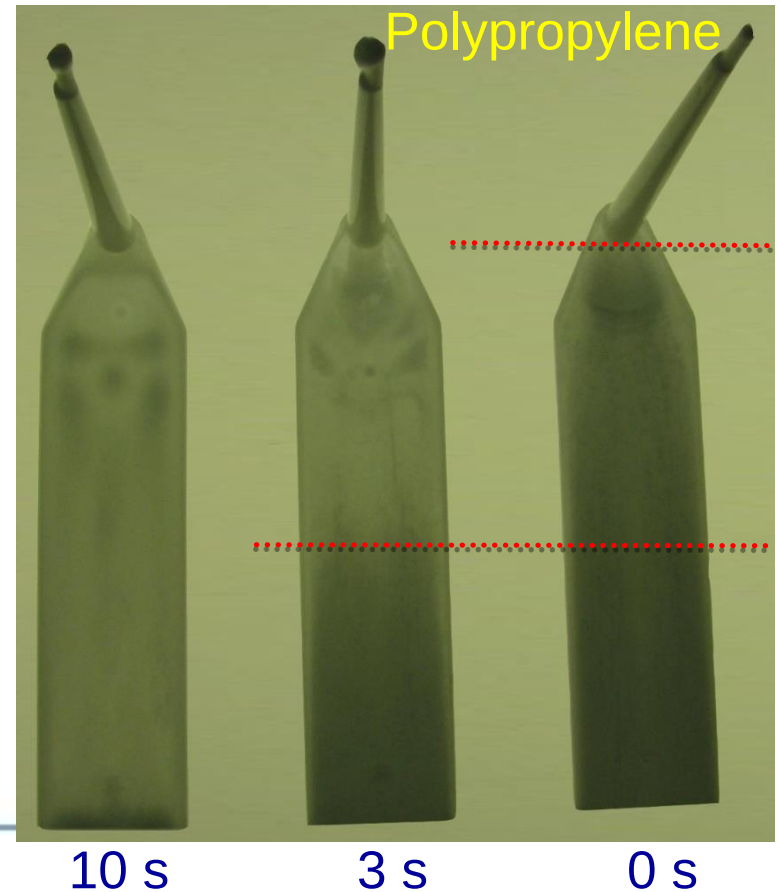
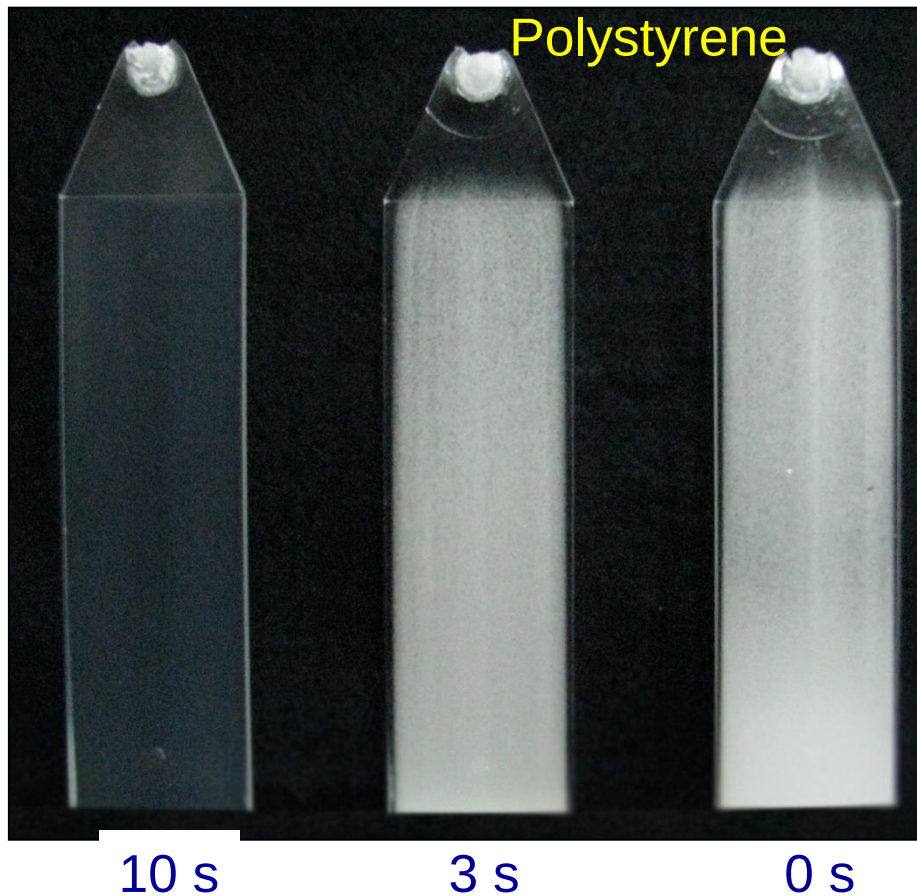
Pressure holding time : 10 s



气体反压持压时间对发泡抑制效应

Effect of Gas Holding Time on Foaming of MuCell Parts after Filling

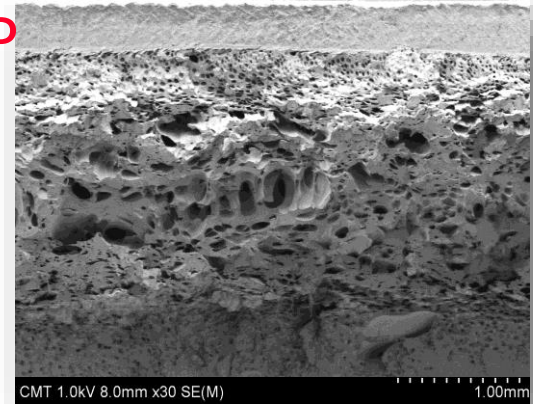
G.C.P. : 100 bar



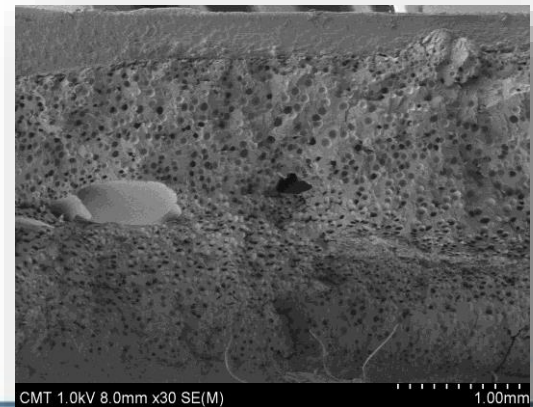
超臨界流体微发泡注塑成型技術

— 改善發泡產品表面缺陷提升氣泡尺寸密度穩定性

MuCell MuCell+GCP MuCell MuCell+GCP



氣泡尺寸不均



表面氣痕

高亮外觀

內部氣泡

透明平整

氣泡尺寸均勻

四、气体反压 (counterpressure)的最新应用



高光无痕或模内转印工艺用在 **Ultrabook**塑料机壳上的难点与对策 **Difficulties and Solutions when High-Gloss-and-Defect-Free Process or IMR Applied to Ultrabook Plastic Casings**

徐昌煜

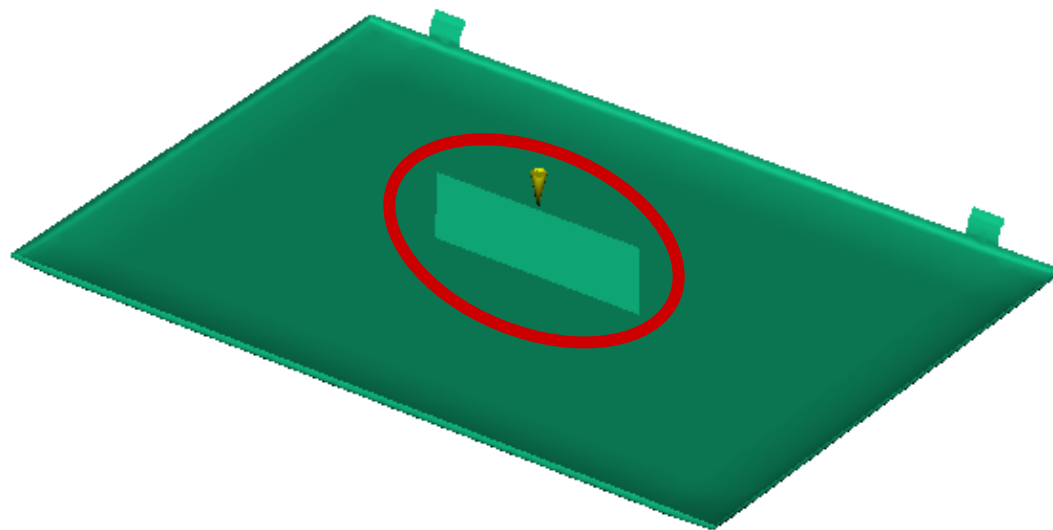
Charles Hsu

2012年8月16日

第七届免喷涂技术高峰论坛
上海淳大万丽大酒店

先進成型技術
AMTechnology

Case 1 : Film Gate 1



Autodesk®
MOLD FLOW® INSIGHT

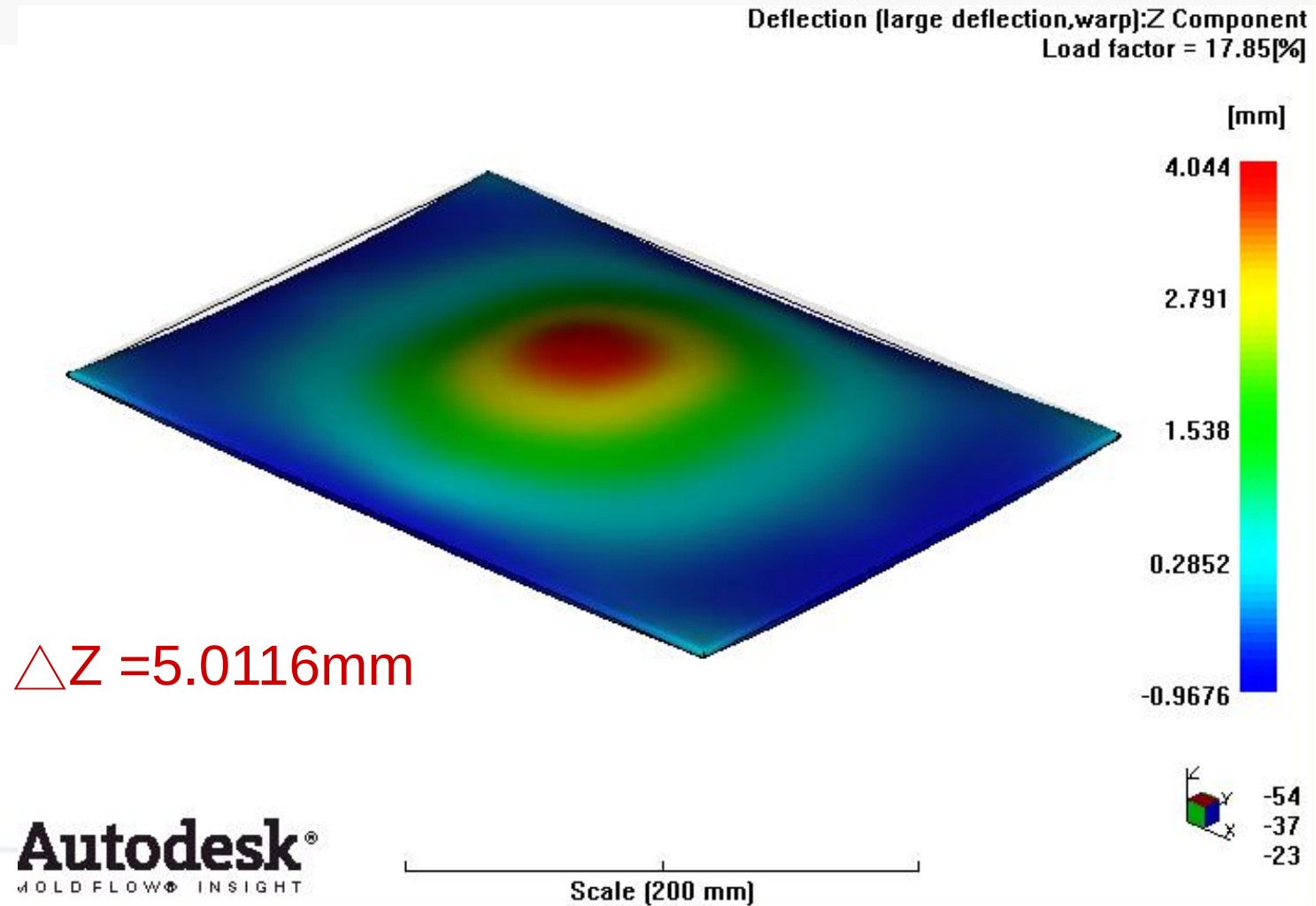
Scale [200 mm]

55
151
-21

先進成型技術
AMTechnology

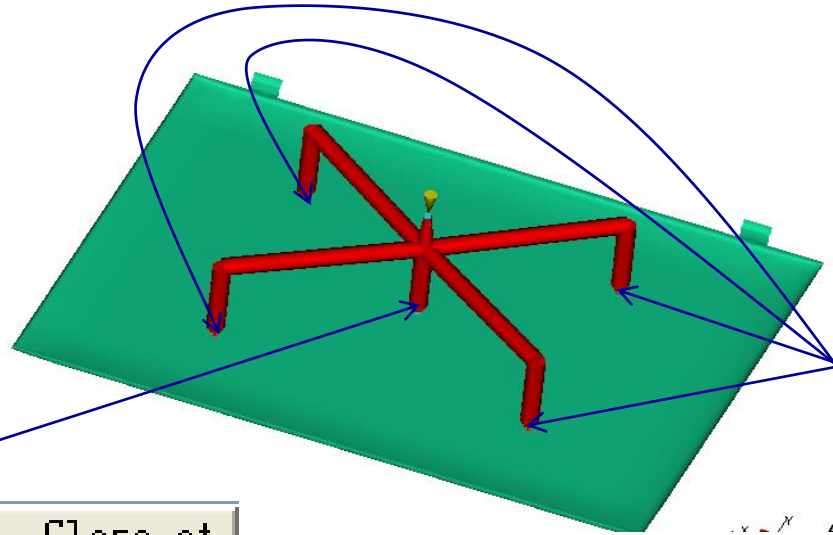
Film Gate : 1.2mm厚 x 97.72mm寬 x 1mm長

Deflection(large deflection, warp): Z Component , Case 1



Case 2 : Five Valve Gates

Valve gate 1
controller

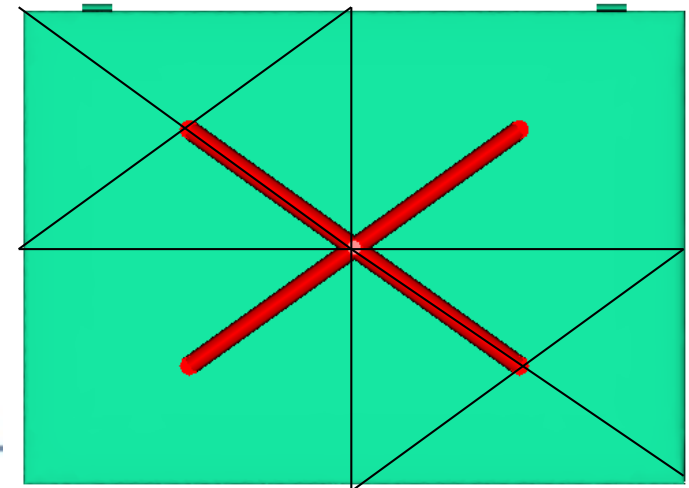


	Open at s [0:1200]	Close at s [0:1200]
1	0.34	10.77
2		

Valve gate 2
controller

	Open at s [0:1200]	Close at s [0:1200]
1	0	0.36
2	0.77	10.77
3		

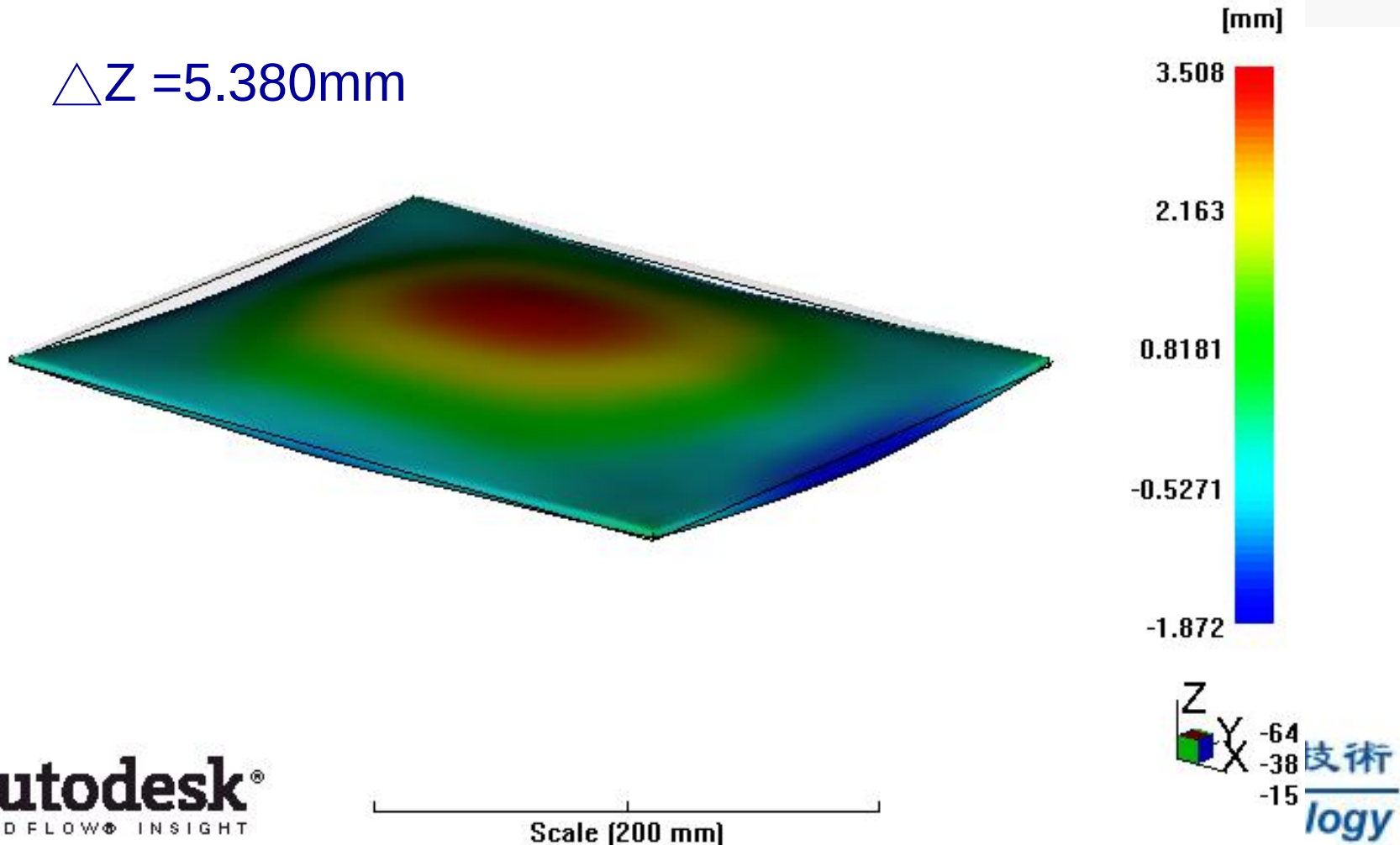
阀浇口直径：3mm
Hot runner and
drop直径：10mm



Deflection (large deflection, warp): Z Component , Case 2

Deflection (large deflection, warp): Z Component
Load factor = 22.36[%]

$\Delta Z = 5.380\text{mm}$

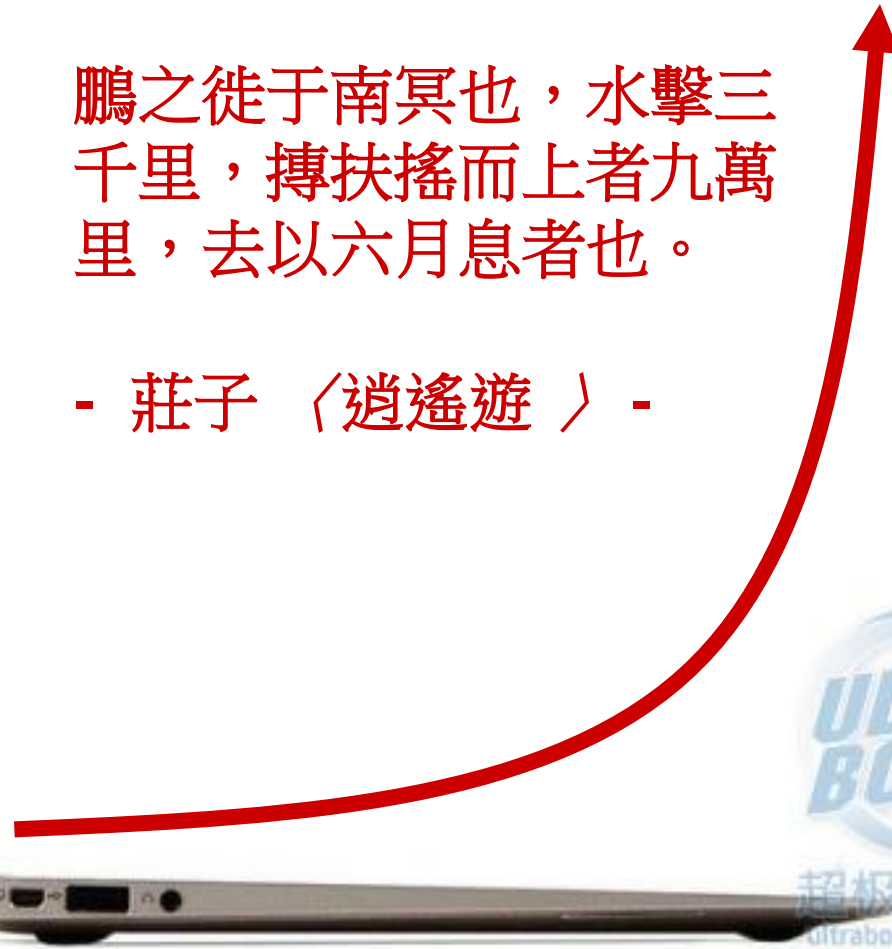


Number of Ultrabooks vs Time

Y
Number of Ultrabooks

鵬之徙于南冥也，水擊三千里，搏扶搖而上者九萬里，去以六月息者也。

- 莊子 〈逍遙遊〉 -



Time

X

超极本
ultrabook.ye

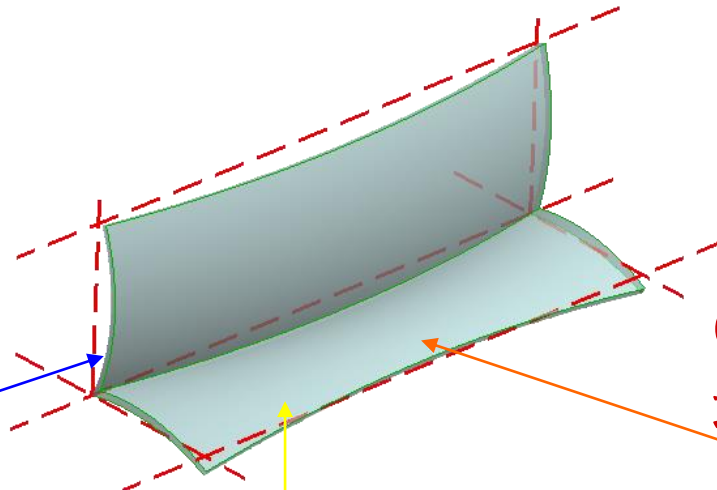
AMTechnology

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: 流向和垂直流向的收缩不均。

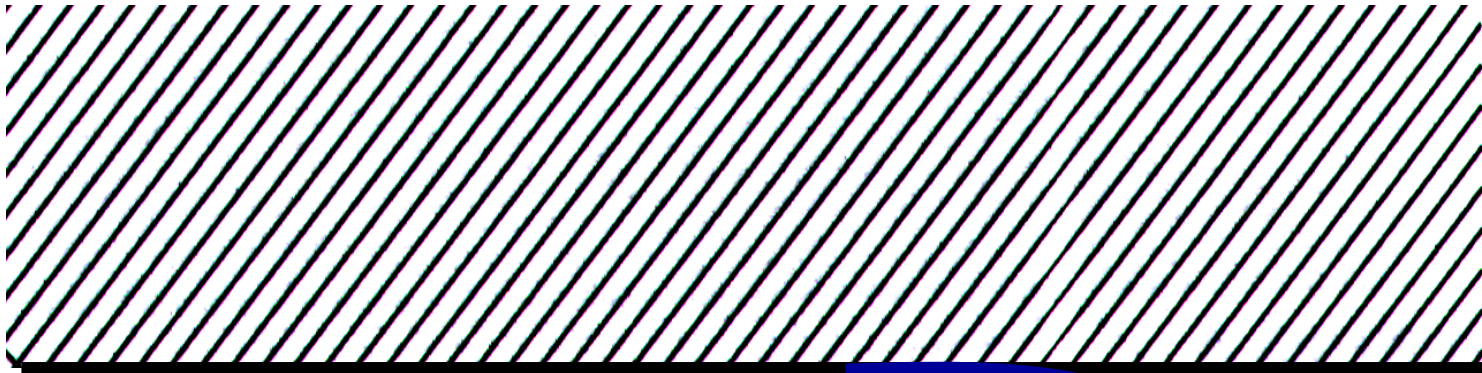
取向效应
Orientation Effects

C. Hsu: 不同区域的收缩不均。

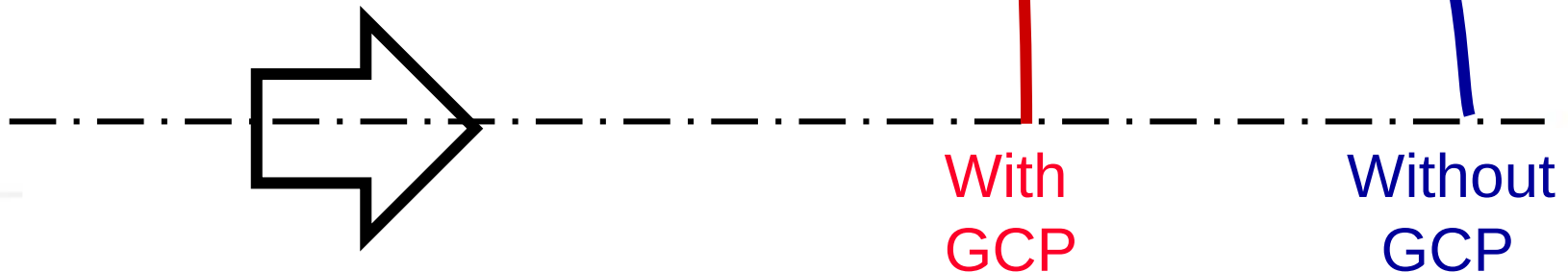
收缩不均
Differential Shrinkage



Flat Melt Front Caused by Gas Counter Pressure

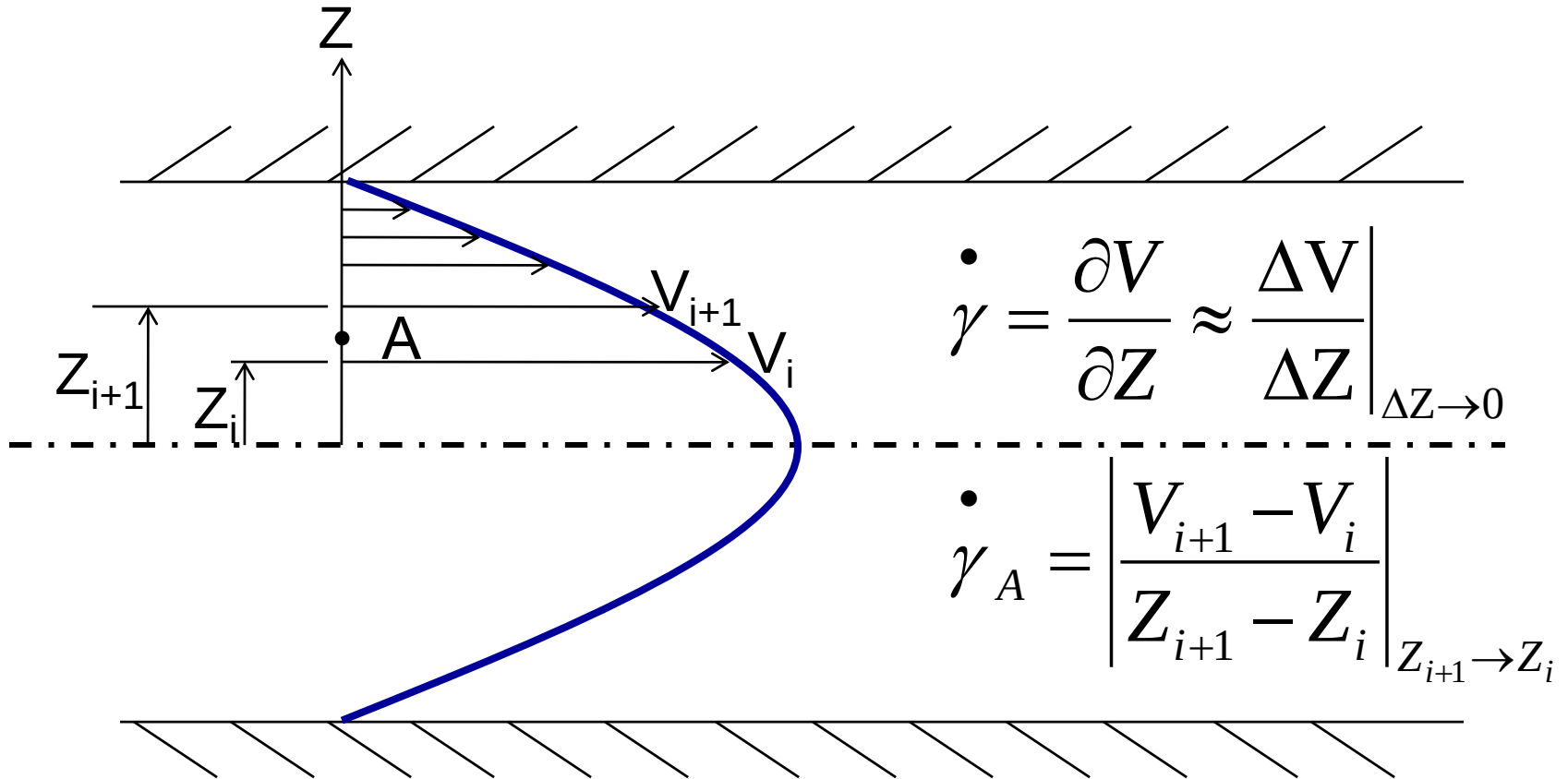


C. Hsu : 气体反压使得熔体前沿较为扁平，型腔厚度方向的流层速度差异变小，剪切速率和剪切应力变小。



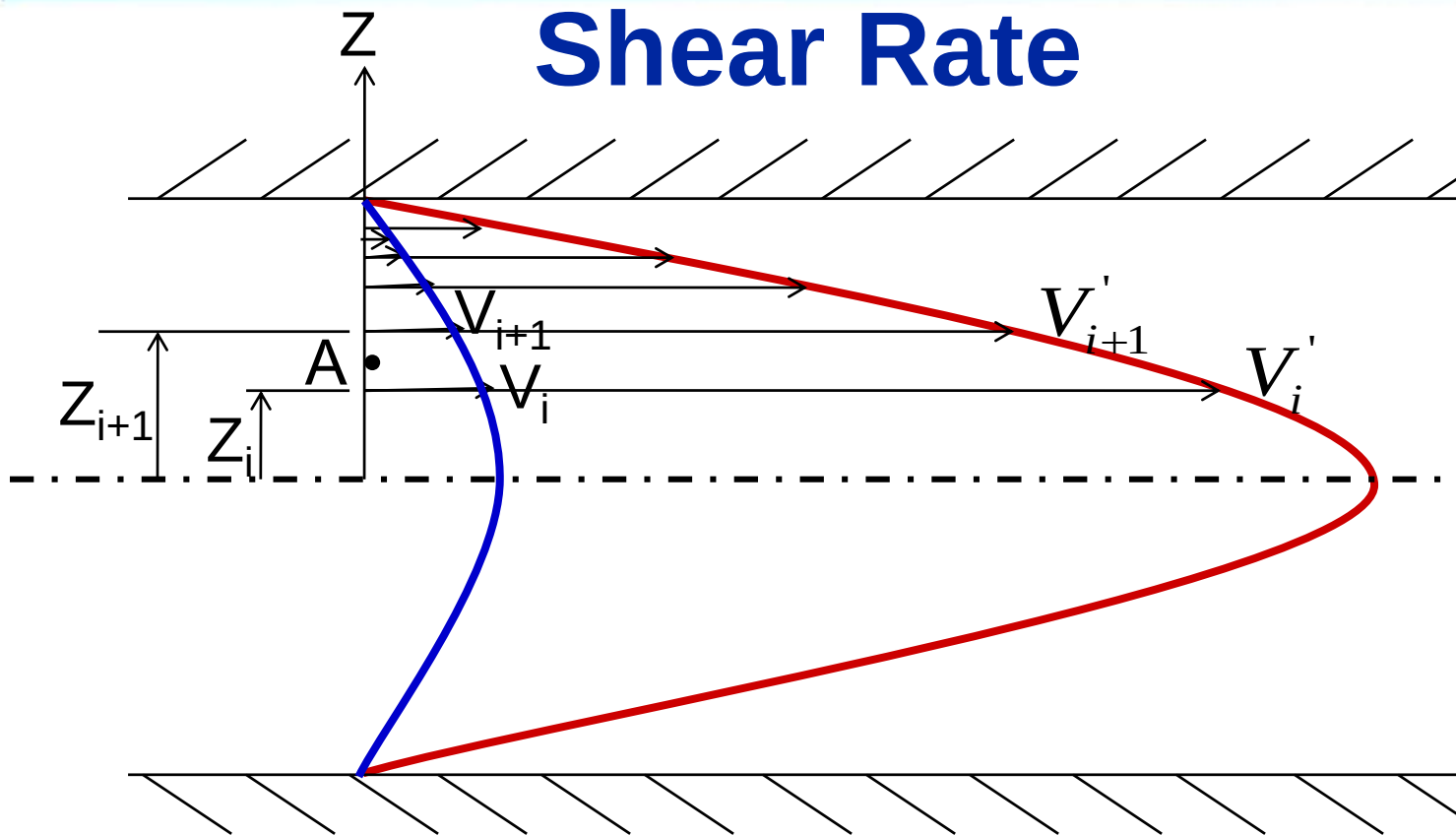
剪切速率

Shear Rate



剪切速率

Shear Rate



C. Hsu :

气体反压使得熔体前沿较为扁平，型腔厚度方向的流速差异变小，剪切速率和剪切应力变小。

When $V_i' - V_{i+1}' > V_i - V_{i+1}$ while $(Z_{i+1} - Z_i)$ keeps the same

$$\dot{\gamma}_A = \left| \frac{V_{i+1}' - V_i'}{Z_{i+1} - Z_i} \right|_{Z_{i+1} \rightarrow Z_i} > \left| \frac{V_{i+1} - V_i}{Z_{i+1} - Z_i} \right|_{Z_{i+1} \rightarrow Z_i} = \dot{\gamma}_A$$



剪切应力

Shear Stress

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

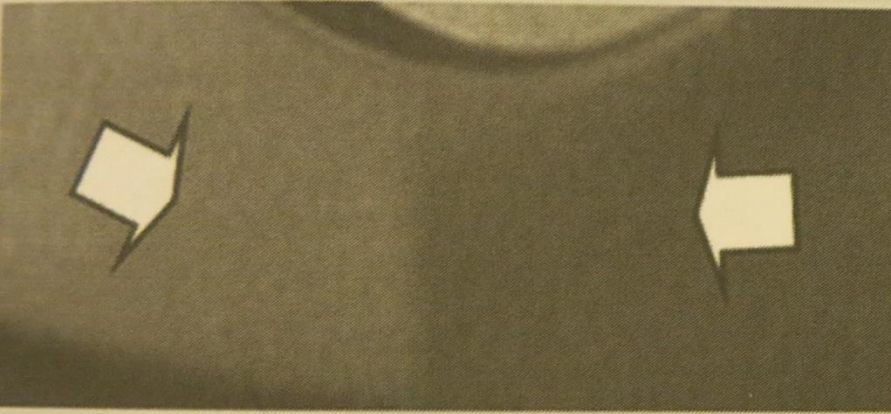
where τ : shear stress 剪切应力

η : viscosity 黏度

$\dot{\gamma}$: shear rate 剪切速率

C. Hsu : 气体反压使得熔体前沿较为扁平，型腔中相邻流层速度差异变小，剪切速率和剪切应力变小。剪切应力小时，**1.** 塑流压力降小、**2.** 取向较不明显，前者减少区域性的收缩不均，后者减少流向和垂直到向的收缩差异，两者都有减少残余应力和变形的效果。超临界流体微发泡注塑成型的熔体黏度低，这使得剪切应力更低、残余应力和变形更小。

Talc(滑石)矿石呈现叶片状、纤维状以及致密状。
珍珠光泽或油脂光泽。



填充物(Talc)的配向

上圖在結合線部位Talc配向發生後，在圓弧線所包圍的部份，看起來有隆起的情形。

Talc
5/14/5



隆起情形的消除

樹脂溫度提高、讓射出速度變慢，將剪切應力變小，透過降低Talc的配向，消除隆起部份。

$\eta \downarrow$ $\dot{\gamma} \downarrow$ $\rightarrow$ $\tau \downarrow$

橫田明先生(日本特級塑料成型技能士)
 2013年6月4-5日塑膠工業技術發展中心
 在台中市南山人壽教育訓練中心舉辦的研討會

模內氣體反壓對殘留應力 和光學成型品品質之影響

姚睿、姚昭宇、王彥傑、魏子翔、王凱

氣體反壓可以有效地降低收縮率、殘餘應力，而提升輝度值。

中原大學機械系應用專題實作競賽報告
2014年10月17日

應用氣體反壓技術改善金屬粉末射出成型充填流動特性與品質之研究

周尚勳、張哲維、邱民既、蔡碧霖、林秉謙、黃宥霖

氣體反壓可以增加密度和強度及其一致性，減少收縮率和殘餘應力，減少粉膠分離和縮孔(void)。

中原大學機械系應用專題實作競賽報告
2014年10月17日

應用氣體反壓改善氣體輔助射出 成型之產品特性與製程穩定度

林隆(言甚)、陳勁甫、洪世偉、邱昱翔

氣體反壓可以增加氣體穿透的穩定性以及一次穿透的長度(可達氣道長度的**95%**)。

中原大學機械系應用專題實作競賽報告
2014年10月17日

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-