



**Moldex3D**  
MOLDING INNOVATION

# Moldex3D在PIM模具設計 實戰應用成果

# 粉末射出成型簡介

## 粉末射出成型(Powder Injection Molding, PIM)

- > 泛指將粉末以注塑方式加工成型
- > 是一種結合**粉末冶金**和**射出成型**的技術，突破傳統粉末冶金的產品型狀與強度限制，突破壓鑄成型的強度限制，突破沖壓模成型的材料流動限制，突破精密鑄造的量產限制及車削件的高成本限制。
- > 主要應用
  - 金屬粉末射出成型(Metal Injection Molding, MIM)
  - 陶瓷粉末射出成型(Ceramic Injection Molding, CIM)



# 應用產品

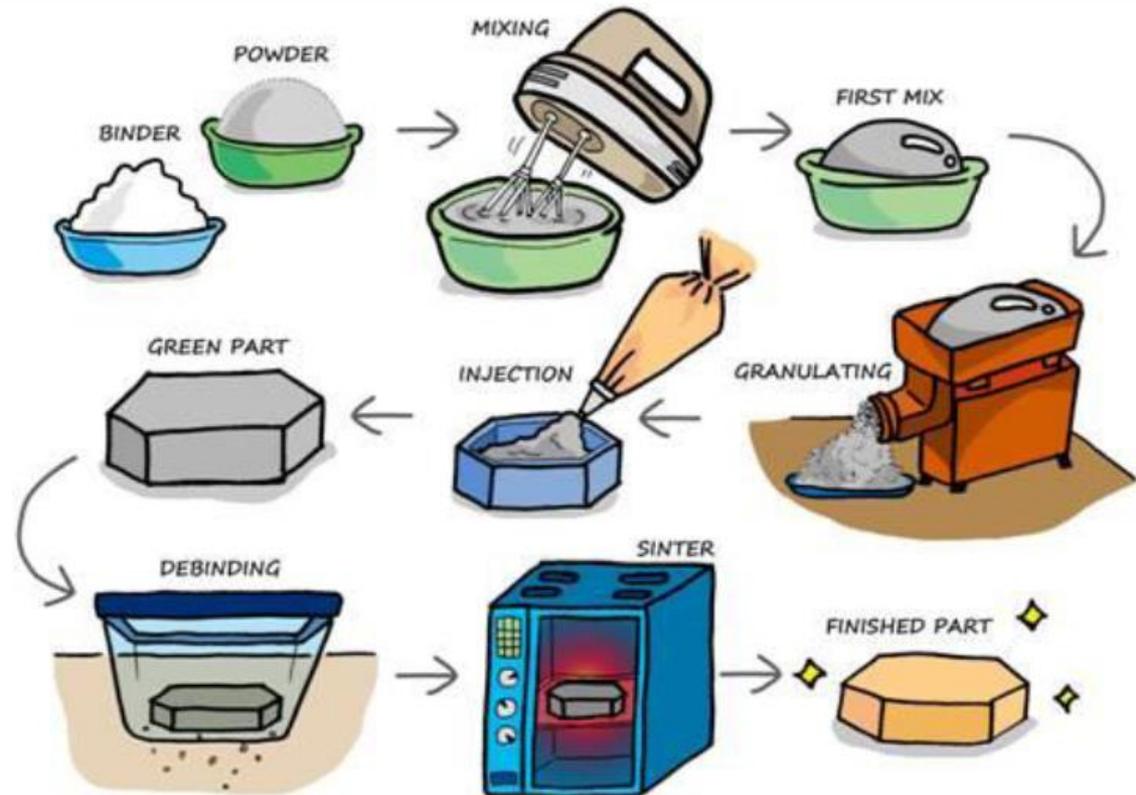
- > 粉末射出成型產品適合於複雜的小型精密零件，不論是金屬或陶瓷材料都可以大量快速生產



# PIM製程介紹

> PIM大概是分以下四個程式:

- 粉末與結合劑的餵料準備
- 注射
- 去酯
- 燒結



# 金屬粉末射出成型製程原理

## > PIM製程基本四步驟

### – 備料(Feedstock)

- PIM製程, 金屬粉末大小約為**1-20 $\mu$ m**
- 金屬粉末在備料比重高達**90wt%**
- 黏著劑使粉末間有附著效果, 能夠像流體在模具內流動, 並降低模具和機器的磨損.
- 黏著劑一般成份為: **PE/PP (20wt% main binder)**

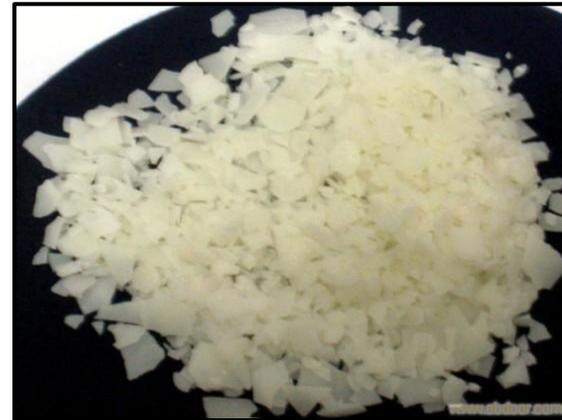
蠟-Wax (79wt% filler)

硬脂酸-Stearic Acid (1wt% surfactant)

界面活性劑



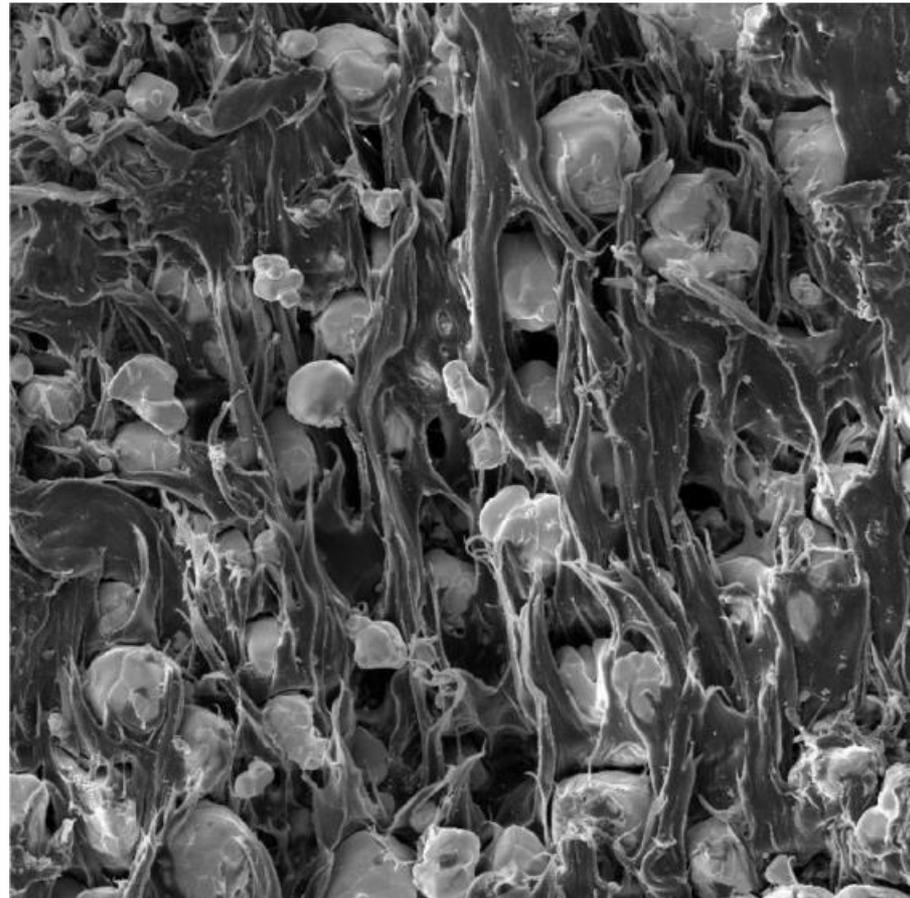
鎢粉末(Tungsten Powder)



PE Wax

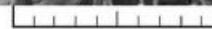
# 飼料的複雜性

- > 電子顯微鏡照相, 飼料看出是一個類似麥芽糖內填充很多花生的狀態



SEM MAG: 500 x  
SEM HV: 10.00 kV  
Vac: HiVac

Det: SE Detector  
SM: RESOLUTION  
Date(m/d/y): 07/07/10



100 μm

VEGA\\ TESCAN

Digital Microscopy Imaging

# PIM產業面臨挑戰

# PIM產業面臨挑戰點



人員養成  
經驗傳承  
不易

材料特性  
掌握不易

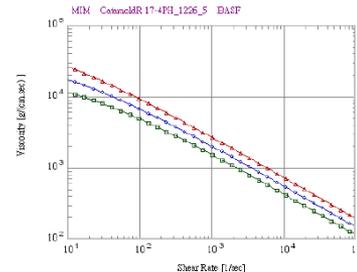


Fig. 8 The black lines are visible on the real green part

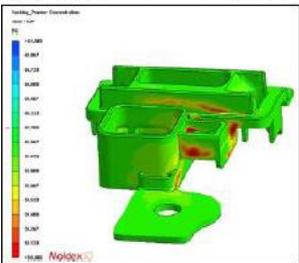


Fig. 9 Powder concentration distribution prediction

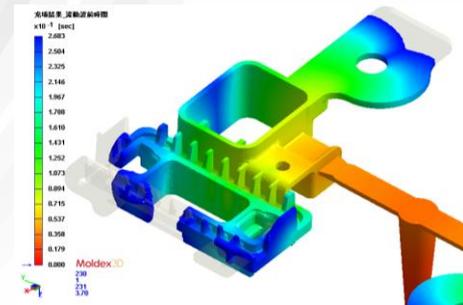


成型品質瑕疵  
的有效預測與  
解決方案

如何決定  
適當的  
模具設計

如何調整  
合適的注塑  
工藝參數

缺少合適  
產品設計  
驗證工具



Moldex3D

# PIM材料特性掌握與量測

# 材料量測實驗室

- > PIM材料在量測上以黏度、比熱(Cp)、熱傳導係數(K)為主要量測項目。



**Rheograph RG25**  
Capillary viscosity and thermal conductivity with counter pressure equipped



**CR-6000**  
Capillary viscosity at different temperature and shear rates

**pvT-6000**  
pvT change at different temperature and pressure



**MCR 502**  
Rotation and oscillation tests for viscoelastic properties



**DSC 8500**  
Transition temperatures and crystallization kinetics

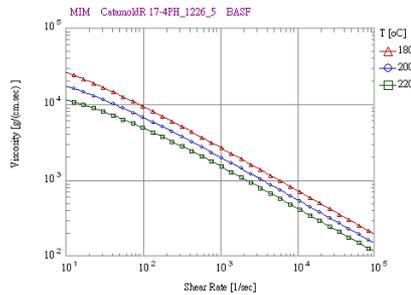


**Instron 5966**  
Mechanical properties

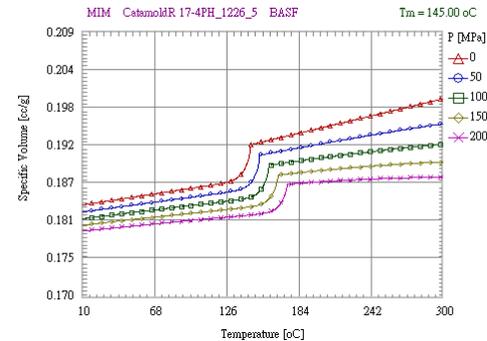
# 材料特性

- > 剪切黏度對於計算主流道壓力、流動波前推進情況、鎖模力而言相當重要。
- > 熱傳導對於計算熱塑性塑膠之熱移轉相關情形相當重要，包括：冷卻時間、溫度分布等。熱傳導對於所有分析都不可或缺。

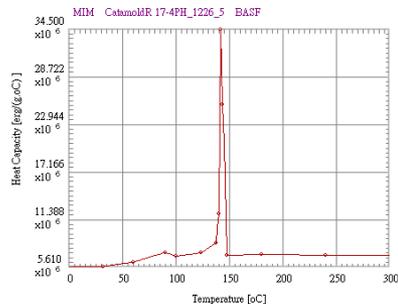
## Viscosity



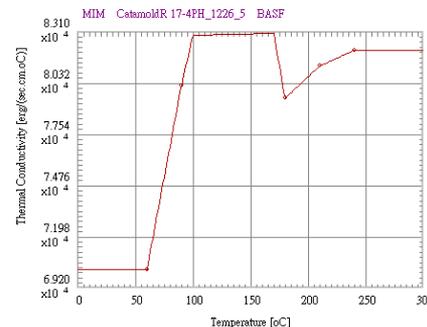
## PVT



## Heat capacity

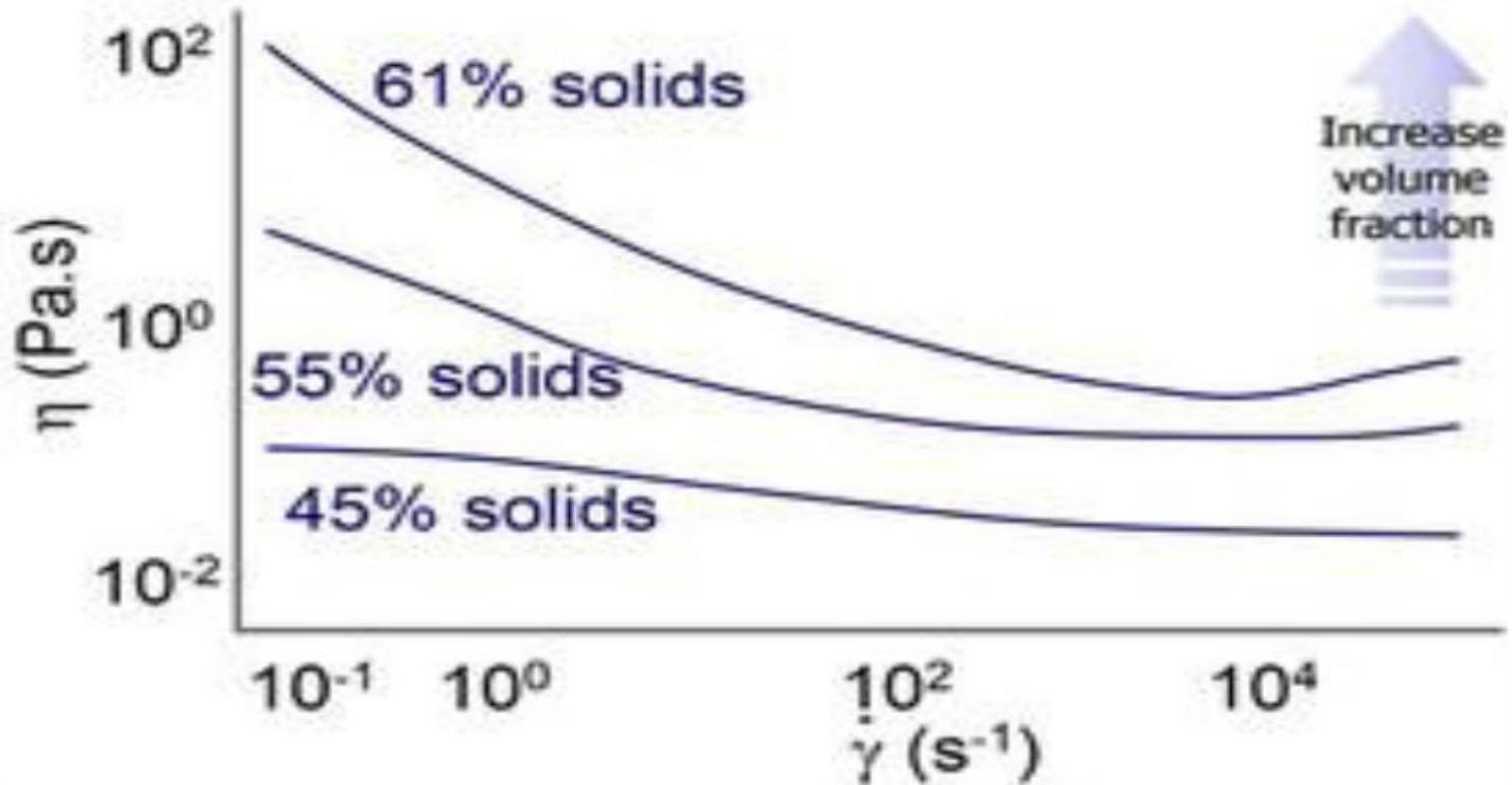


## Thermal conductivity



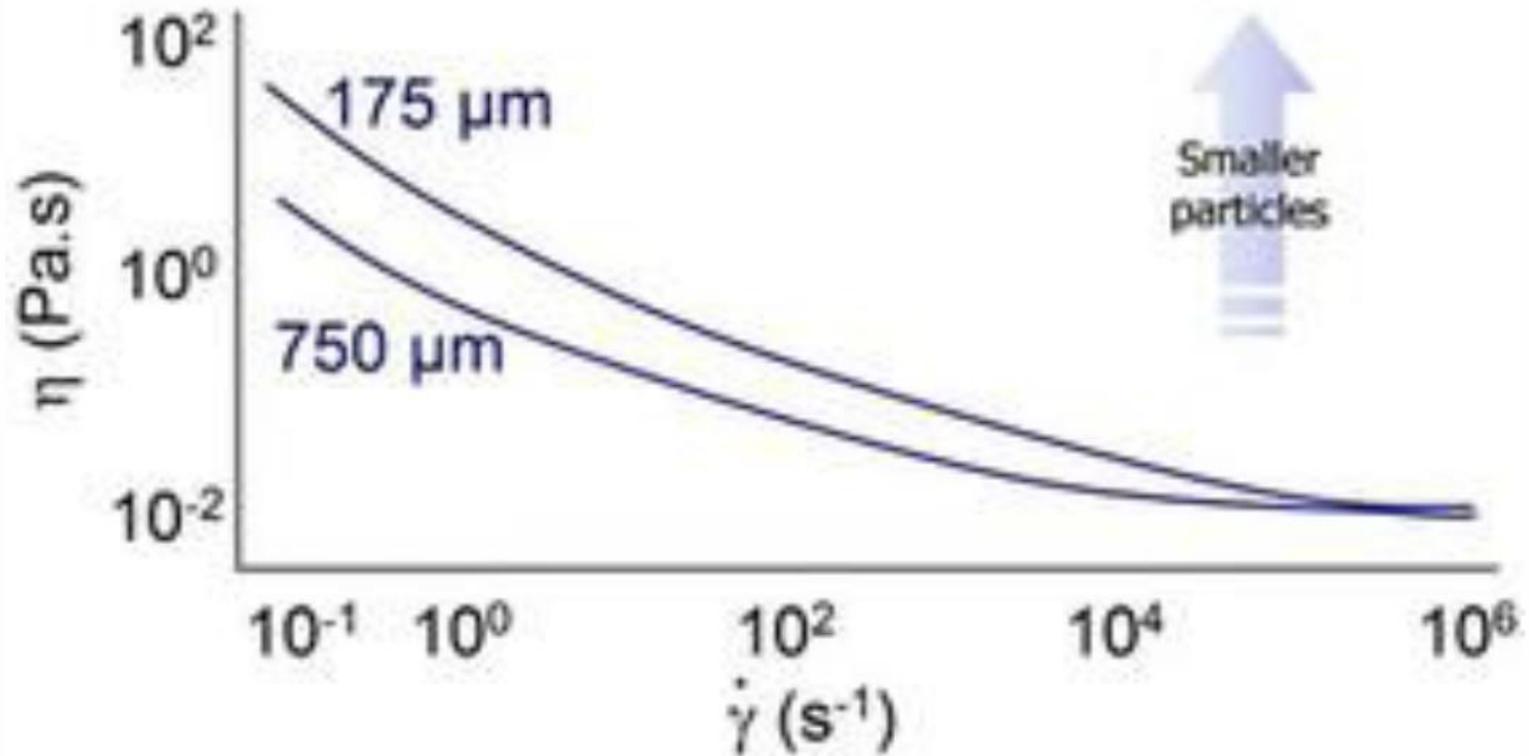
# 流動性複雜性：粉末濃度效應

> 濃度增加, 黏度相對增加, 表示流動性差



# 流動性複雜性：粉末尺寸效應

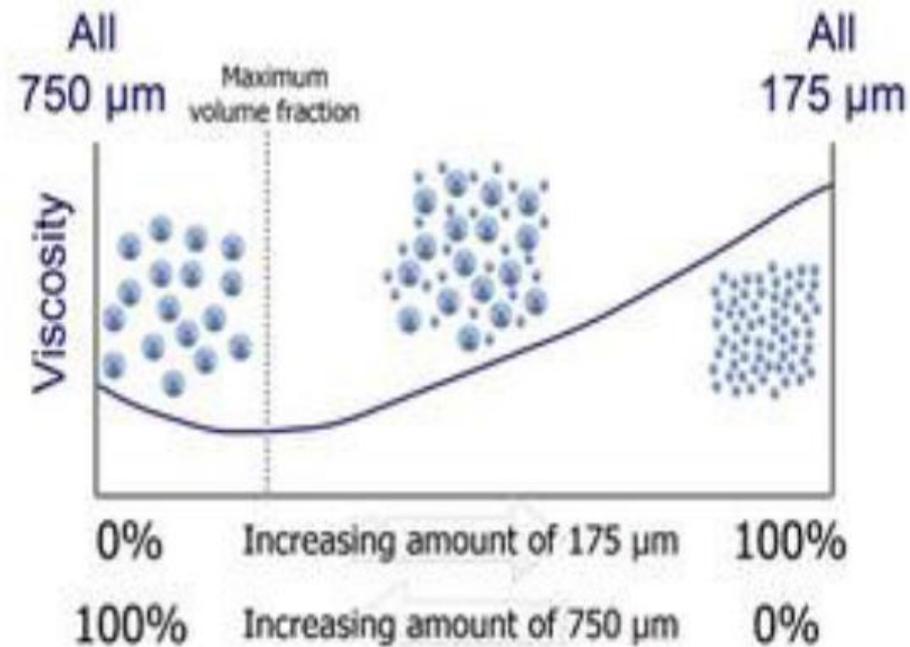
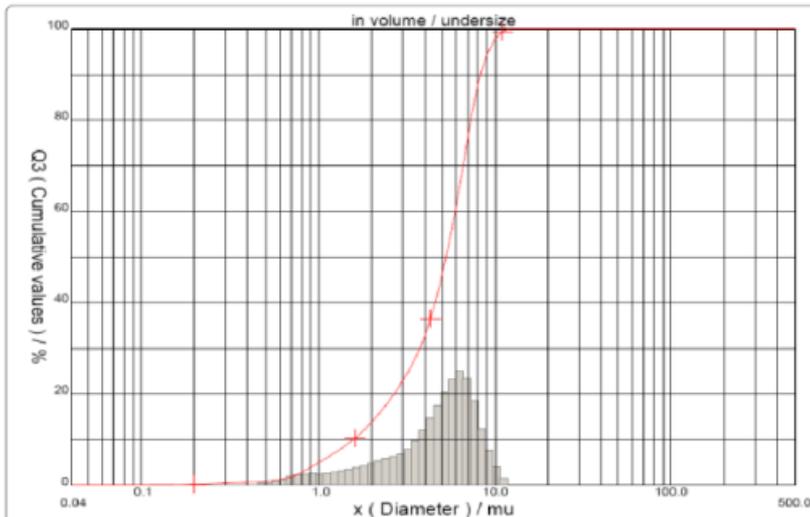
- 粉未尺寸減少，因為粉末間磨差力變大，黏度相對增加，表示流動性差



# 流動性複雜性：粉末尺寸分佈效應

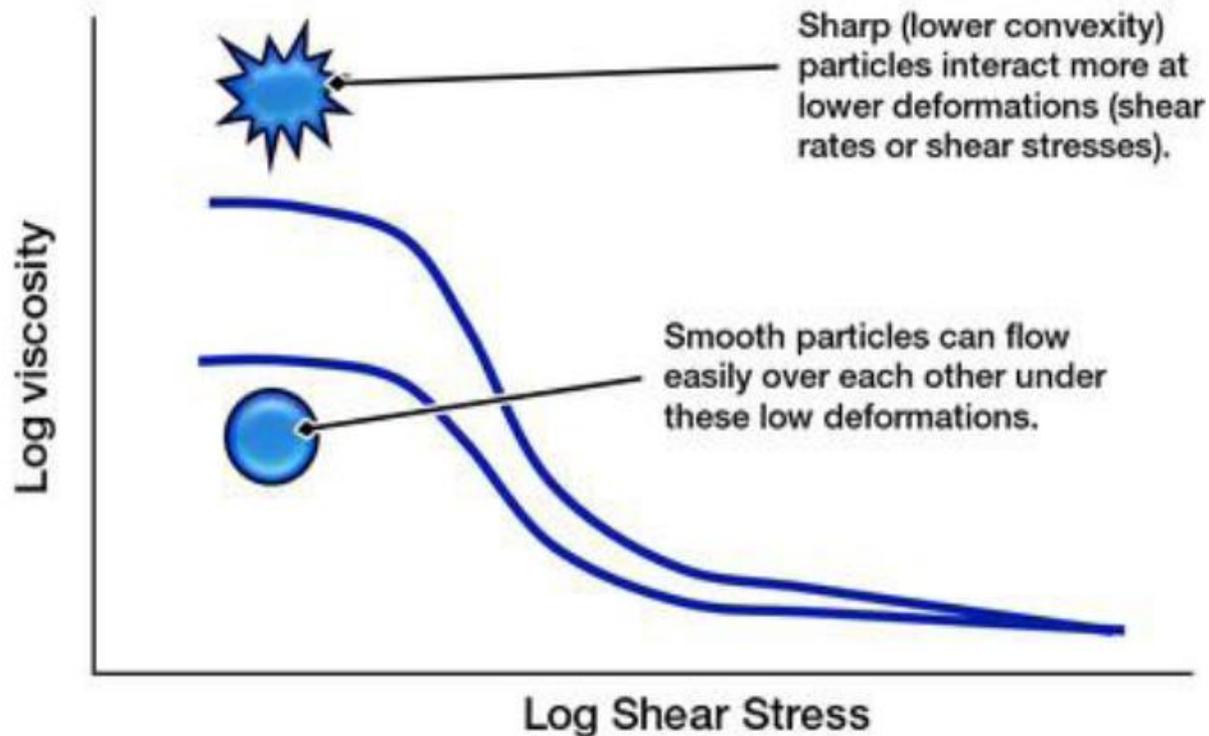
- 粉末越粗，黏度相對小，粉末越細，黏度對大，實際上粉末尺寸是一個統計的常態分佈，因此分佈的狀況才是影響餵料流動的重點。

Diameter at 10%: 1.57  $\mu\text{m}$   
Diameter at 90%: 5.28  $\mu\text{m}$   
Av. diameter: 8.29  $\mu\text{m}$



# 流動性複雜性：粉末形狀效應

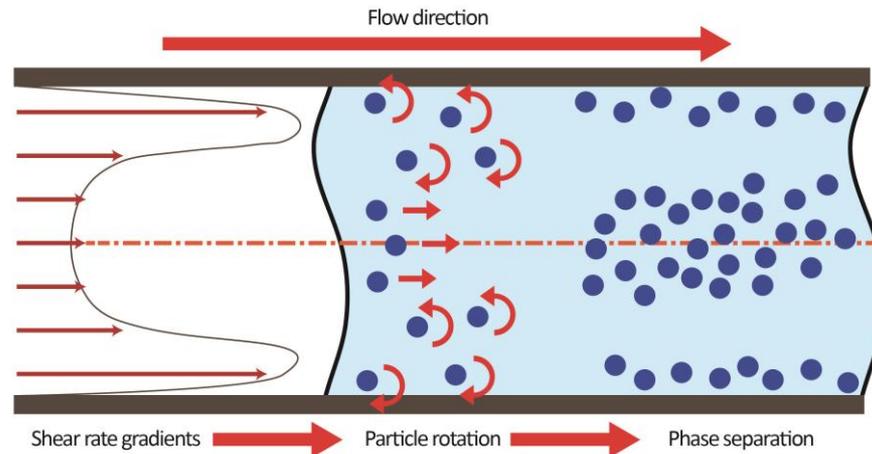
- > 粉末形狀會影響粉末間磨差性，表面越粗糙摩擦力大，相對餵料黏度大，反之，粉末表面光滑，餵料黏度小。



黑線或分膠分離的產生原因？

# 粉膠分離現象

- > 粉膠分離現象是粉末濃度在流場中濃度分配不均，如果濃度均勻，就不會有粉膠分離，更不會產生黑線!!
- > 由實驗觀察，流場中間濃度高，靠近邊界是低，這是與剪切率有相關
  - 流場中間，剪切率小，流場影響粉末性相對低，粉末容易聚集，因而濃度高
  - 流場邊界，剪切率大，流場影響粉末性相對高，粉末容易分散，因而濃度小
- > 因此，當流場的粉末濃度有高低之分，即是粉膠分離，亦是產生黑線的可能性大增。

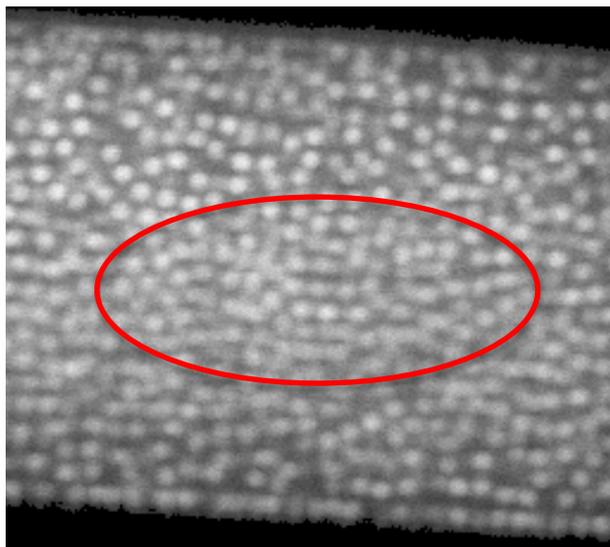
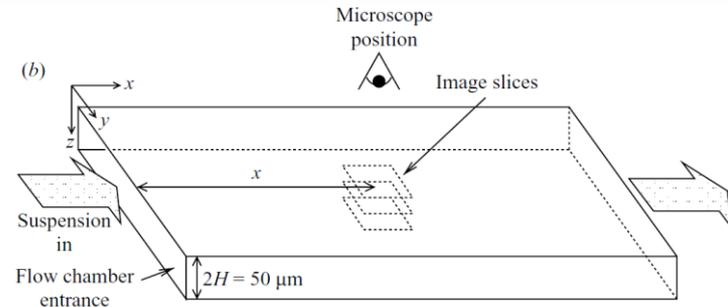


# 剪切誘發粒子遷移現象

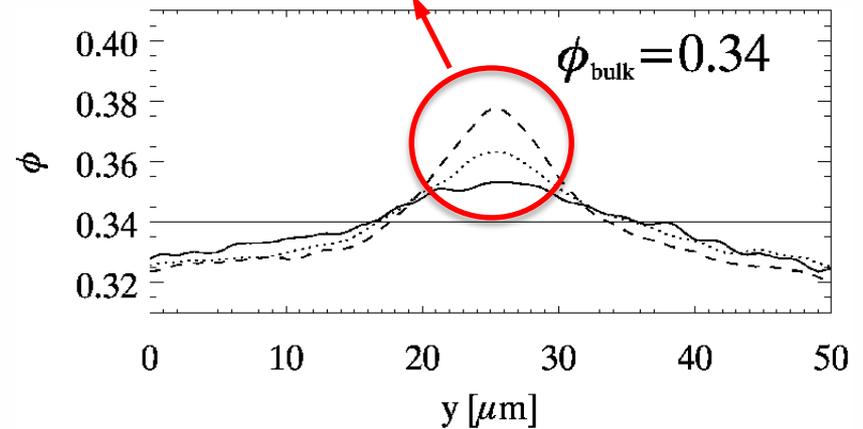
## > 實驗觀察

- 金屬粉末粒子大小為 $1.5\ \mu\text{m}$
- 平均體積分率為0.34

中間濃度高,上下濃度低,所以濃度分布不均,容易產生黑線

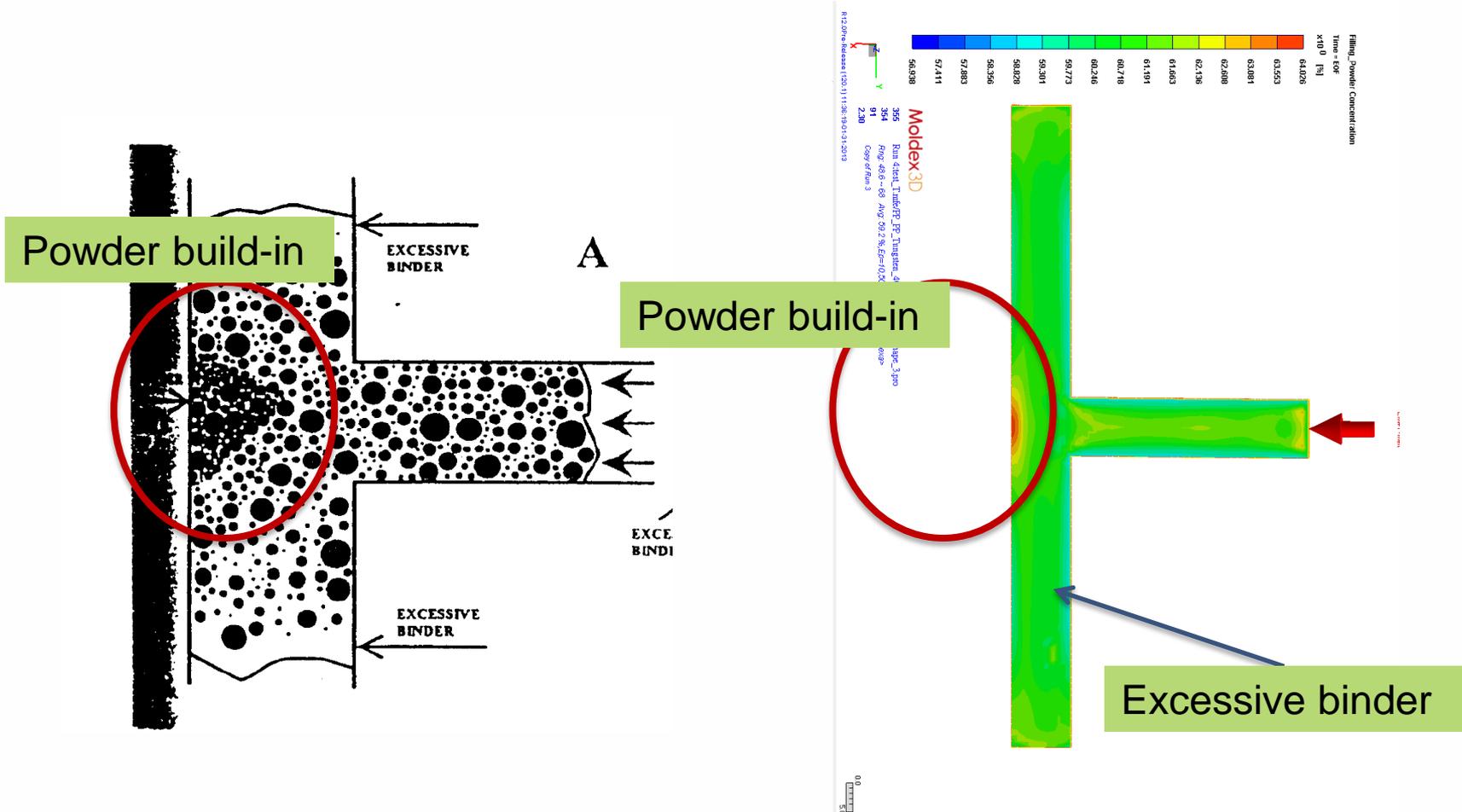


流動中心剪切率較小, 具有較高的粉末濃度



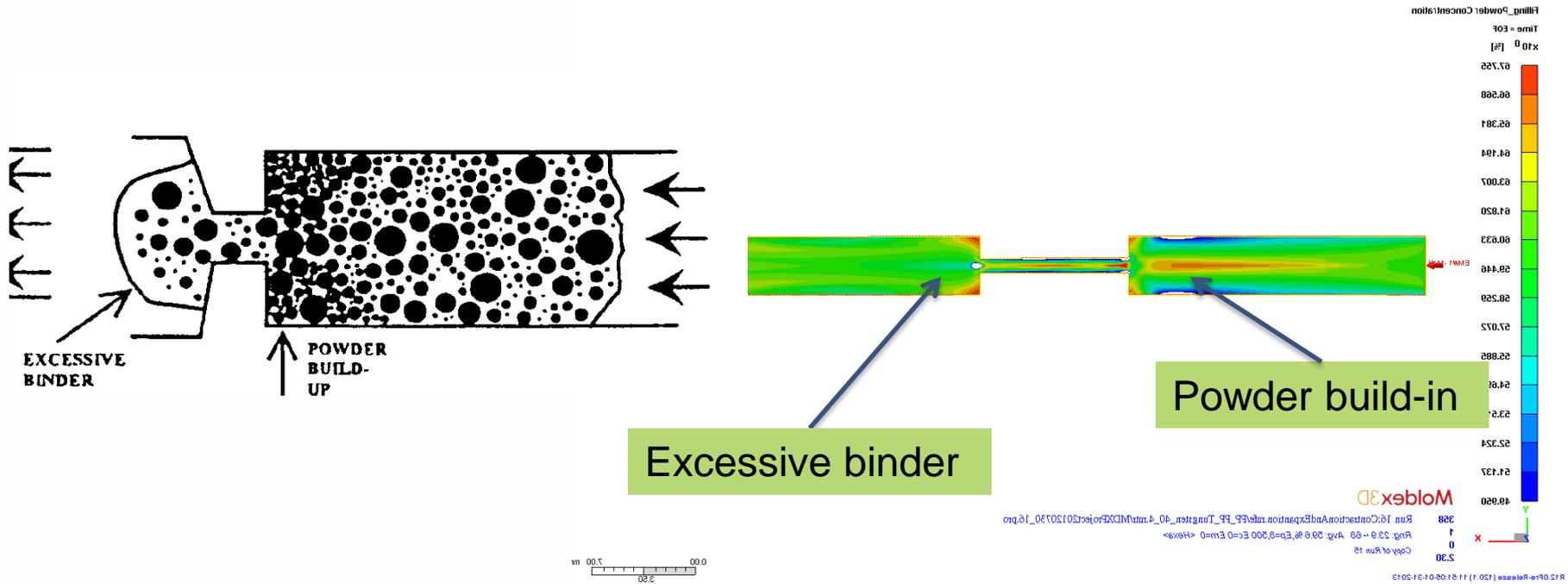
# T型流道:粉末與黏結劑的分離現象

> 在轉角處會有粉末推疊產生

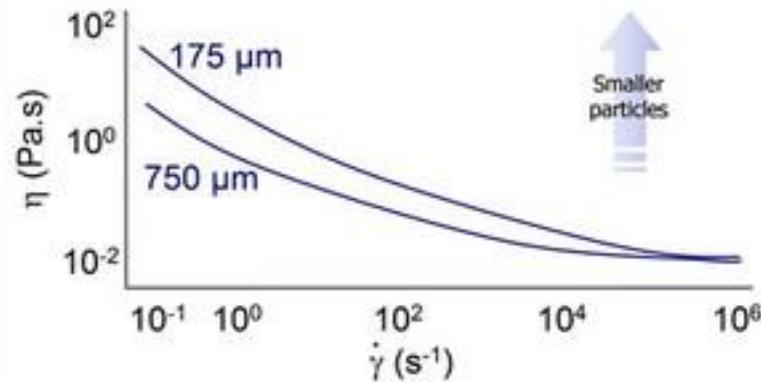
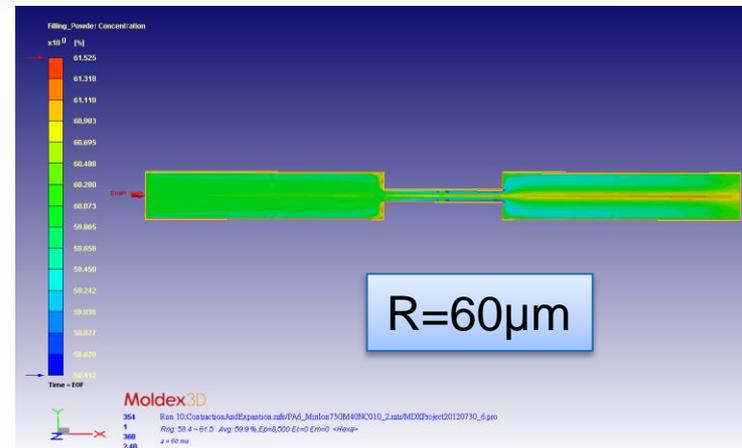
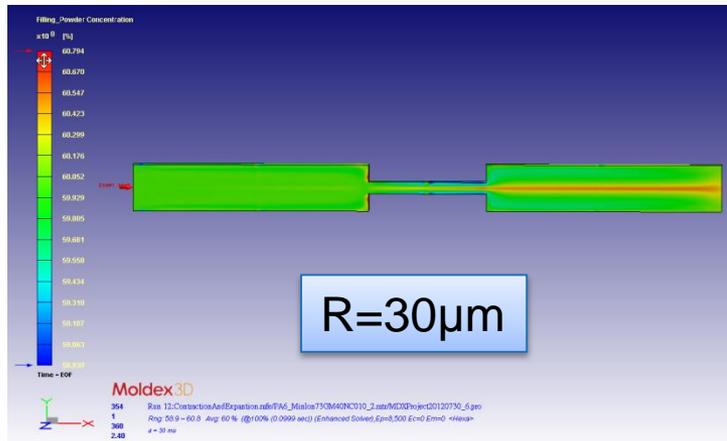
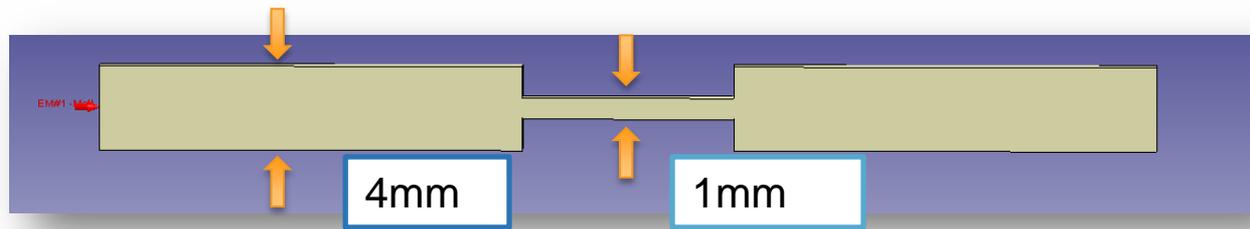


# 收縮膨脹流道:粉末與黏結劑的分離現象

- > 進入收縮區域前會有powder累積, 出了收縮處後binder會過多



# Effect of Particle Size on PIM



# 結論

- > 由以上報告, 很清楚知道粉末與結合劑之餵料, 其流動性很複雜, 因此, 對於材料的量測, 透過現場的MI是不夠的, 因此, 使用更客觀的量測黏度變化是必要的.
- > 更重要, 經材料量測後, 輸入給Moldex3D PIM模組, 粉末濃度預測粉膠分離區域或濃度分佈不均, 將是可能會出線的黑線區域.

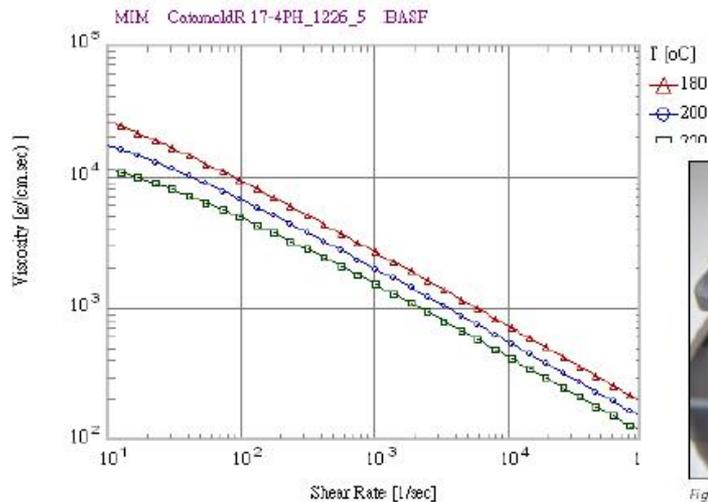


Fig. 8 The black lines are visible on the real green part

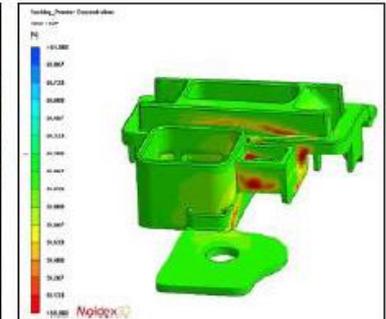


Fig. 9 Powder concentration distribution prediction

# 實際案例應用

# 實際案例分享1

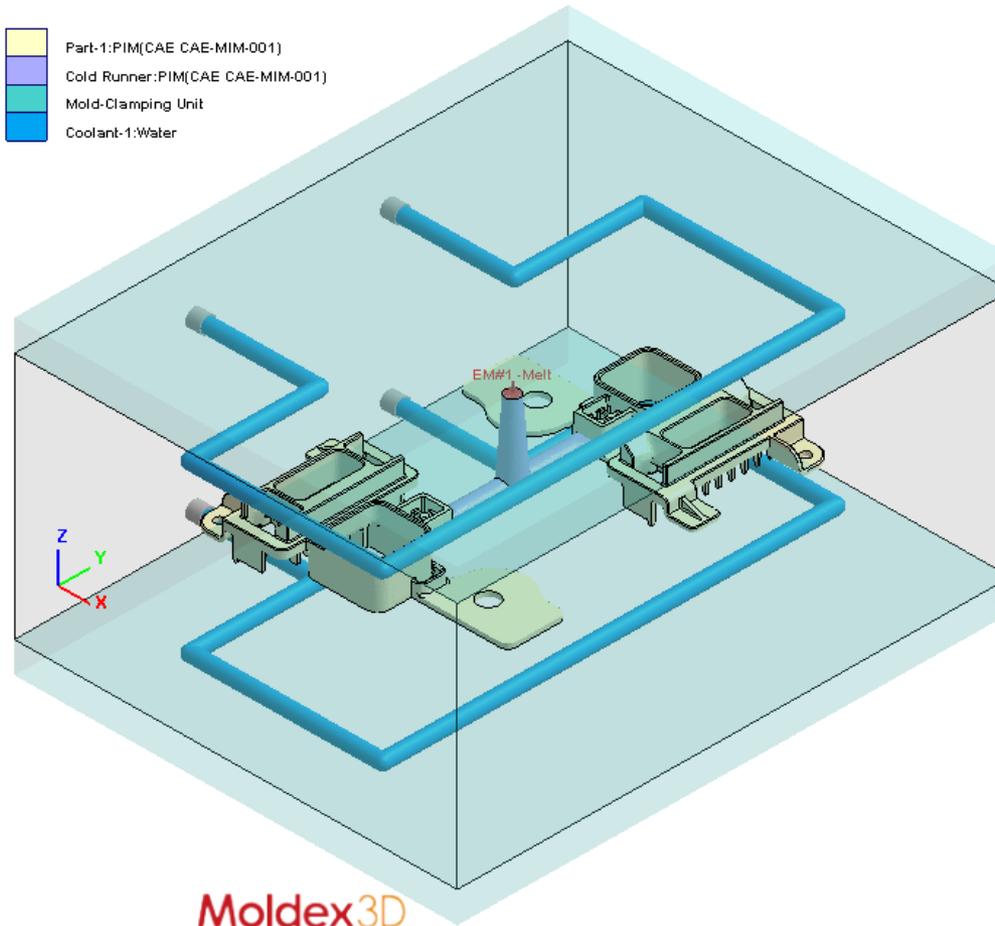
黑線問題預測與驗證

# 實際案例分享1

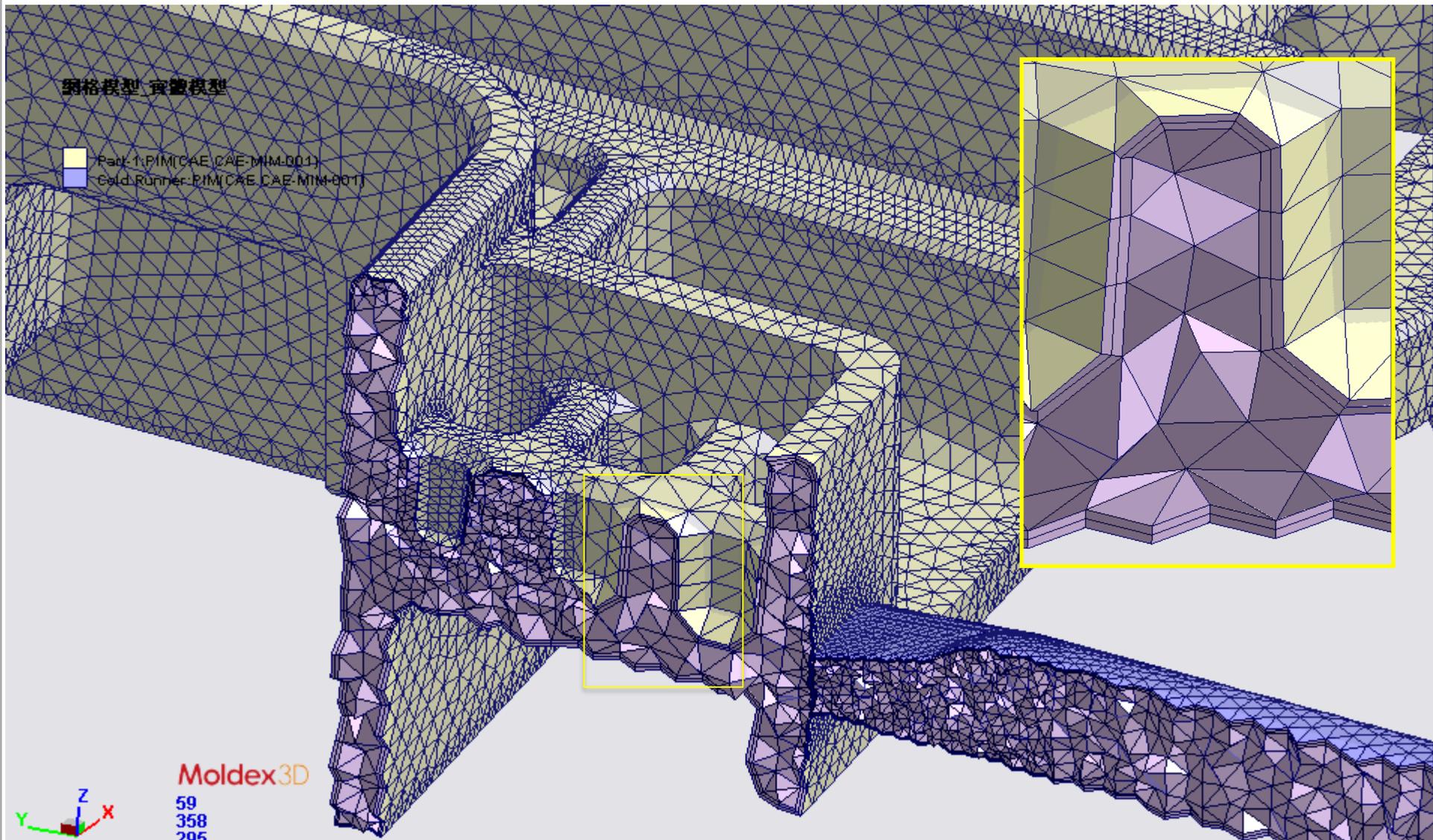
> 產品為一個工業用PDA的內部連結器

Model\_Shaded Model

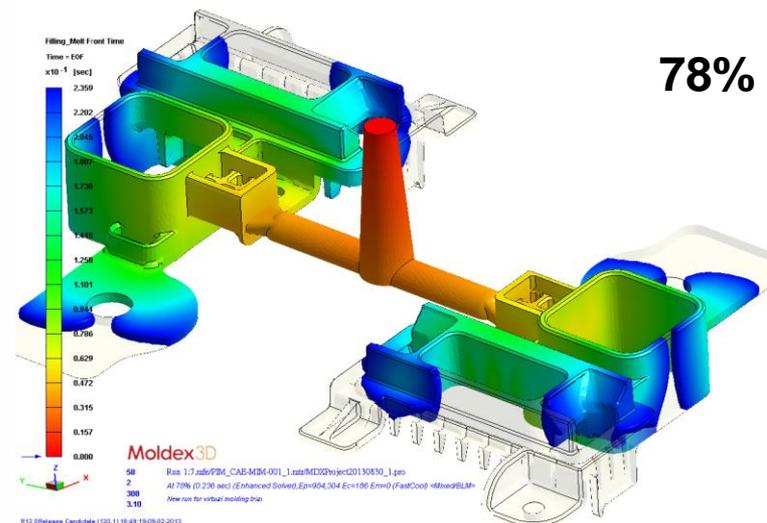
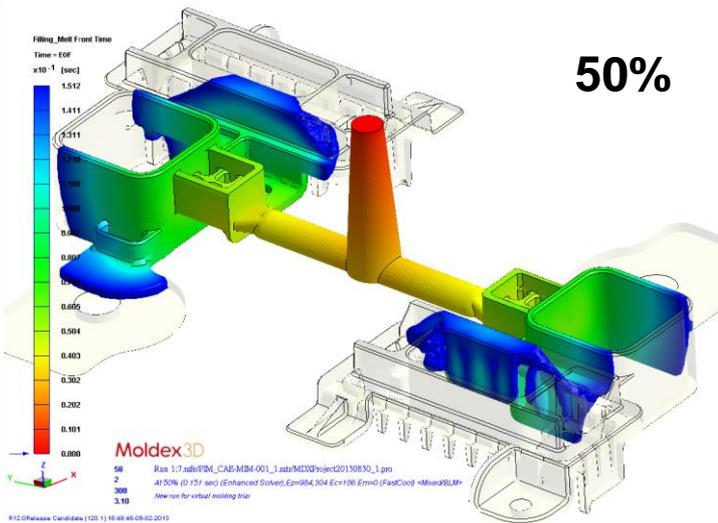
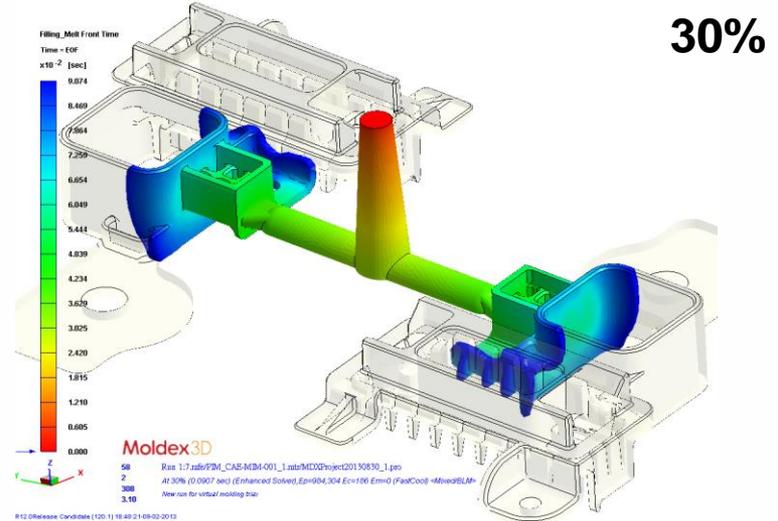
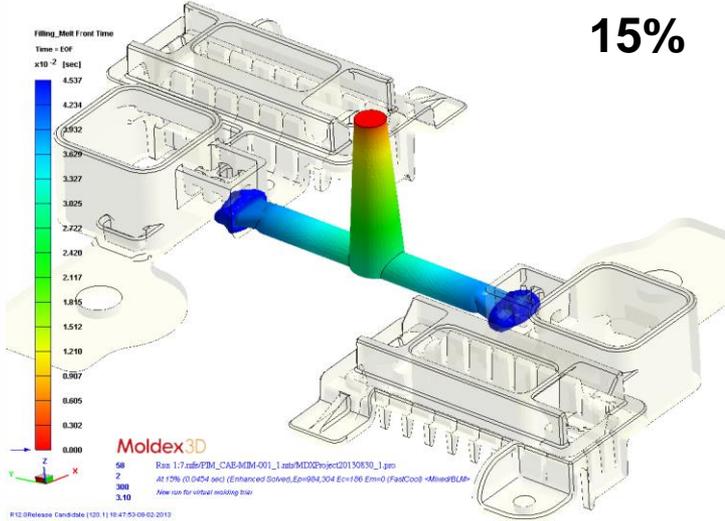
- Part-1:PIM(CAE CAE-MIM-001)
- Cold Runner:PIM(CAE CAE-MIM-001)
- Mold-Clamping Unit
- Coolant-1:Water



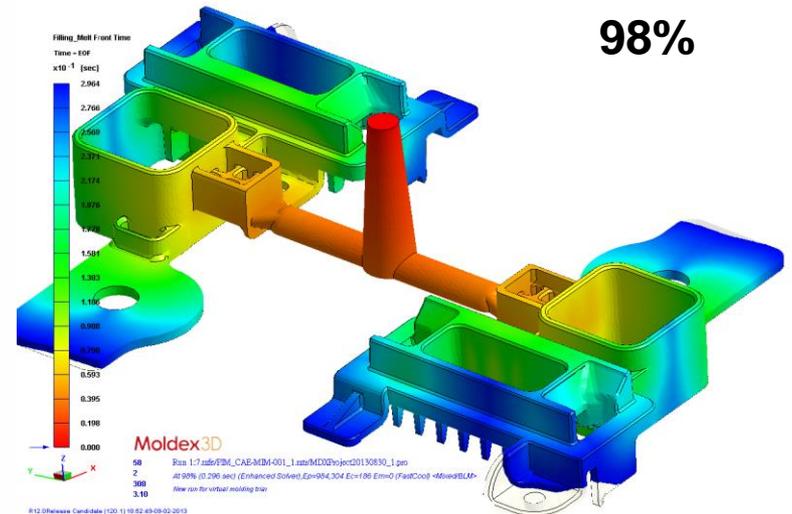
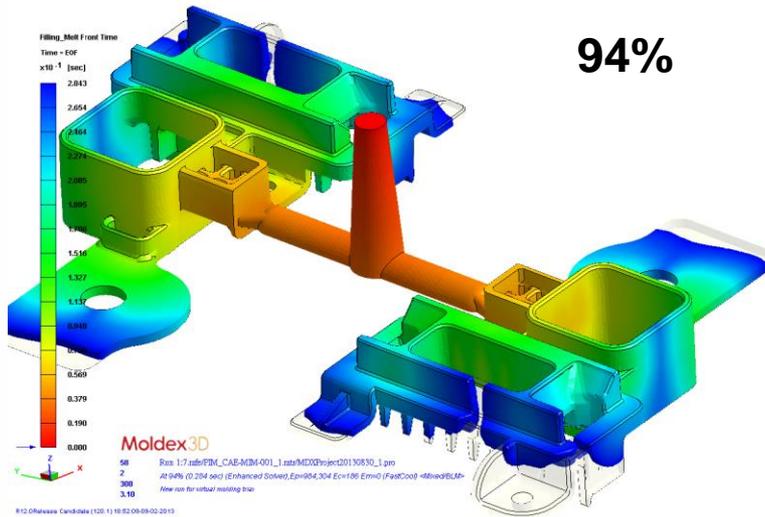
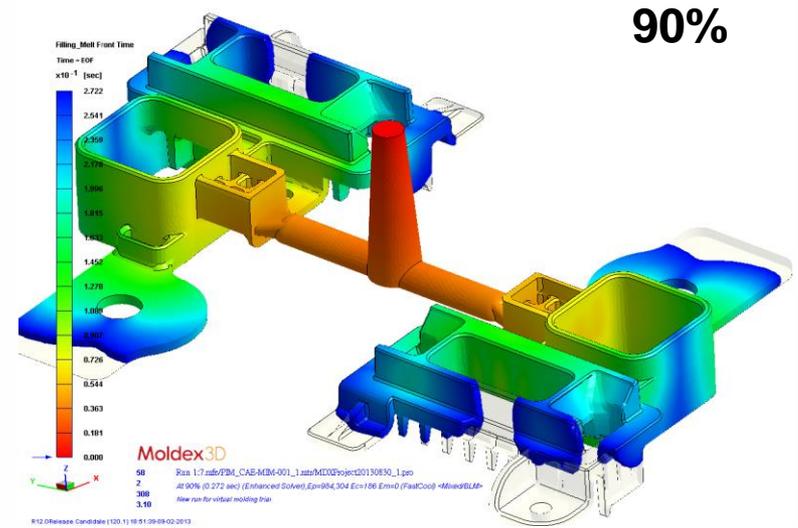
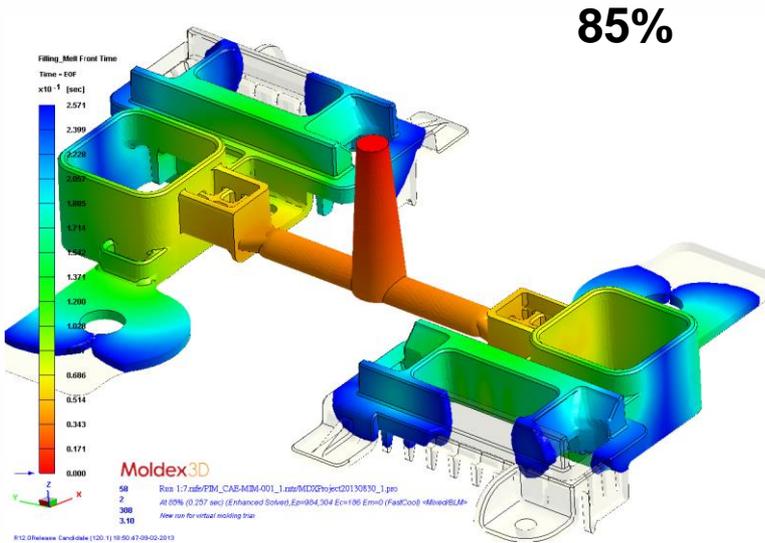
# 網格



# Filling Melt Front (I)



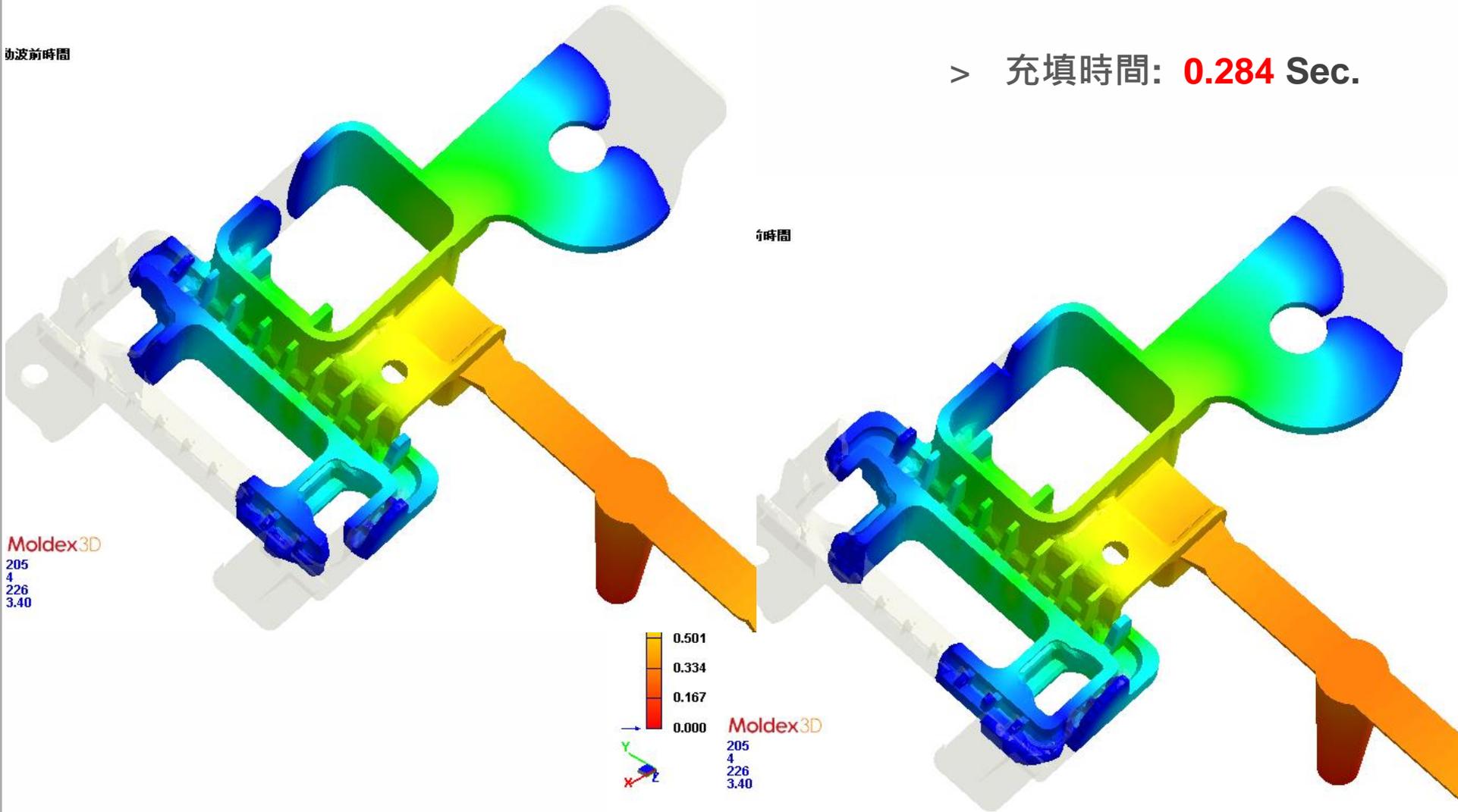
# Filling Melt Front (II)



# 充填\_流動波前

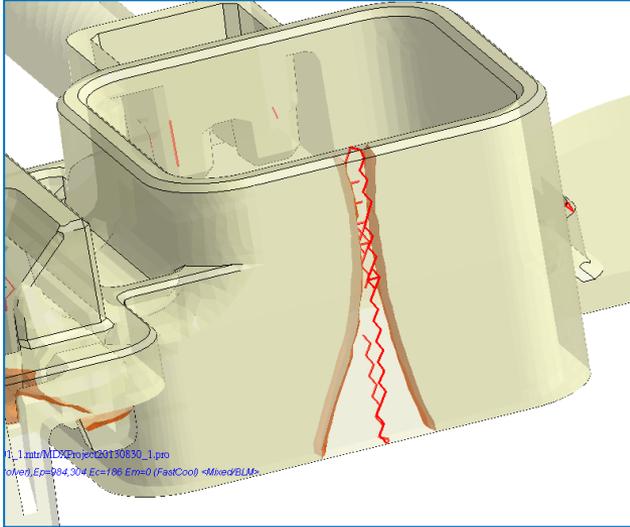
波前時間

> 充填時間: **0.284 Sec.**

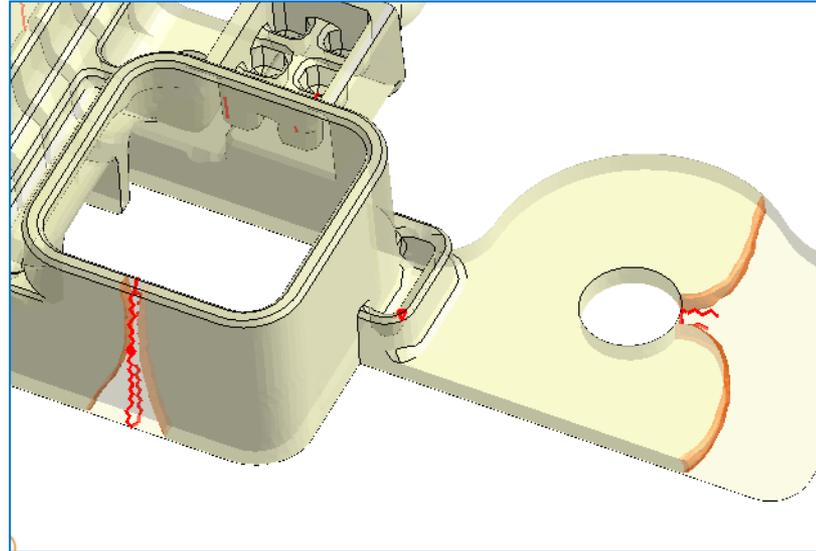


# 縫合線位置

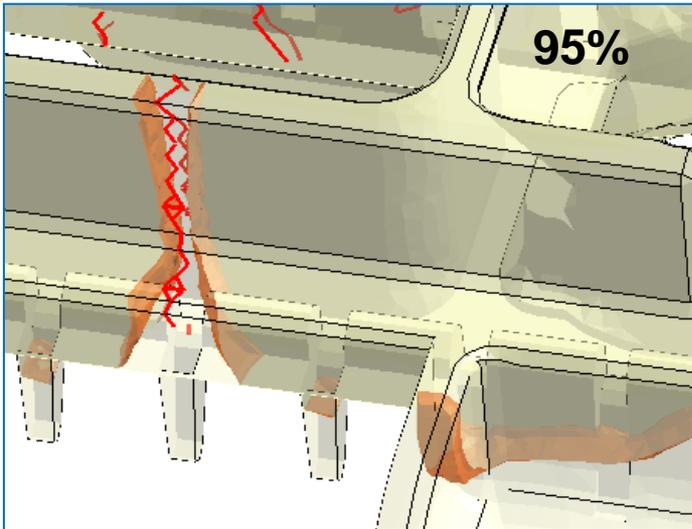
80%



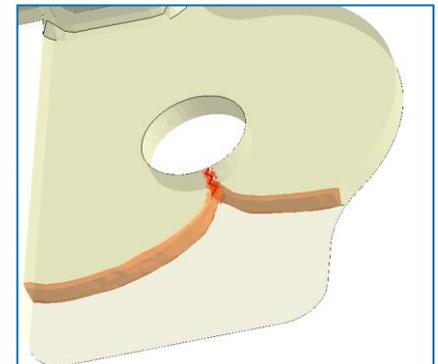
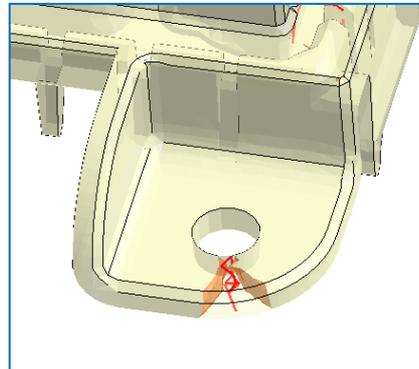
82%



95%



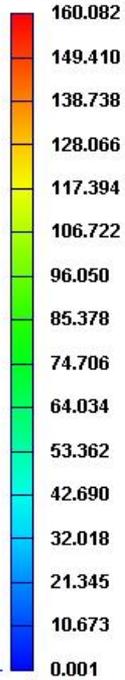
99.9%



# 剪切速率

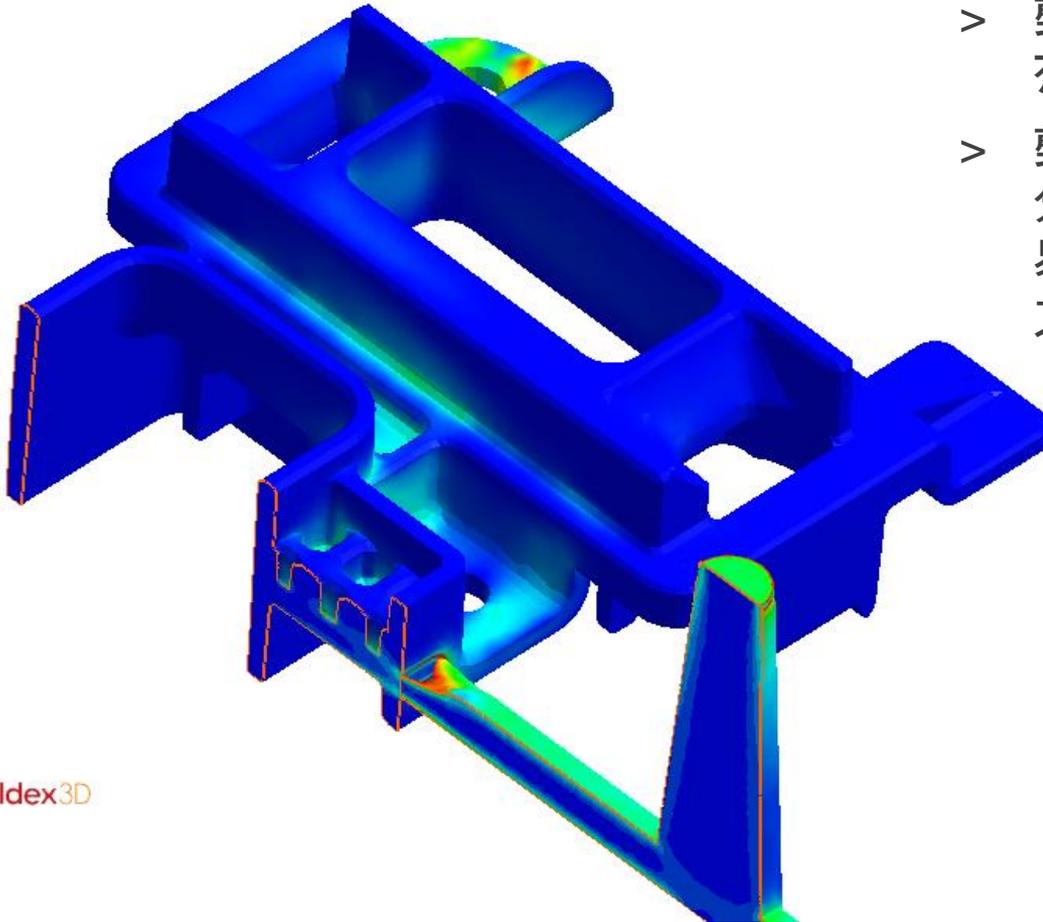
充填結果\_剪切率

$\times 10^2$  [1/sec]

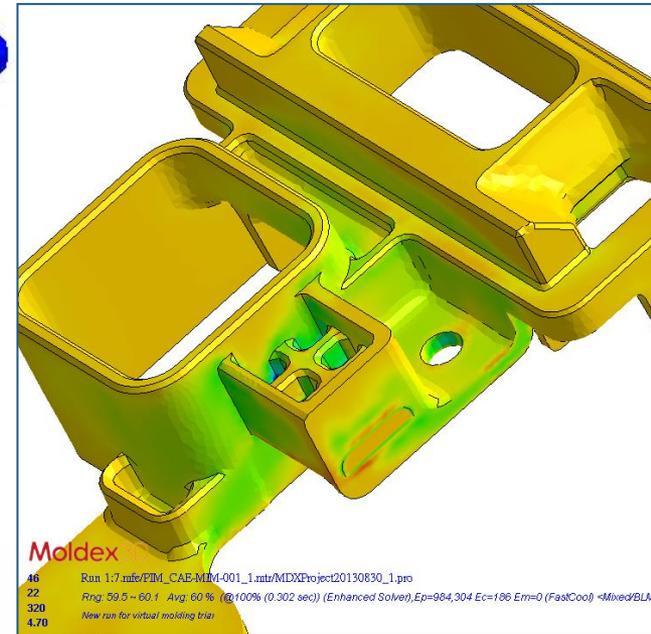


Moldex3D

47  
357  
316  
3.81

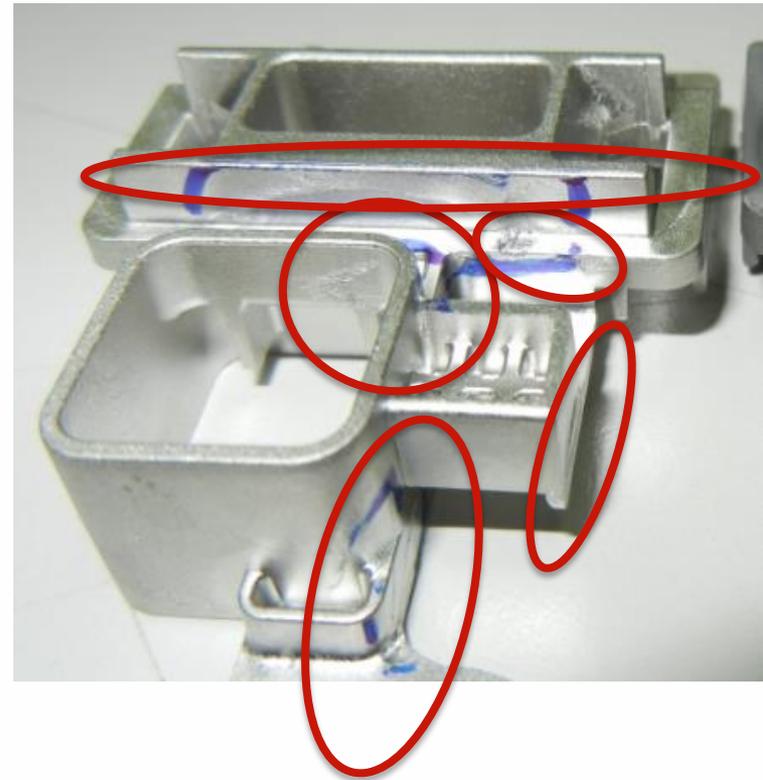
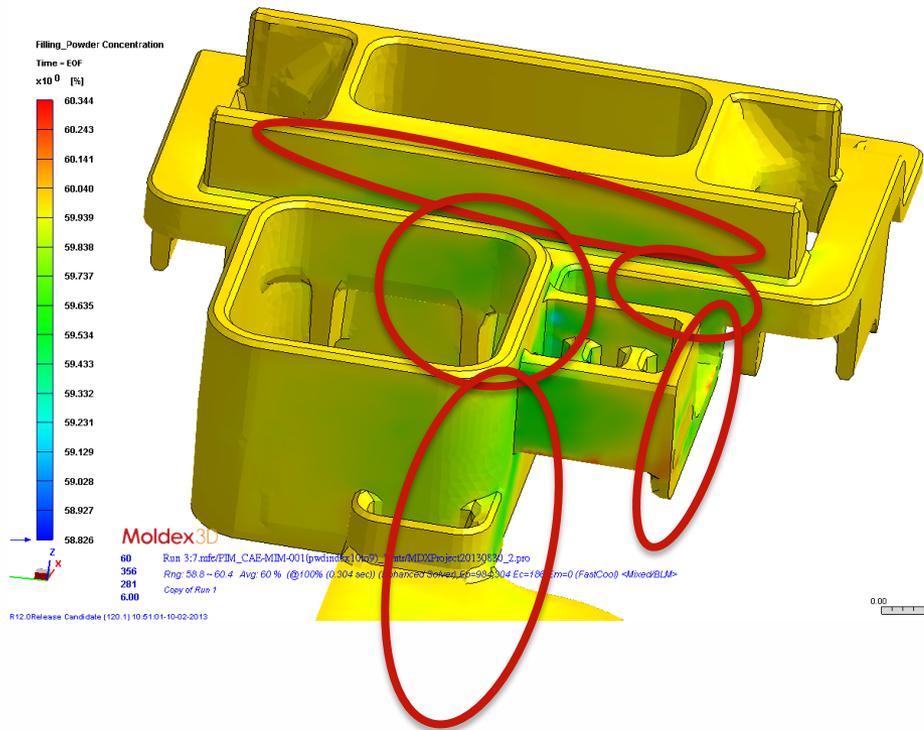


- > 剪切速率顯示與粉末濃度具有負相關。
- > 剪切速率越高的地方，塑料分布越不均勻，粉末越不容易堆積，造成粉末濃度較低之結果。



# A Comparison with practical MIM part

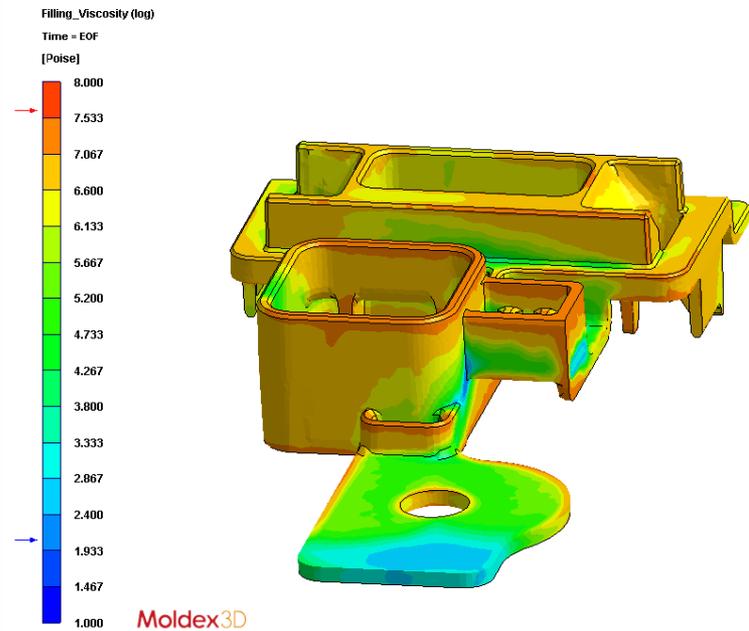
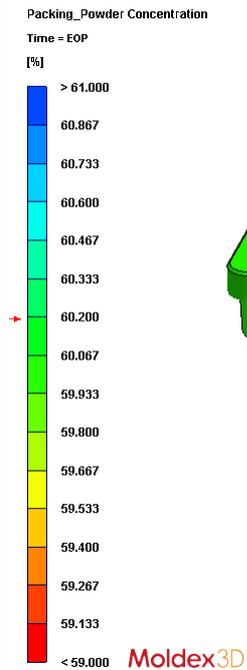
- > Low powder concentration is most possible to be black lines .





# Cause: Effect of Viscosity

- > 可以觀察出濃度過低的紅色區域，相對應出示黏度分布的綠色到紅色區域，可視為高黏度區域。因此，如果可以降低這些區域的黏度狀況，是有可能改善表面瑕疵的機會。

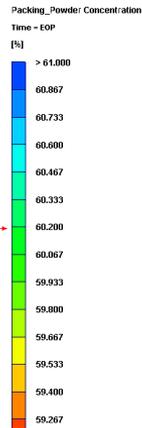


# Cause: Effect of Viscosity

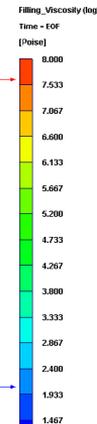
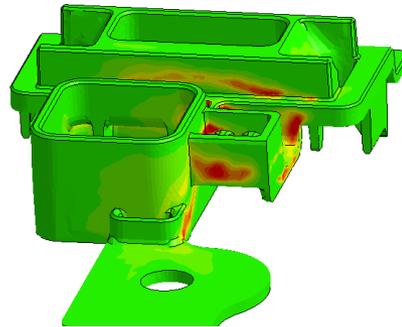
## > 改善表面瑕疵

- 以上黏度分布與粉末濃度的分析，表面瑕疵區域的特徵是低濃度對應低黏度區域，因此利用增加一倍填充速度，成功地改善了粉末濃度分布。

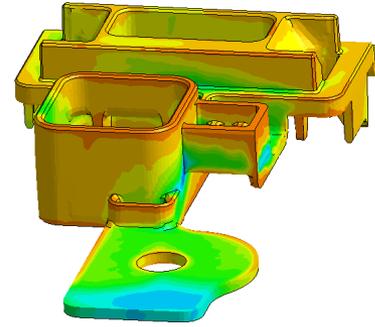
原始組



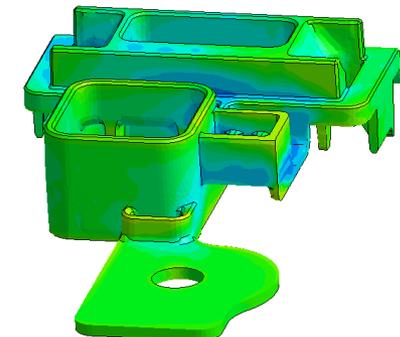
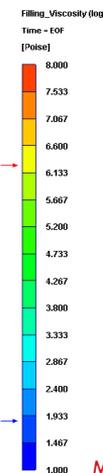
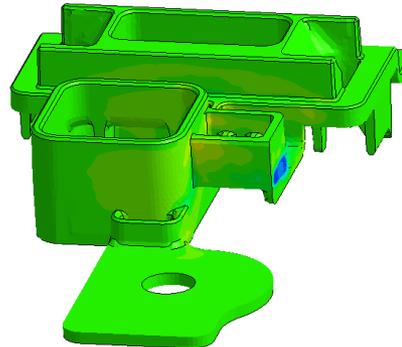
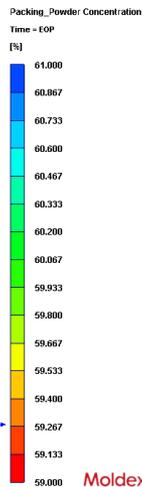
濃度分布



黏度分布



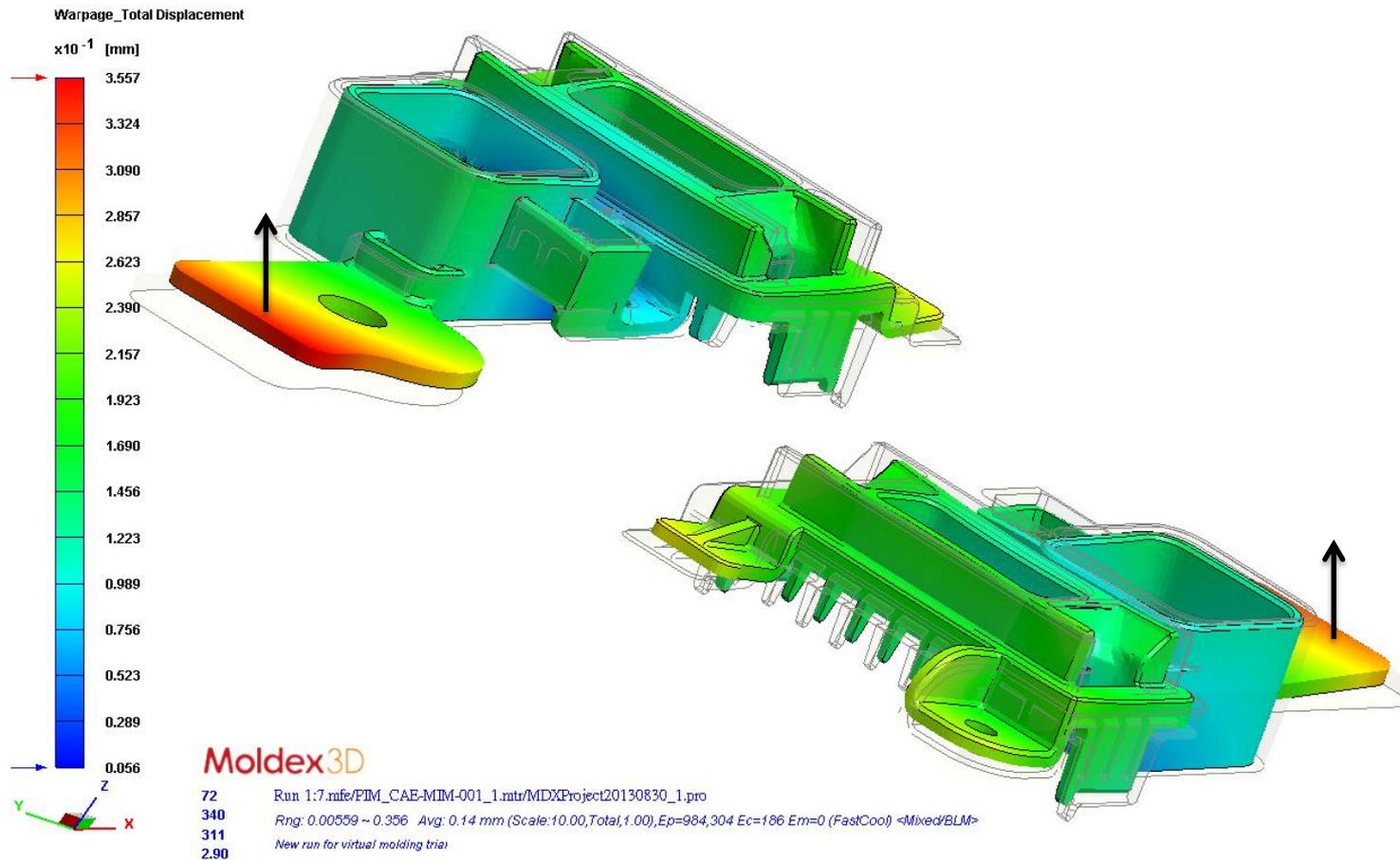
設變組



# 翹曲變形 總位移

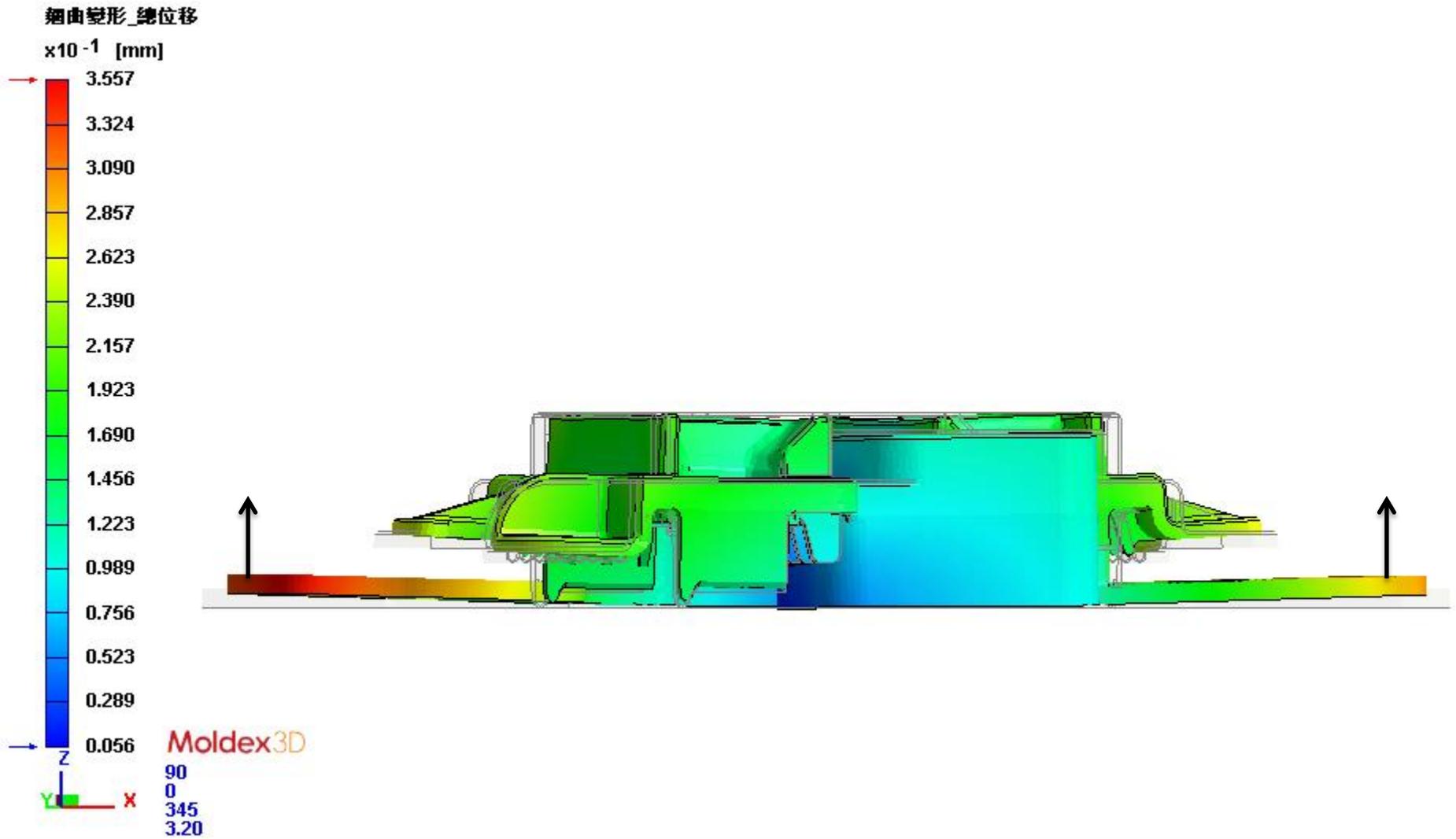
放大倍率10

- > 翹曲變形主要發生在末端較薄處，如箭頭所示往上翹曲。



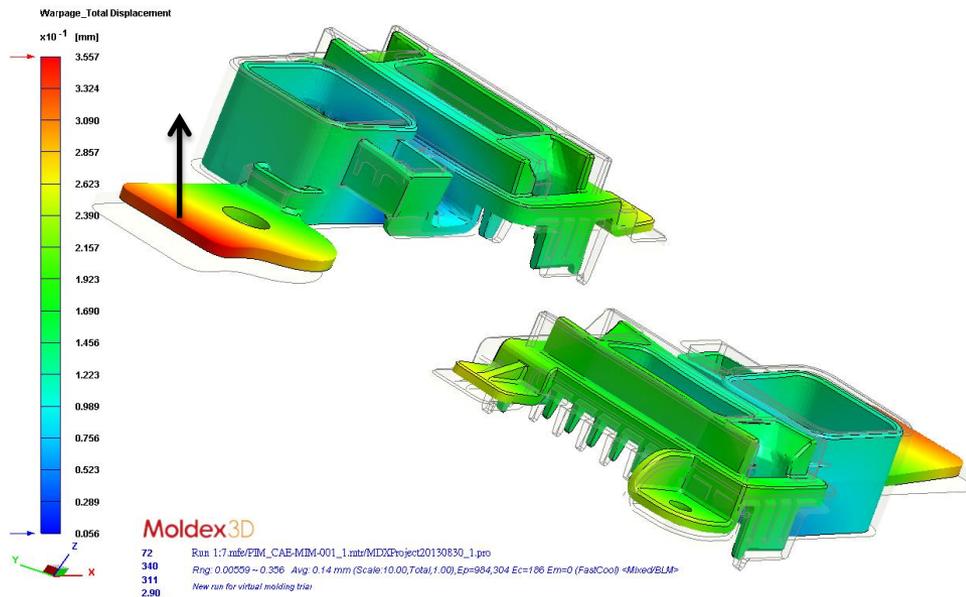
# 翹曲變形 總位移

放大倍率10



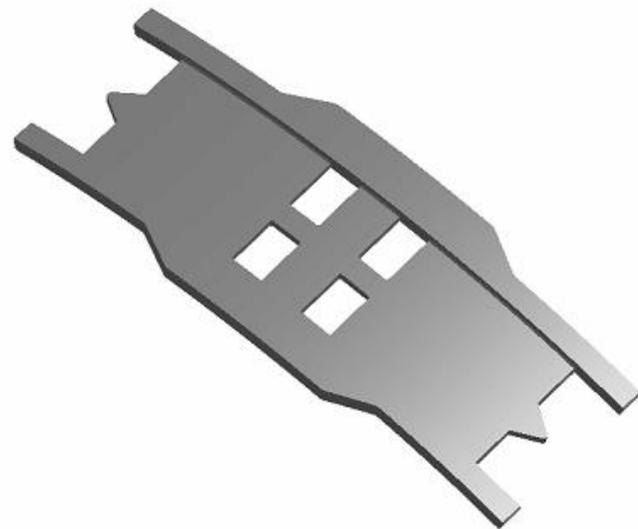
# 黑線位置預測

- > 在翹曲結果上，分析結果與實際狀況吻合度相當高。
- > 實品在薄末端的翹曲方向與分析結果一致，肉眼可見，其他地方則與分析結果相同沒有太大的翹曲產生。

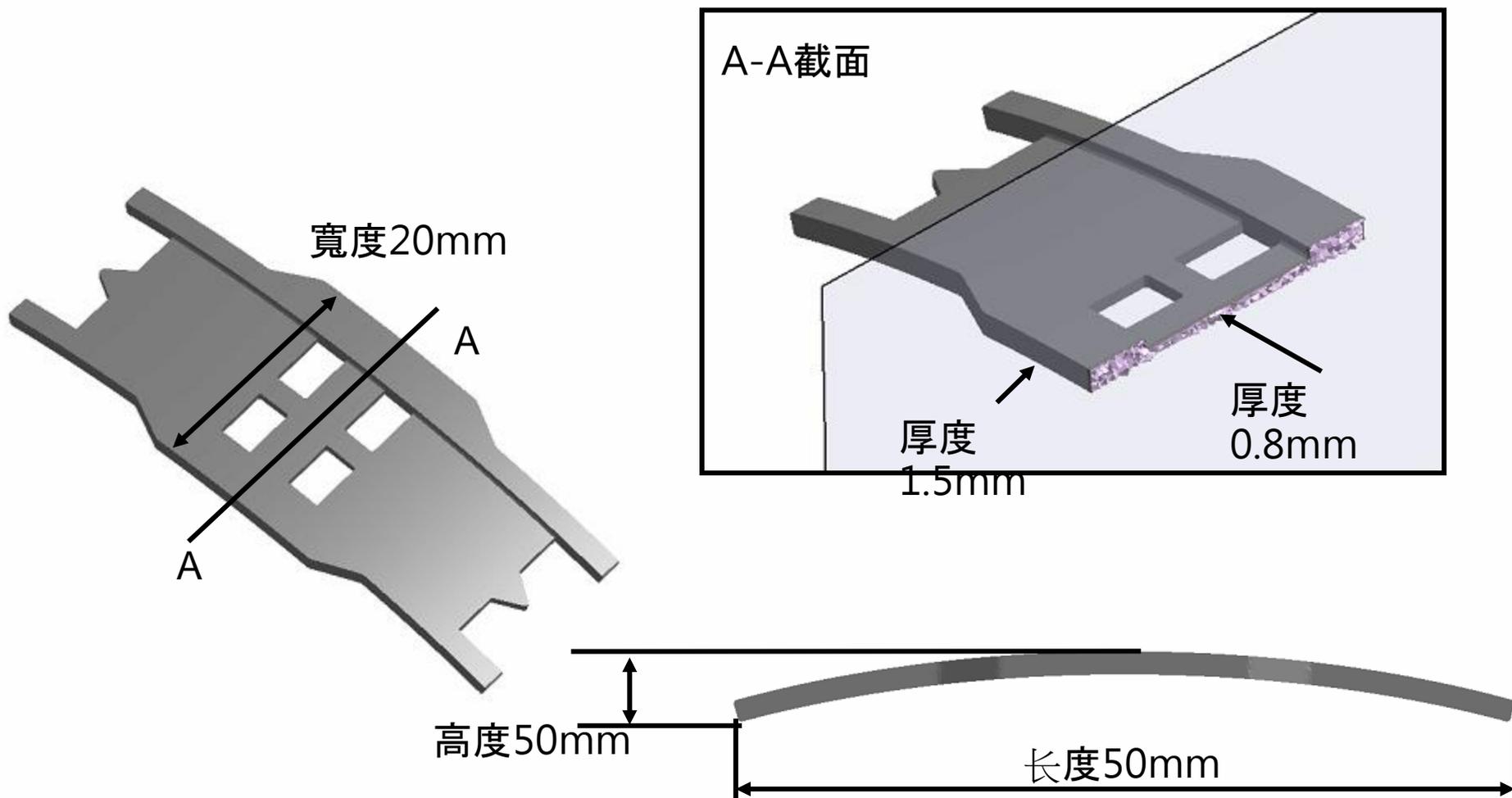


# 實際案例分享2

## 澆口位置設計評估

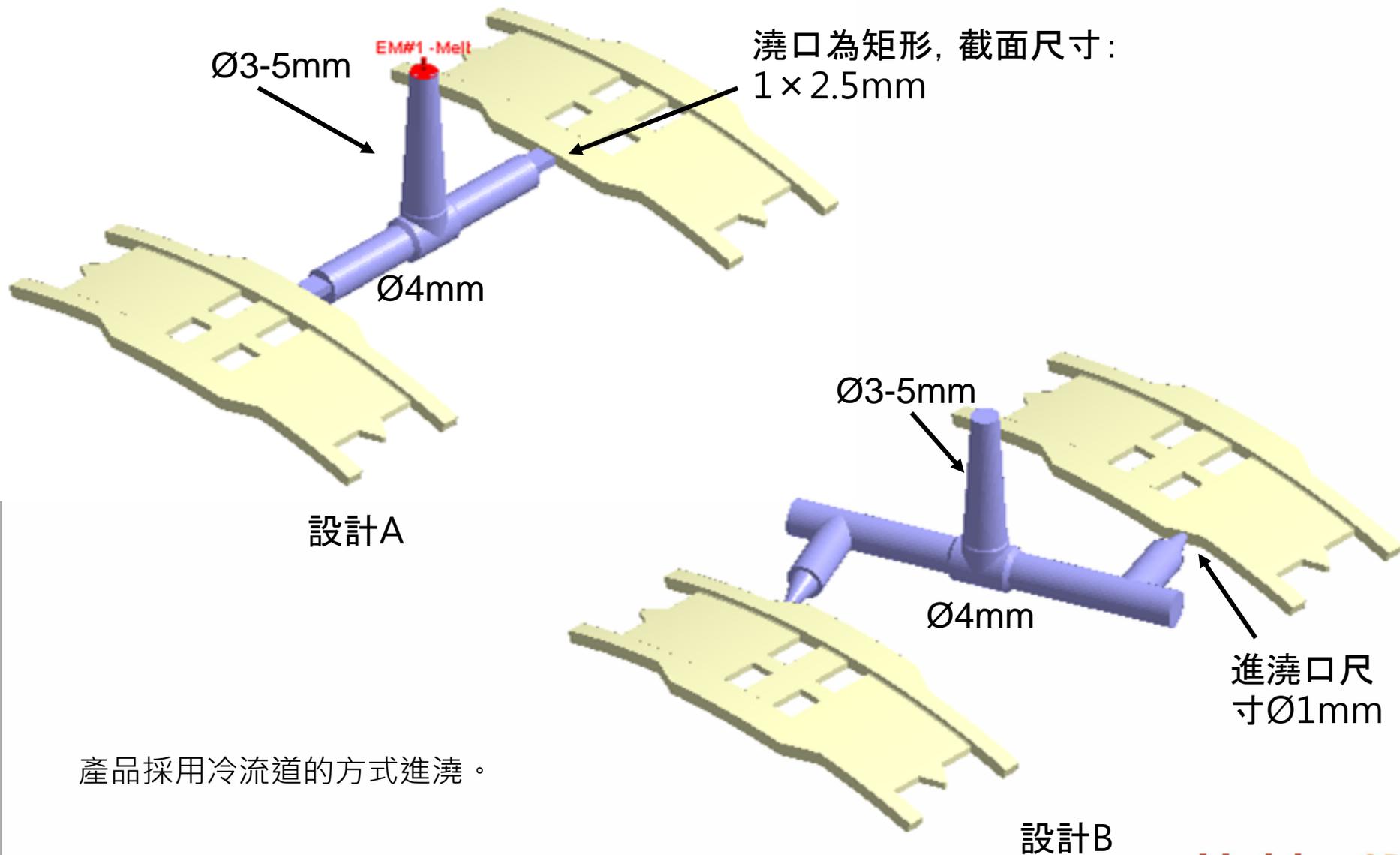


# 產品結構



產品厚度中間區域為0.8mm，兩側的厚度為1.5mm，差異為0.7mm。

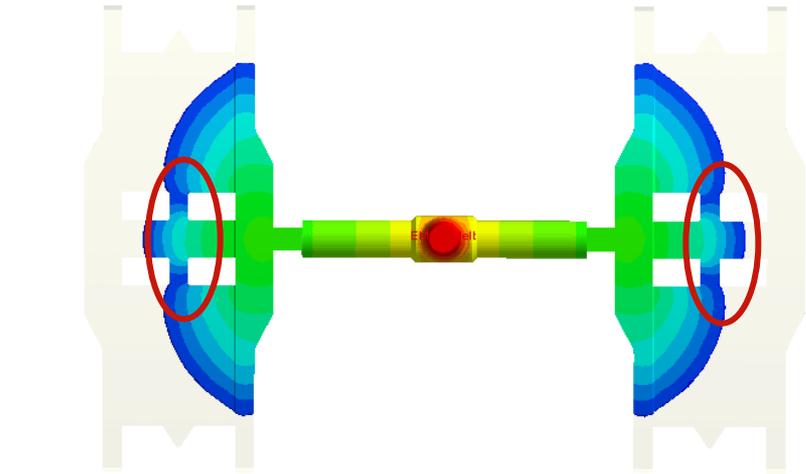
# 產品流道設計



# 流動波前60%

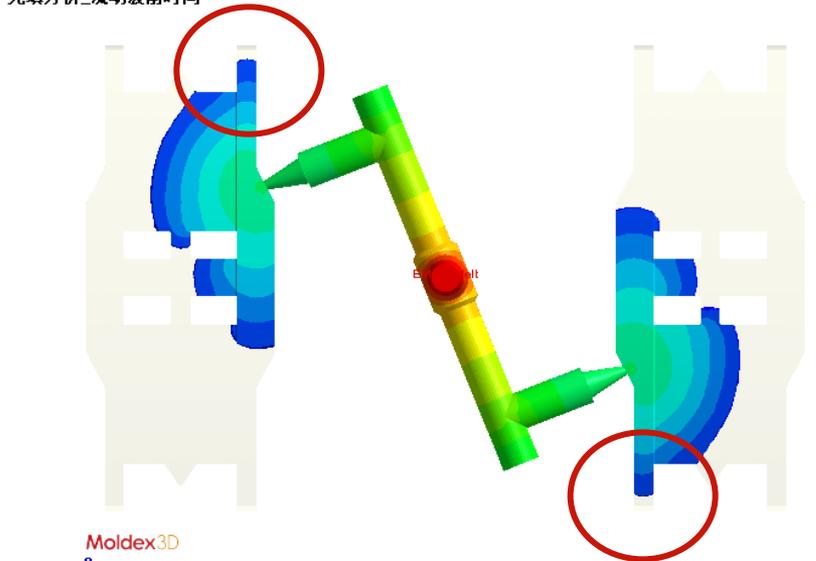
藉由不同範圍的流動波前圖或是流動波前動畫，可看塑膠在模穴中各時刻的充填情形，可預測縫合線及包封位置，且可判斷是否會有短射現象發生，提供排氣孔位置安排等參考。

充填分析\_流动波前时间



設計A

充填分析\_流动波前时间



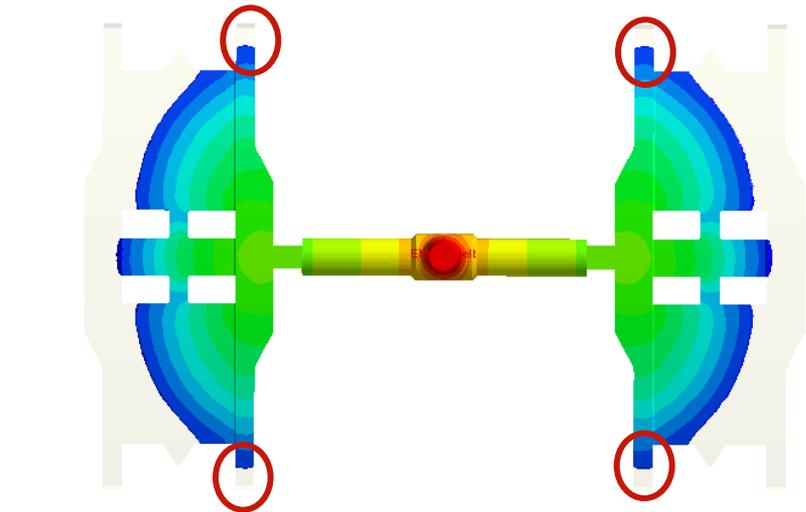
設計B

- 設計A，熔膠兩兩匯合，產生縫合線；
- 設計B，離澆口近的角落即將充填完成。

# 流動波前70%

藉由不同範圍的流動波前圖或是流動波前動畫，可看塑膠在模穴中各時刻的充填情形，可預測縫合線及包封位置，且可判斷是否會有短射現象發生，提供排氣孔位置安排等參考。

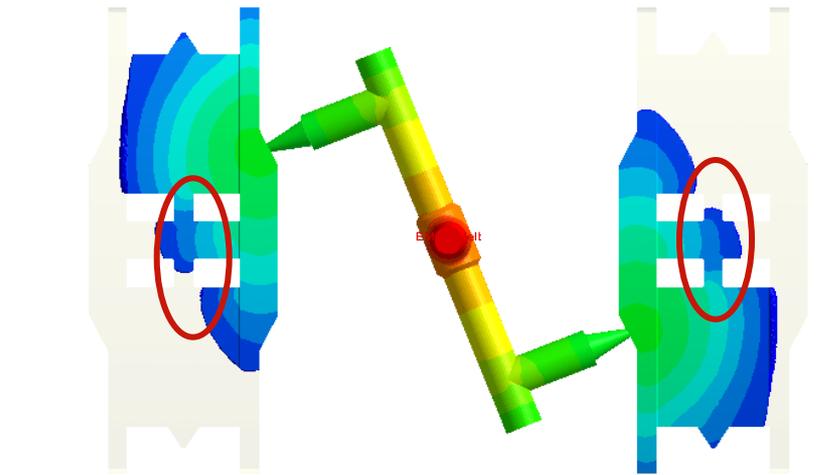
充填分析\_流动波前时间



Moldex3D  
0  
0  
90  
2.00  
Z  
Y  
X

設計A

充填分析\_流动波前时间



Moldex3D  
0  
0  
90  
2.00  
Z  
Y  
X

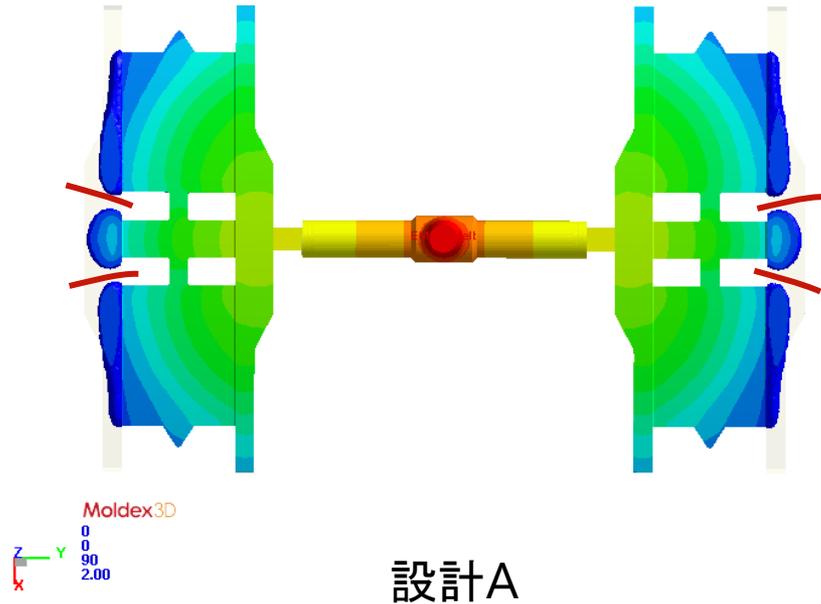
設計B

- 設計A, 靠近澆口側, 角落即將充填完成;
- 設計B, 熔膠匯合, 產生縫合線。

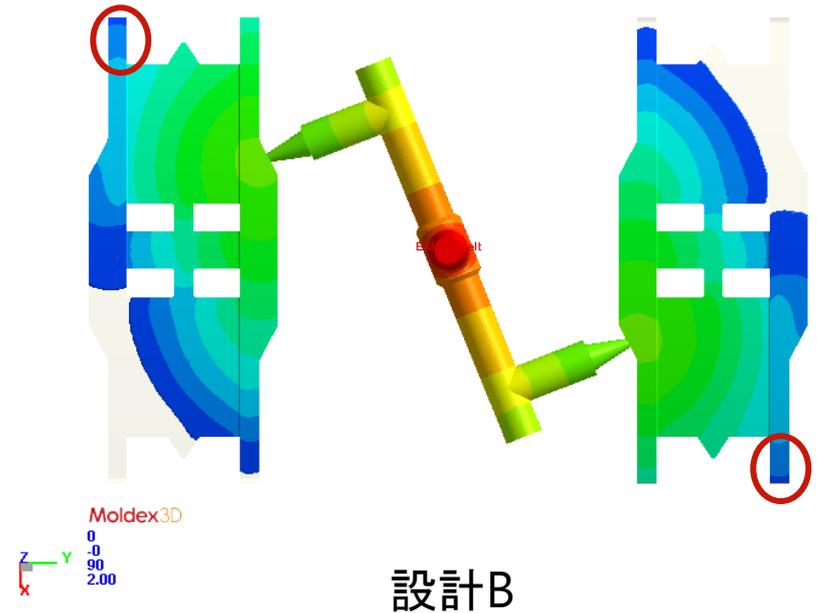
# 流動波前90%

藉由不同範圍的流動波前圖或是流動波前動畫，可看塑膠在模穴中各時刻的充填情形，可預測縫合線及包封位置，且可判斷是否會有短射現象發生，提供排氣孔位置安排等參考。

充填分析\_流动波前时间



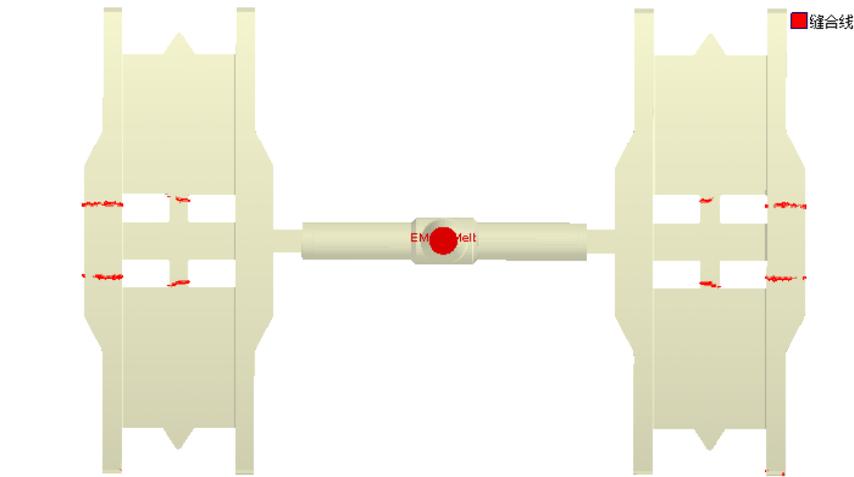
充填分析\_流动波前时间



- 設計A, 熔膠匯合處有縫合線生成;
- 設計B, 紅線框選角落充填完成。

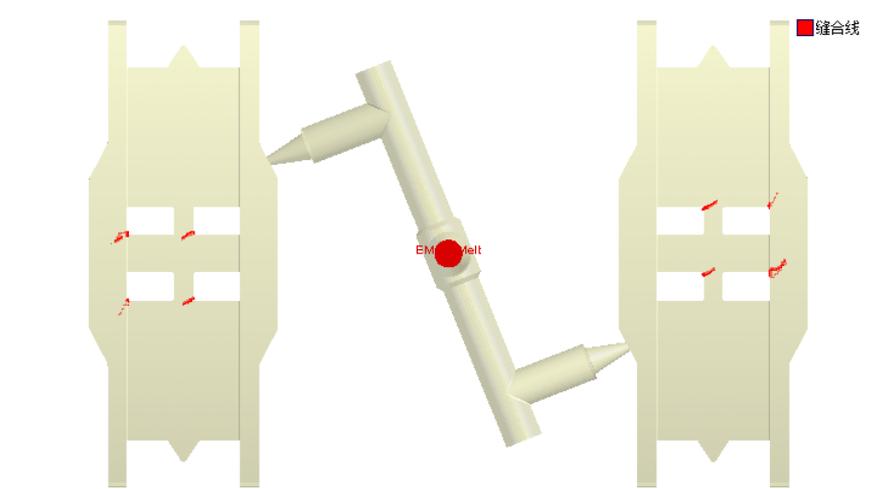
# 縫合線位置

充填分析\_縫合線



設計A

充填分析\_縫合線

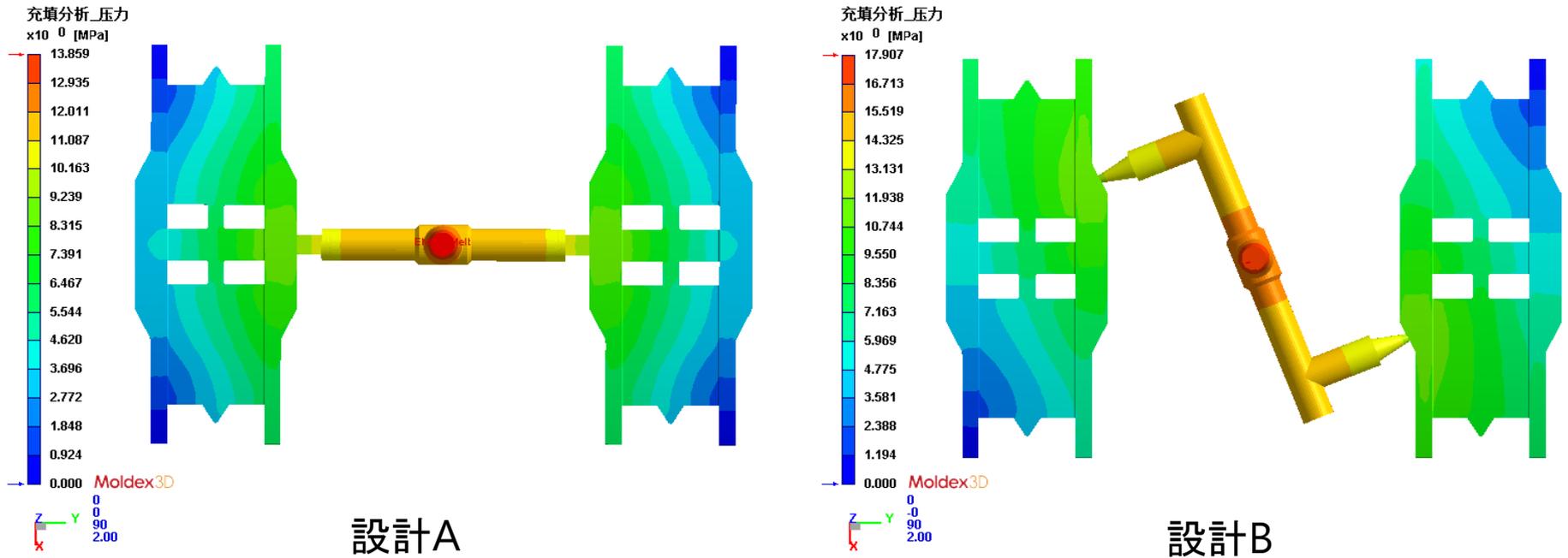


設計B

- 設計A, 縫合線呈一條直線分布在靠破孔中間區域, 容易對產品強度造成影響。
- 設計B, 縫合線比設計A短, 且與孔區域呈角度分布, 產品強度較好。

# 充填壓力分布

由壓降與壓力分布信息輔助使用者進行模具設計之變更：檢視壓力傳遞情形，檢視流道系統壓降，檢視設計流動是否平衡，避免熔膠過度保壓或出毛邊，檢視保壓程度。



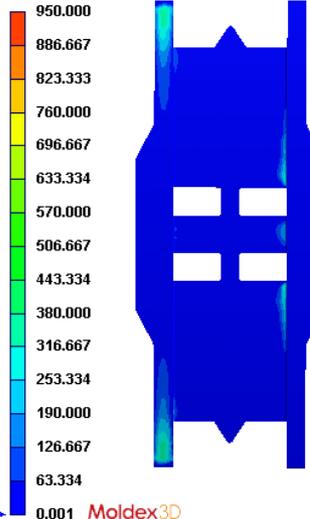
- 充填結束時，壓力從進澆口傳遞，流動末端最小。上圖分別為兩種流道設計的充填壓力分布。

# 剪切率

以不同顏色顯示當下的剪切率分布情形。剪切率指塑料成型加工過程中的特征形變速率。剪切率分布與速度梯度的變化量及分子鏈配向性有關。剪切率過高會破壞高分子鏈造成成型塑件局部劣化，同時高剪切率也有可能導致過量黏滯加熱造成塑件燒焦。一般而言在成型過程中此值應保持在 $10,000 \text{ sec}^{-1}$ 以下

充填分析\_剪切率

$\times 10^{-1} [1/\text{sec}]$



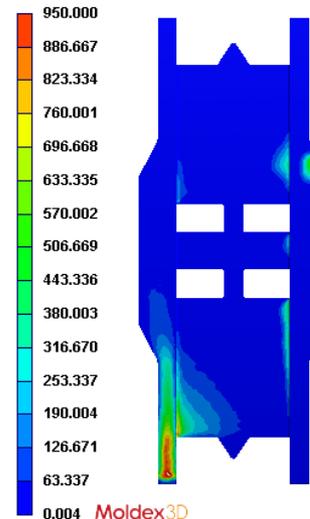
Moldex3D

0  
0  
90  
2.00

設計A

充填分析\_剪切率

$\times 10^{-1} [1/\text{sec}]$



Moldex3D

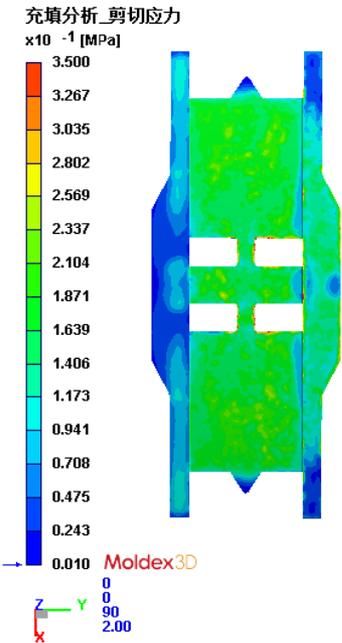
0  
0  
90  
2.00

設計B

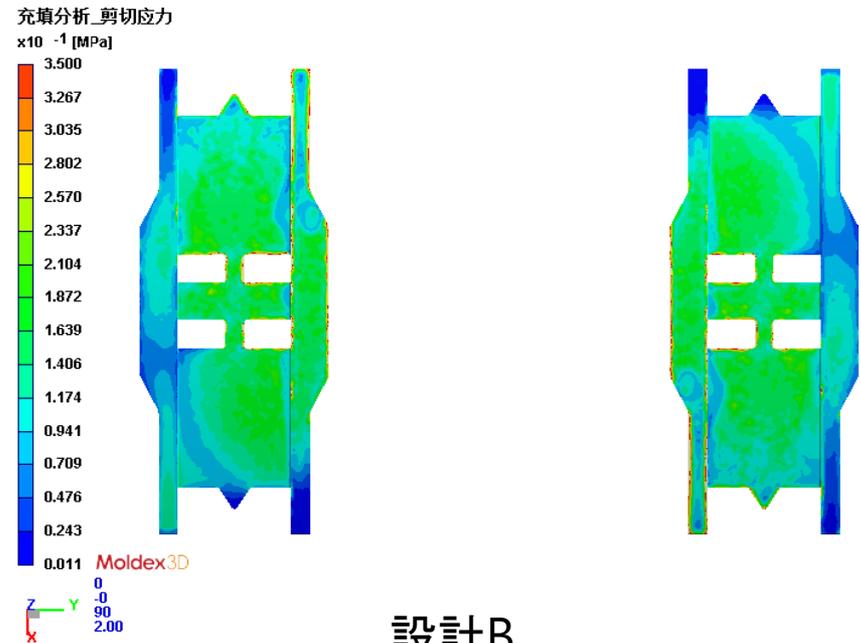
- 上圖分別為兩種流道設計的剪切率分布。
- 設計B的剪切率大。

# 剪切應力

以不同顏色顯示當下的剪切應力分布。流動剪切應力是成型塑件內應力的來源之一，若分布不均，易造成成型塑件尺寸安定性問題。剪切應力值過高亦可能導致塑件殘留應力問題。



設計A



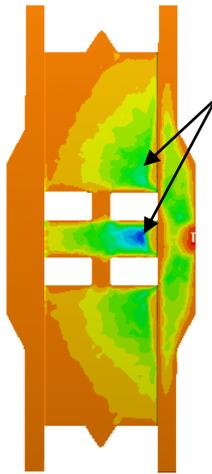
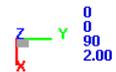
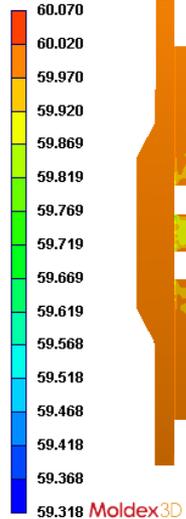
設計B

- 上圖分別為兩種流道設計的剪切應力分布。
- 設計B的分布較為均勻。

# 粉末濃度

充填分析\_粉末濃度

$\times 10^0$  [%]

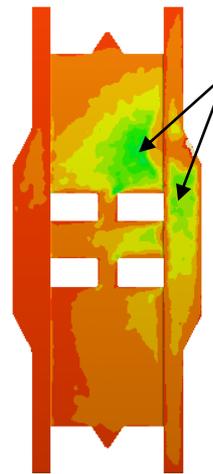
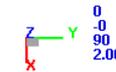
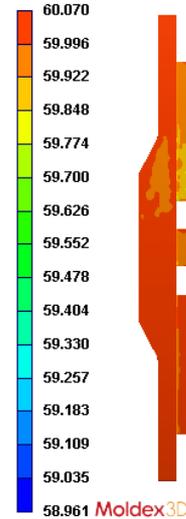


綠色區域為  
粉末濃度較  
低

設計A

充填分析\_粉末濃度

$\times 10^0$  [%]



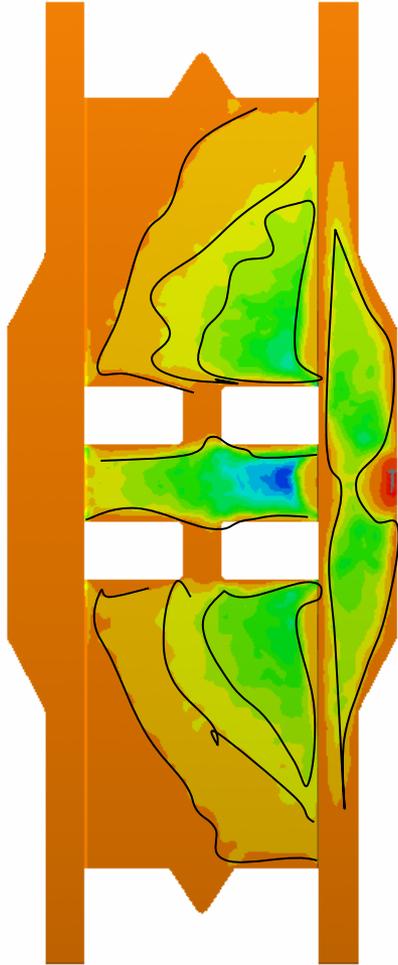
綠色區域為  
粉末濃度較  
低

設計B

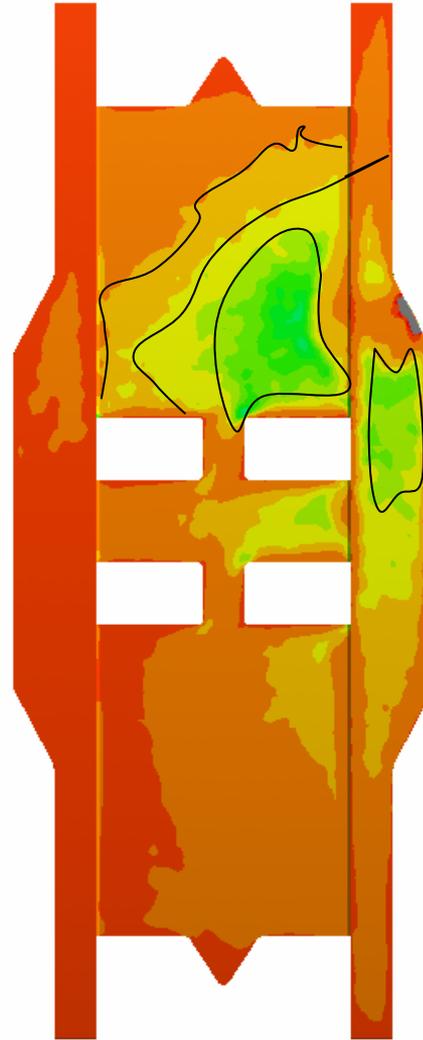
- 上圖分別為兩種流道設計的金屬粉末濃度分布。
- 粉末濃度的分布受剪切應力與剪切率的影響。
- 粉末濃度有差異的區域會有黑線產生。

# 粉末濃度

設計A



設計B



設計A的粉末濃度有差異的比較多，會有比較多的黑線生成，設計B較佳。

# 總結

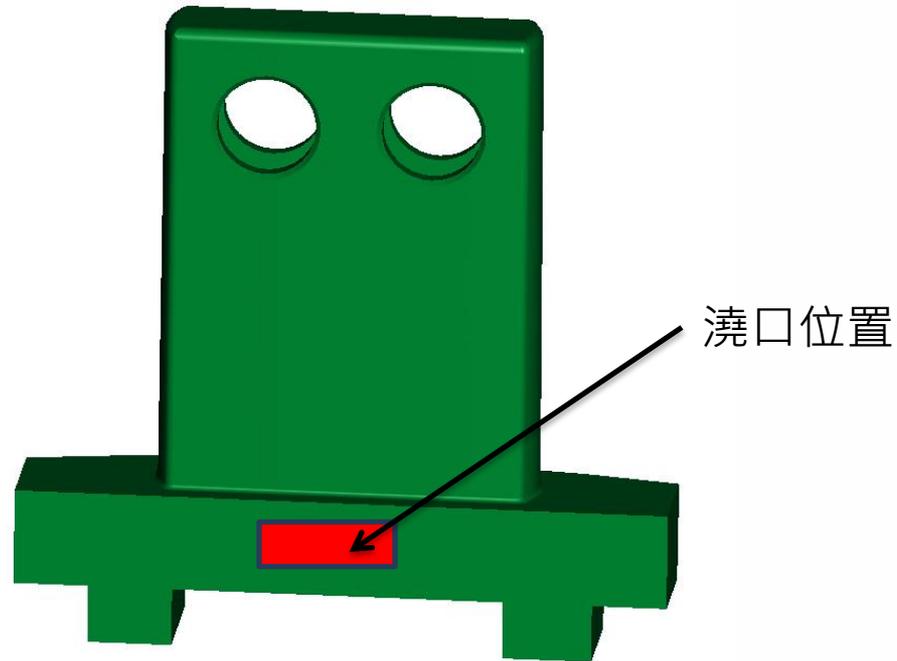
---

- > 藉由Moldex3D分析，流動波前結果顯示出可能產生結合線、包封的位置，對比兩種流道設計，無論在縫合線的長度，還是位置上，流道設計B方案較佳。
- > 粉末濃度有差異的區域是會生成黑線的位置。
- > 黑線的發生會在粉末濃度較低的區域，一般澆口附近會有較大剪切率，因此黑線位置在澆口附近的機率高。
- > 兩種設計的翹曲分析結果趨勢一致，數值相近。但此翹曲變形為射出成型後生胚的變形，後續經過燒結加工後，會有二次變形。
- > 綜上所述，建議產用設計B。

# 實際案例分享3

# 現況預測的重點

- > 流動波前
- > 溫度
- > 剪切應力
- > 剪切率
- > 縫合線
- > 濃度分布
- > 黑線
- > 包封
- > 翹曲



原料：金屬粉末

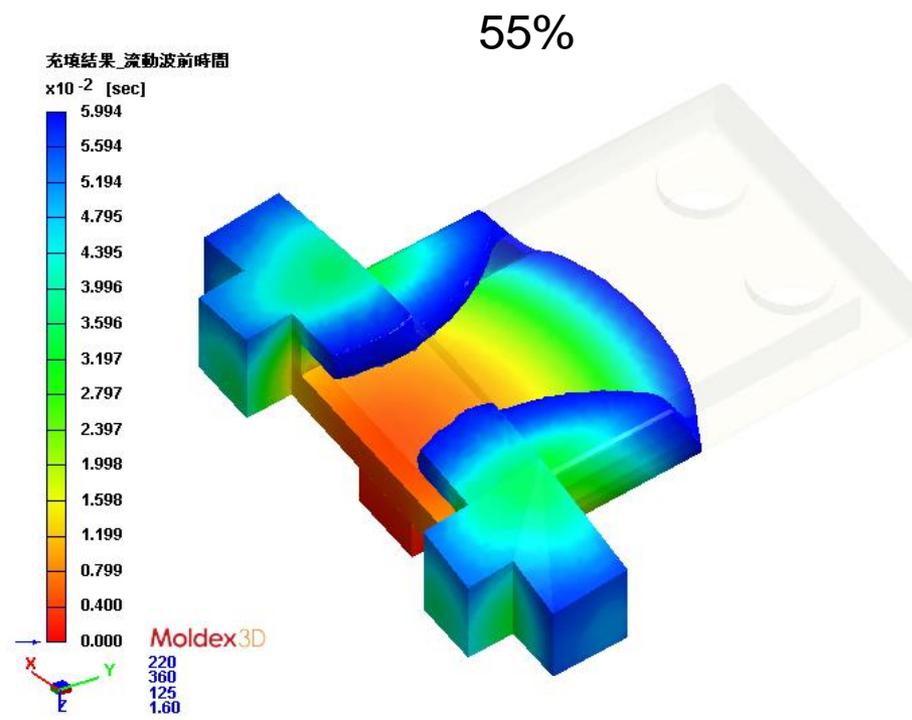
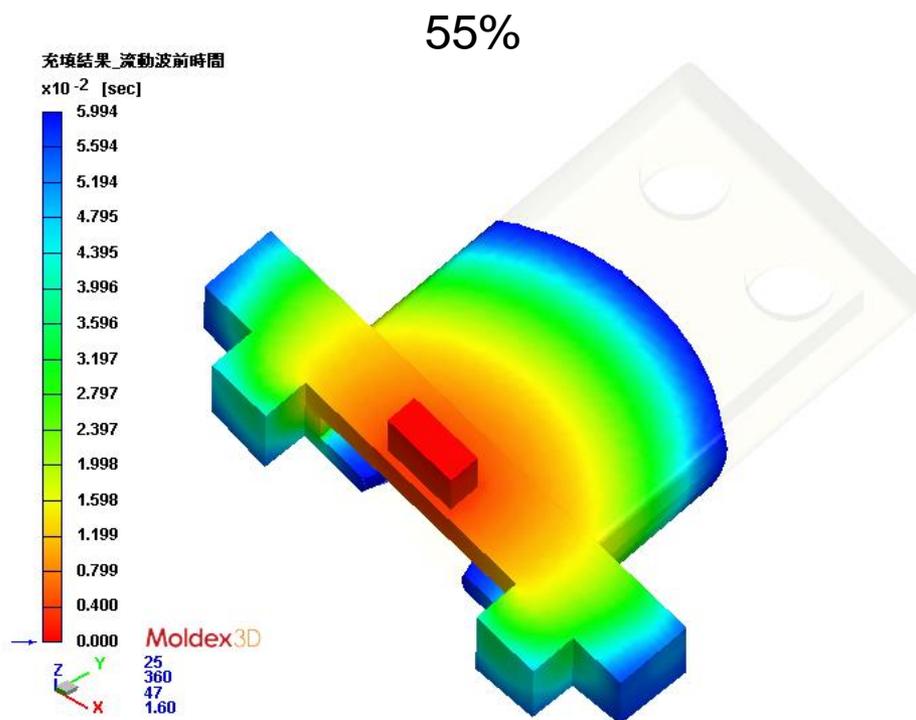
進膠方式：側進膠

進膠位置：參照上圖，澆口尺寸自行決定

# 充填結果

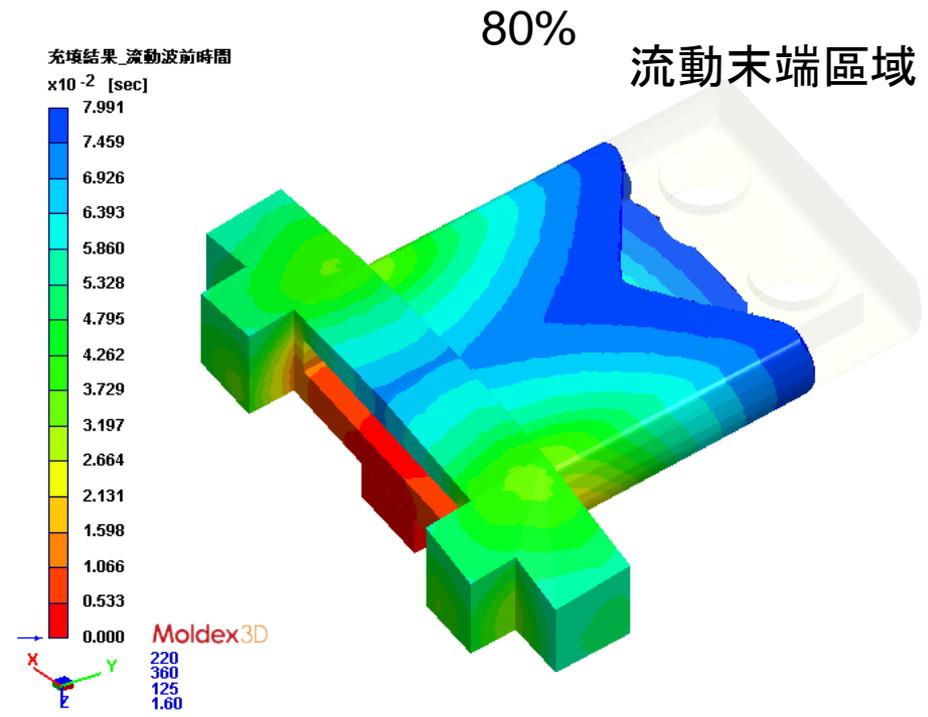
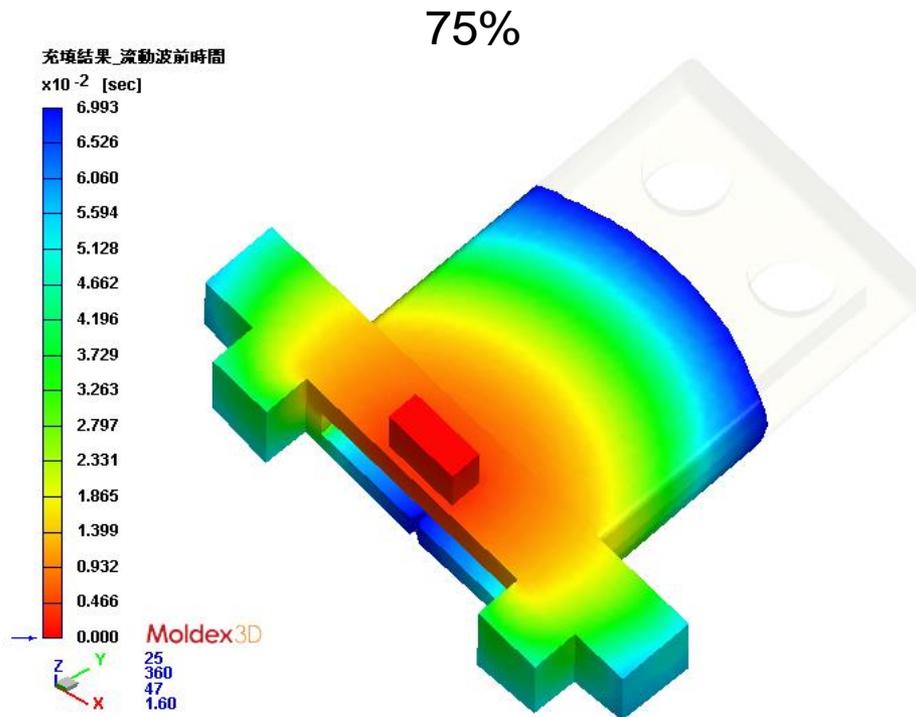
## 流動波前時間55~60%

- 藉由不同範圍的流動波前圖或是流動波前動畫，可看塑料在模穴中各時刻的充填情形，可預測縫合線及包封位置，且可判斷是否會有短射現象發生，提供排氣孔位置安排等參考。



# 充填結果 流動波前時間97~99%

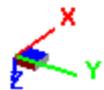
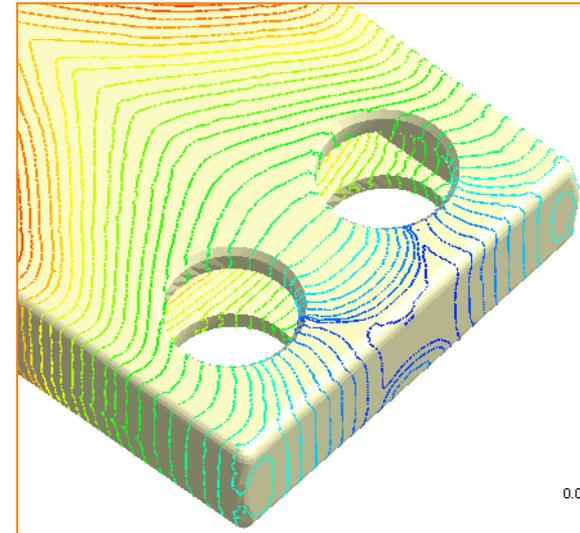
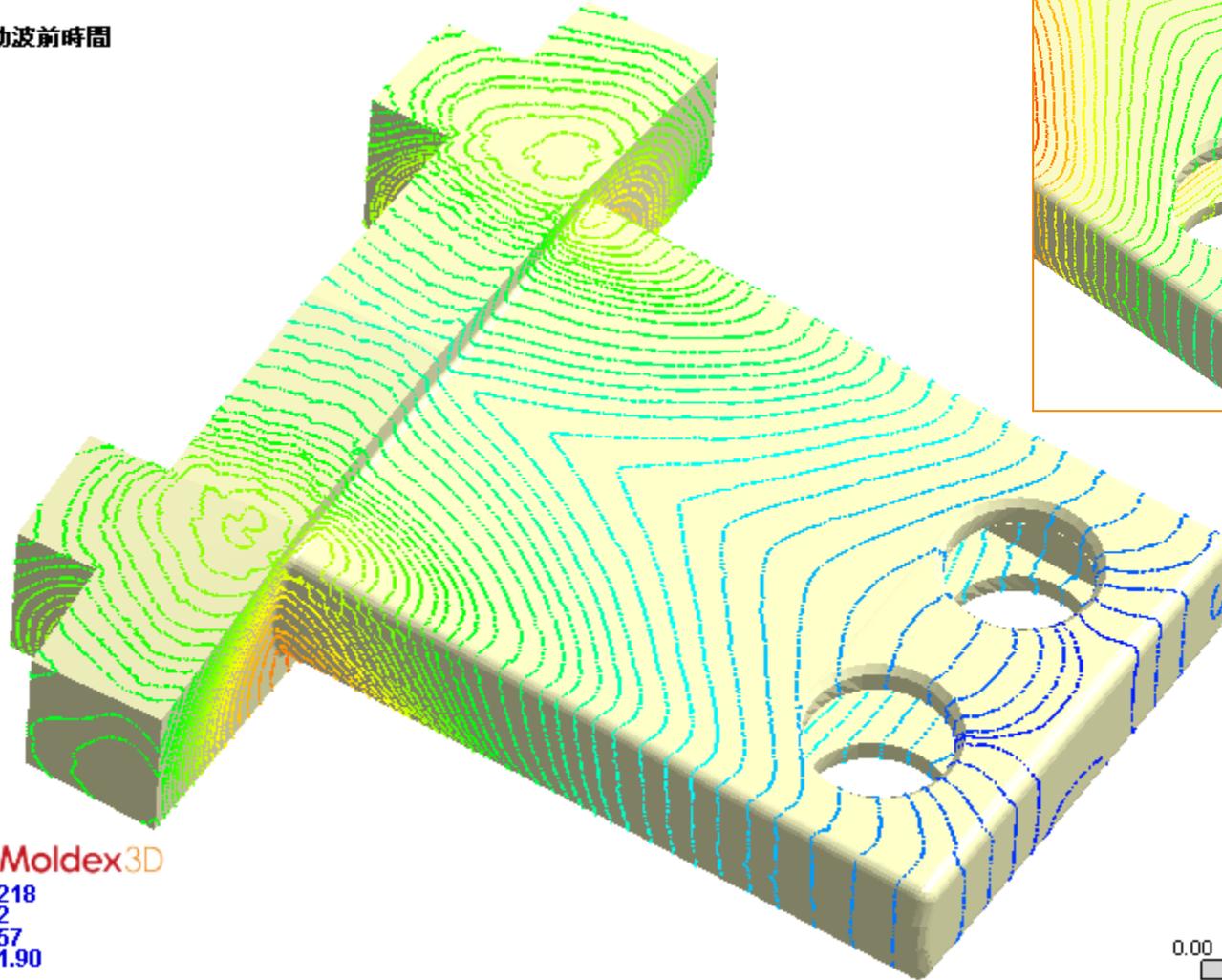
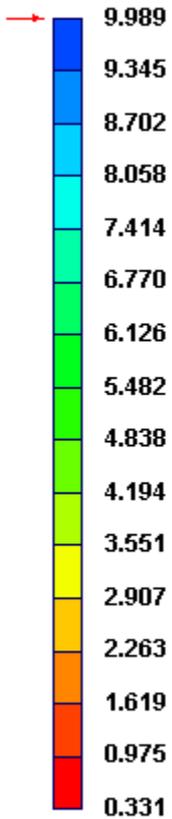
- 藉由不同範圍的流動波前圖或是流動波前動畫，可看塑料在模穴中各時刻的充填情形，可預測縫合線及包封位置，且可判斷是否會有短射現象發生，提供排氣孔位置安排等參考。



# 充填結果 流動波前等位線

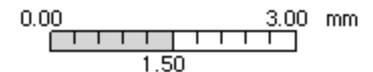
充填結果\_流動波前時間

$\times 10^{-2}$  [sec]



Moldex3D

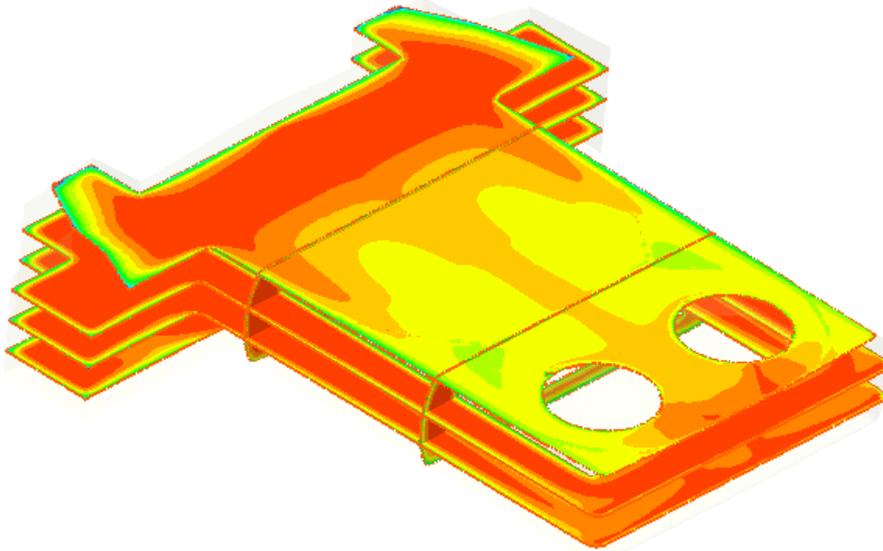
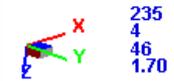
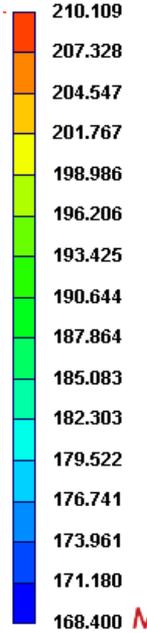
218  
2  
57  
1.90



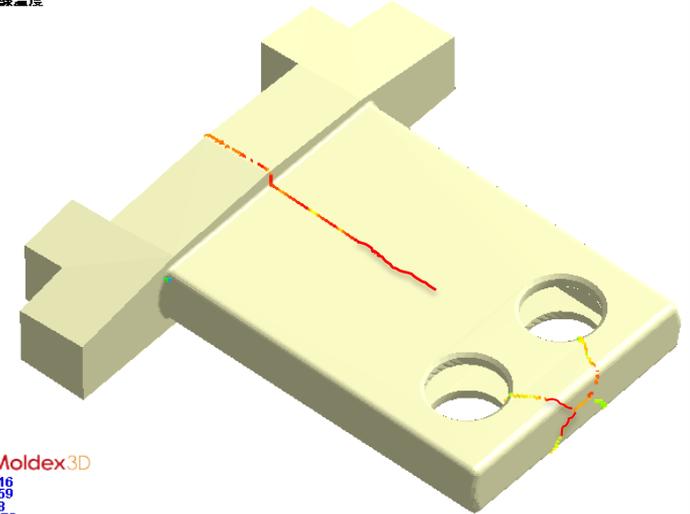
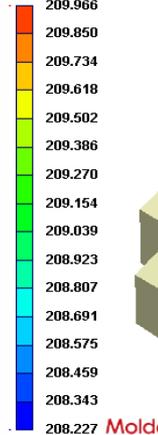
Moldex3D

# 溫度分布與結合線位置

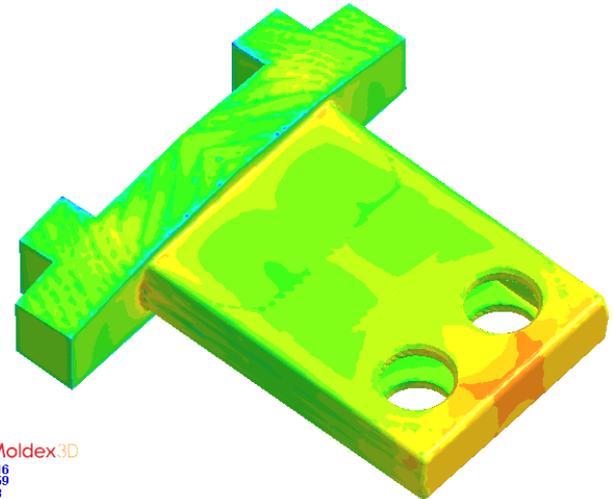
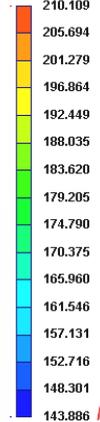
充填結果\_溫度  
[oC]



充填結果\_澀合線溫度  
[oC]



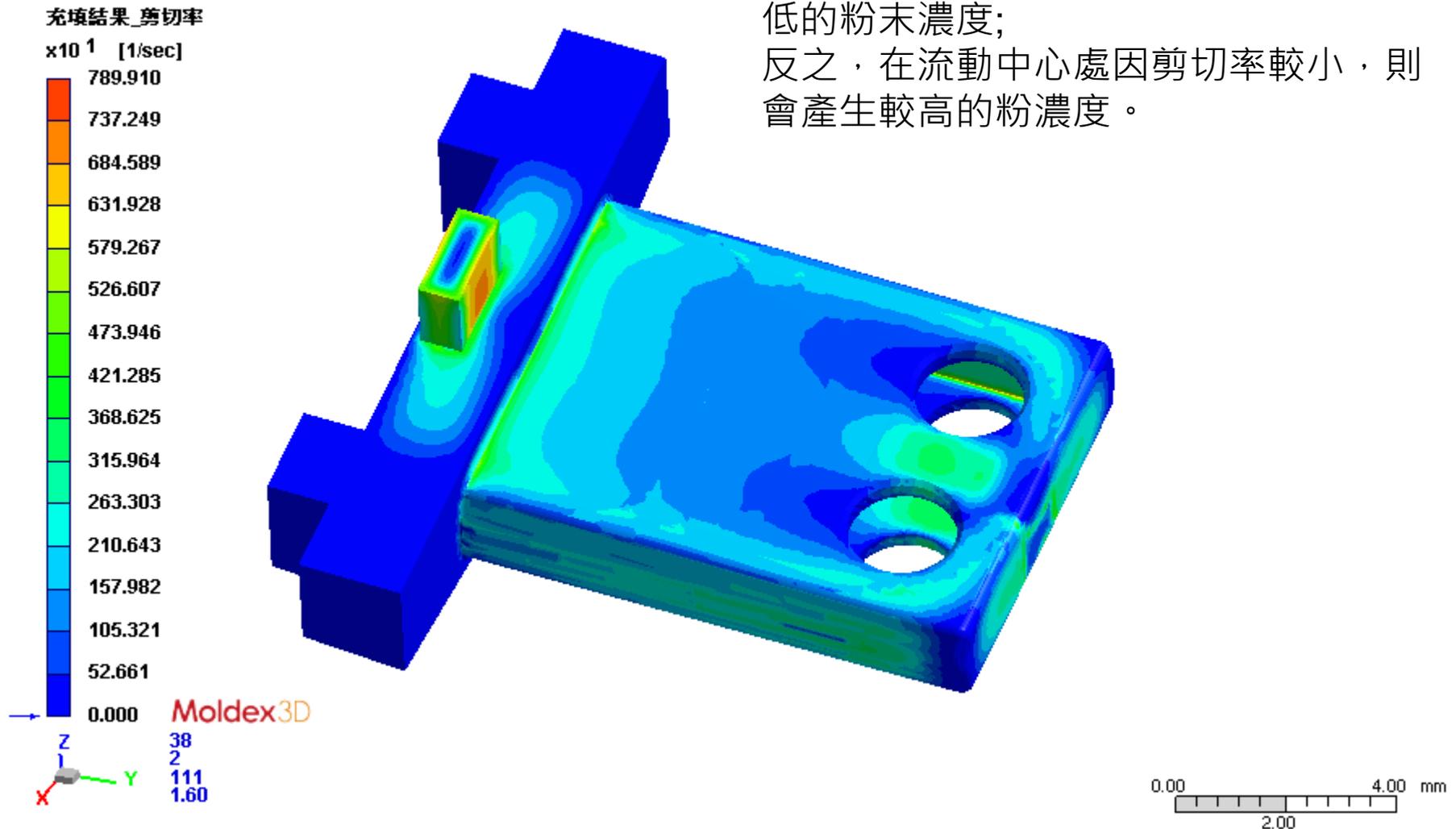
充填結果\_溫度  
[oC]



此數據可用以評估產品冷卻及熔膠黏滯加熱(剪切生熱)的綜合效應，可檢查是否因為流動速度等熱點造成塑件燒焦問題。

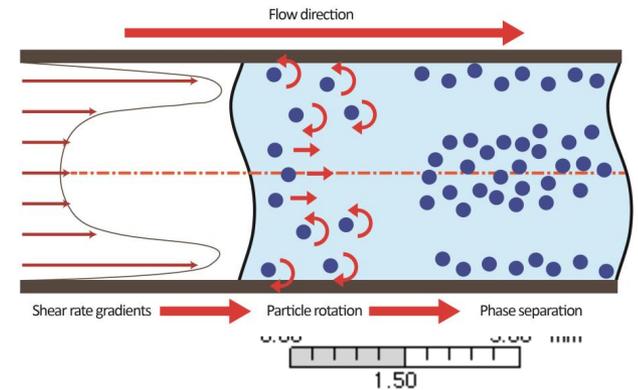
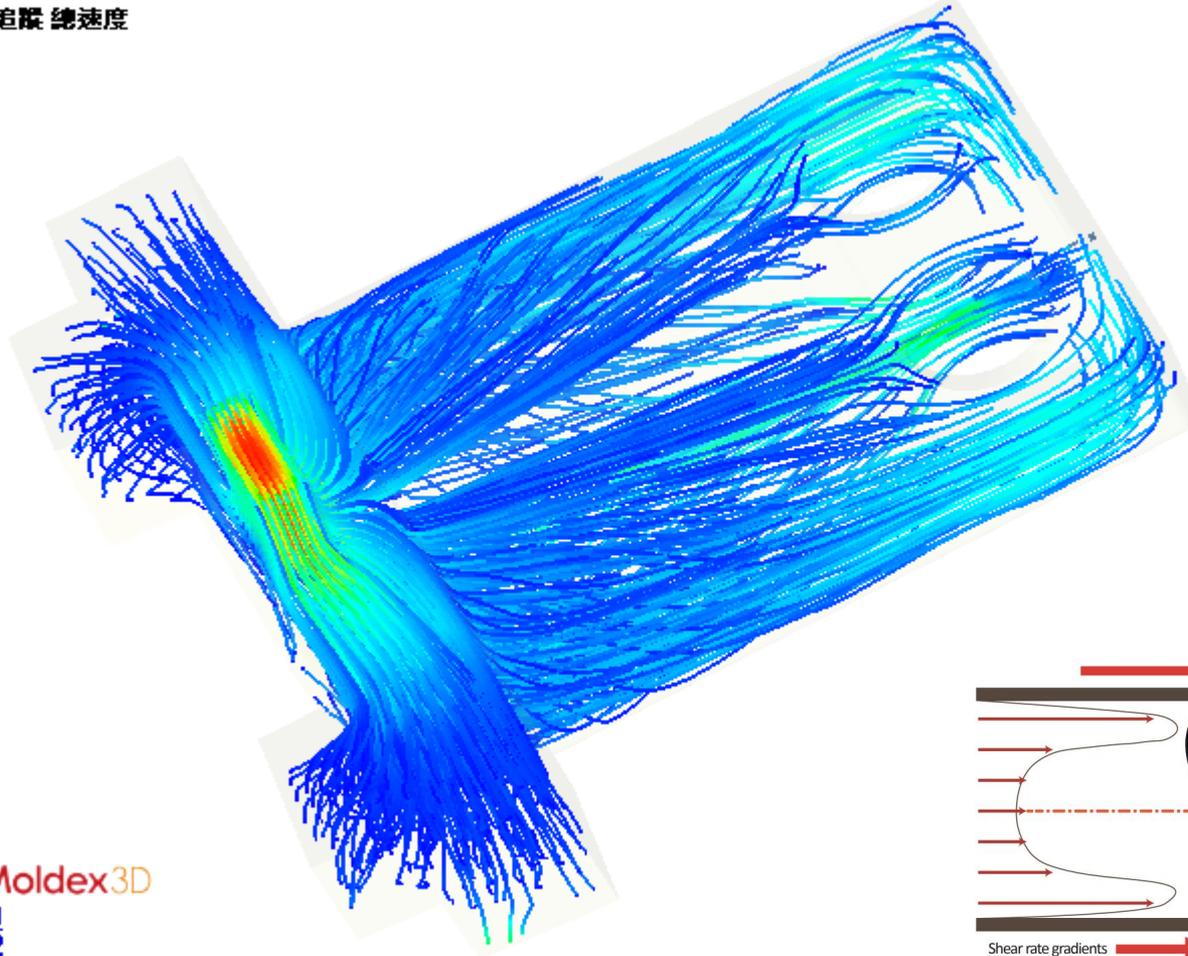
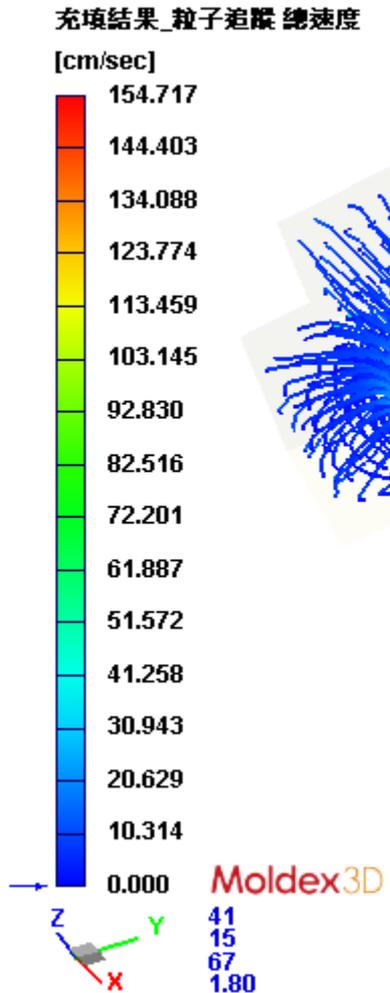
# 剪切率分布

在壁緣處具有最大剪切率，故會產生較低的粉末濃度；  
反之，在流動中心處因剪切率較小，則會產生較高的粉濃度。



# 充填結果 - 粒子追蹤總速度\_正面

此項目紀錄粒子速度的大小。

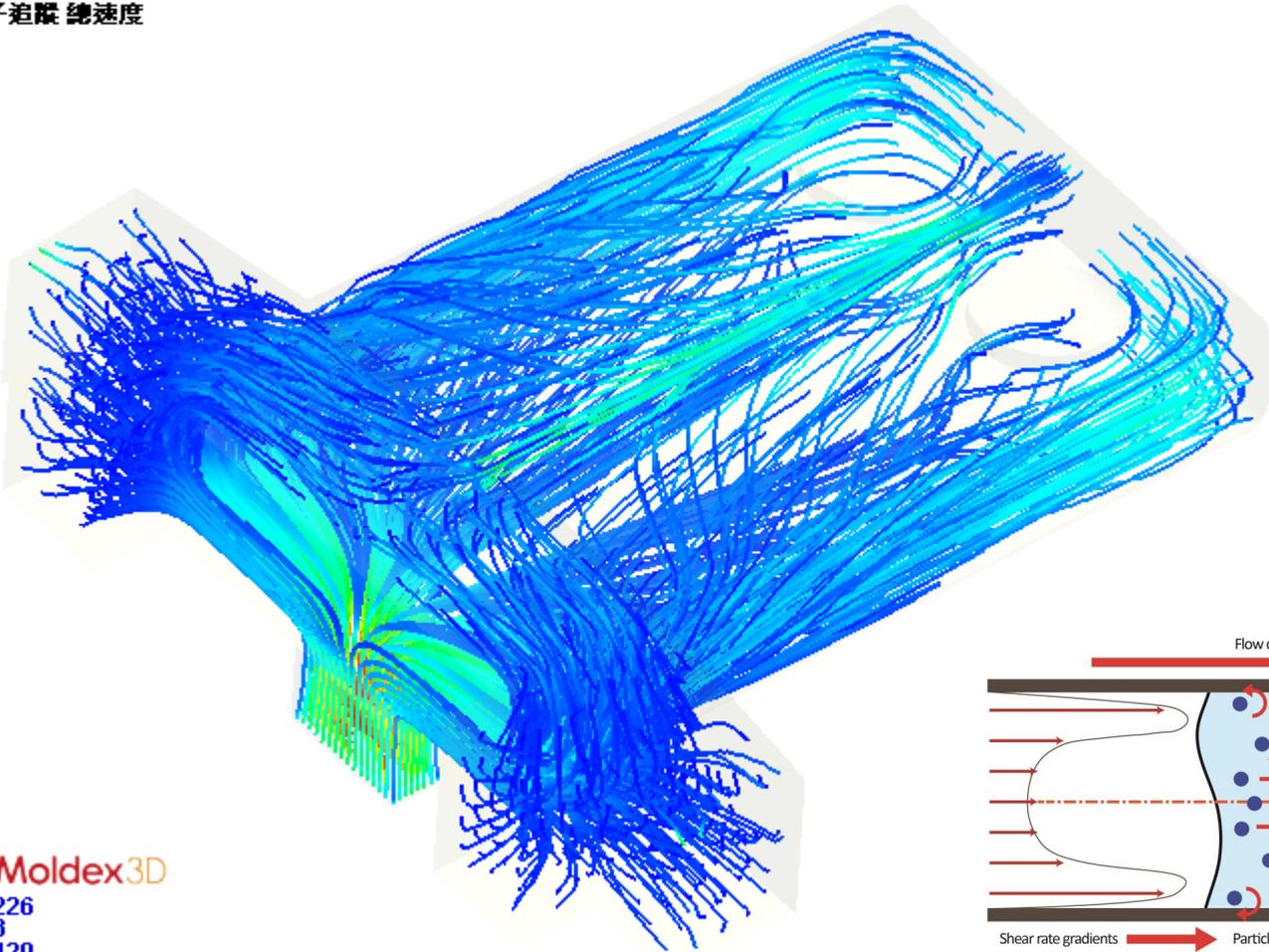
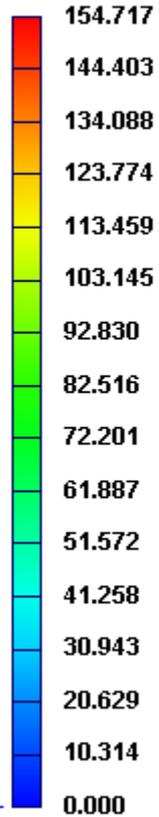


# 充填結果 - 粒子追蹤總速度\_背面

此項目紀錄粒子速度的大小。

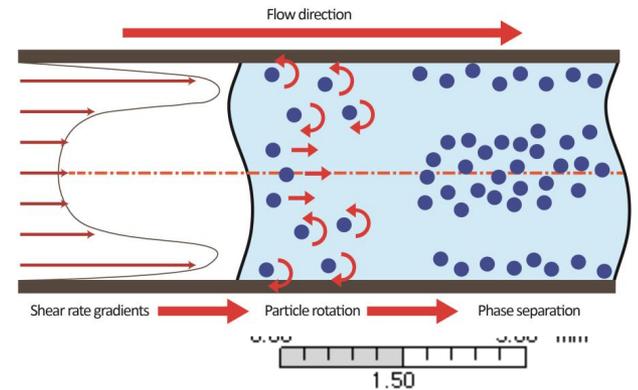
充填結果\_粒子追蹤 總速度

[cm/sec]



Moldex3D

226  
3  
129  
1.90

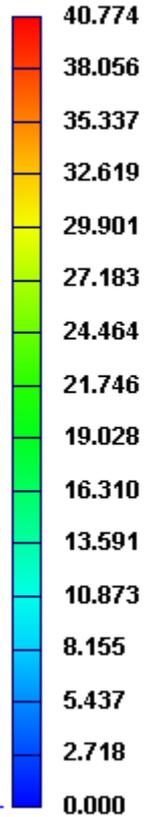


Moldex3D

# 粒子追蹤總速度\_用點表示

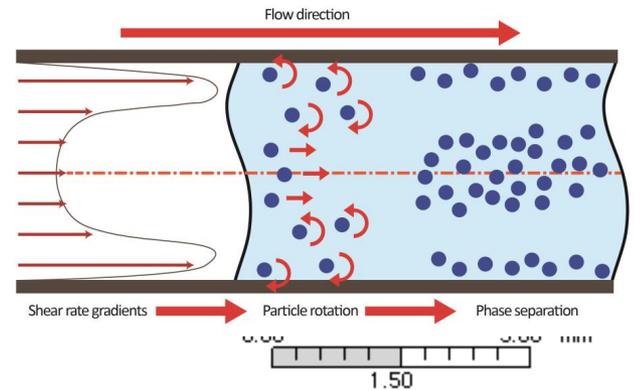
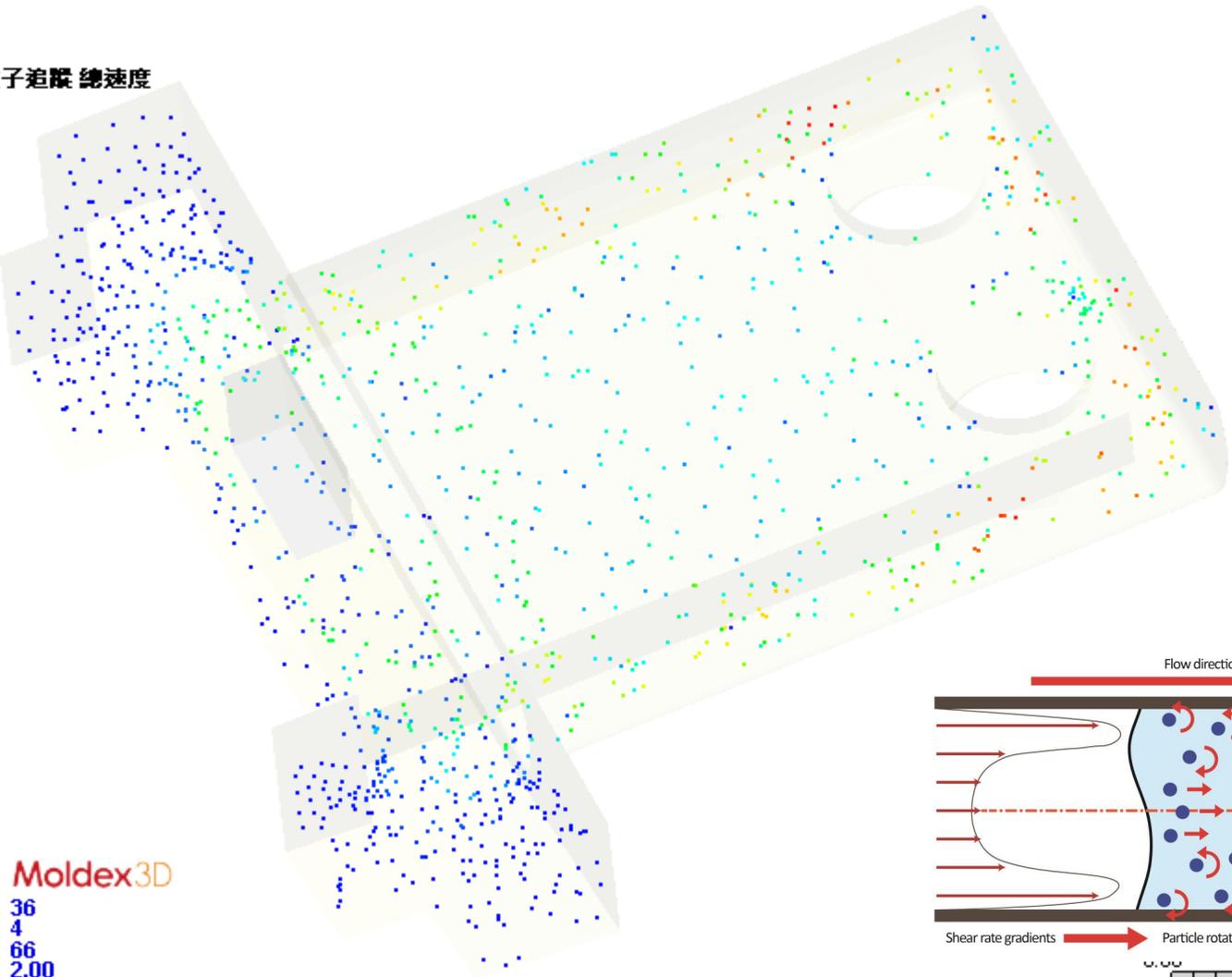
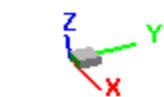
充填結果\_粒子追蹤 總速度

[cm/sec]



Moldex3D

36  
4  
66  
2.00



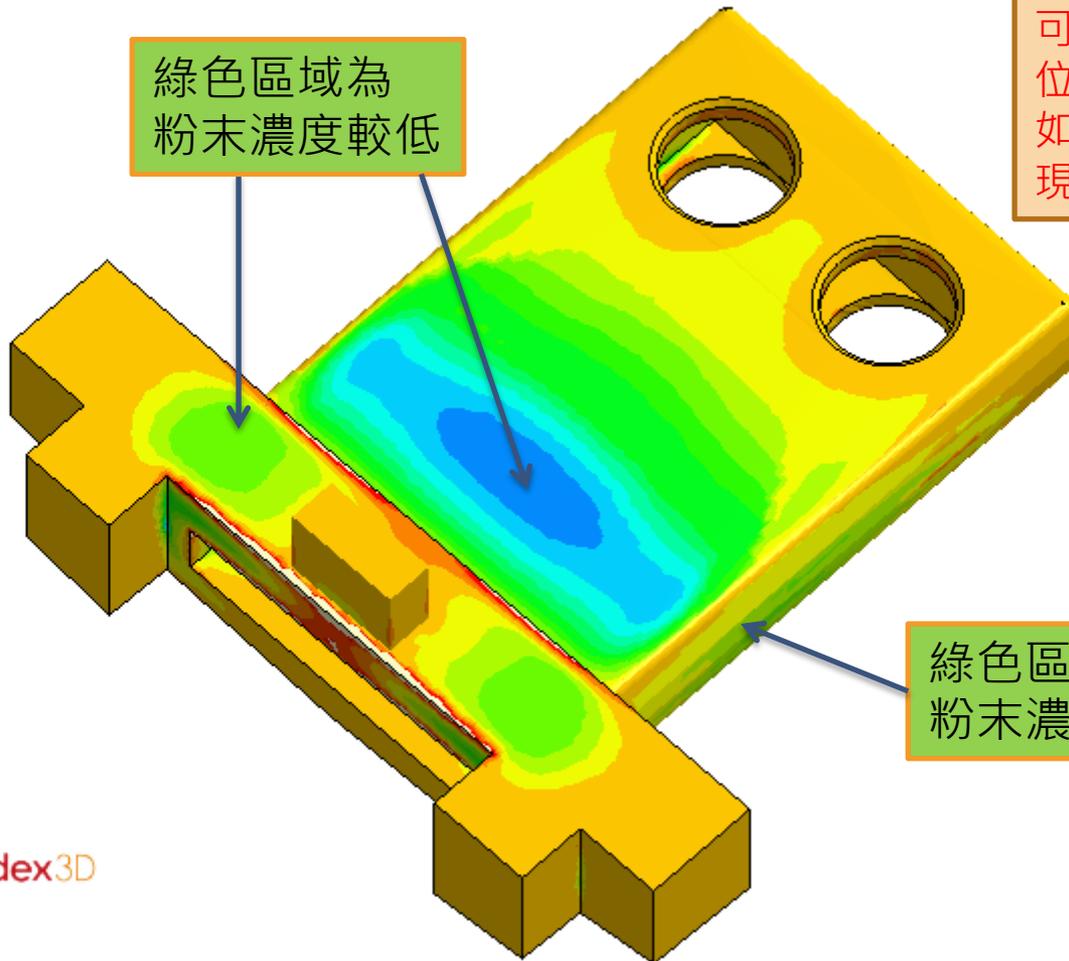
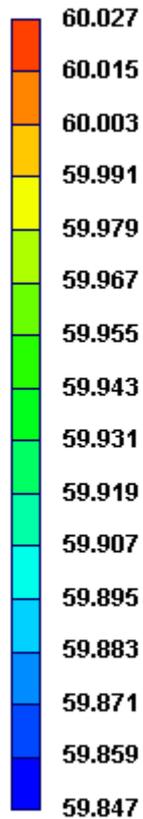
Moldex3D

# 充填結果 粉末濃度正面區域

粉末濃度表示為金屬或陶瓷粉末摻合在有機或高分子結合劑內之體積分率

充填結果\_粉末濃度

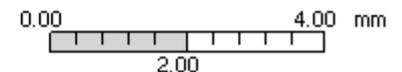
[%]



透過粉末濃度的分布結果，  
可以進而評估黑線的潛在  
位置。  
如箭頭區域較容易有黑紋  
現象發生

綠色區域為  
粉末濃度較低

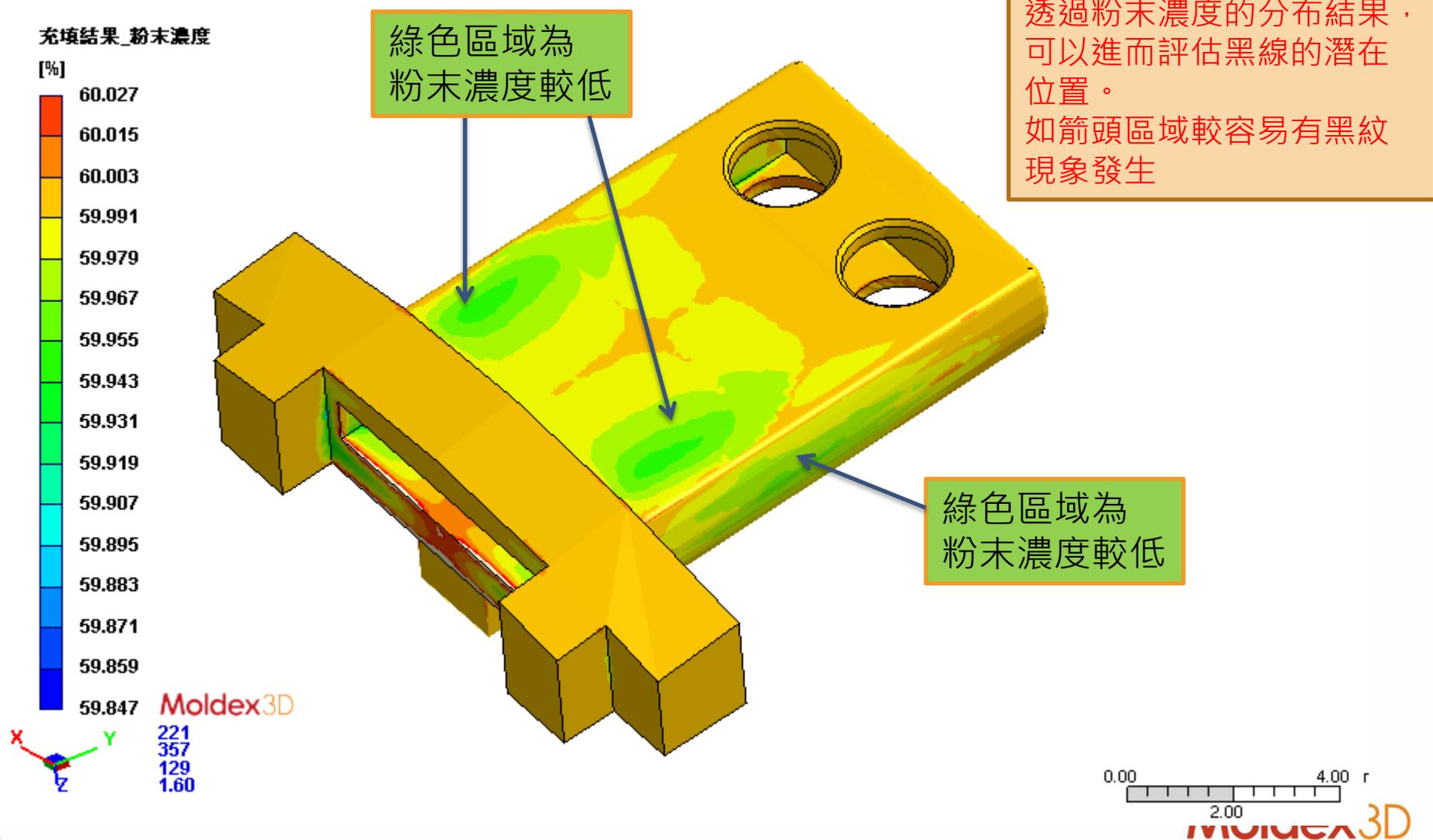
Moldex3D



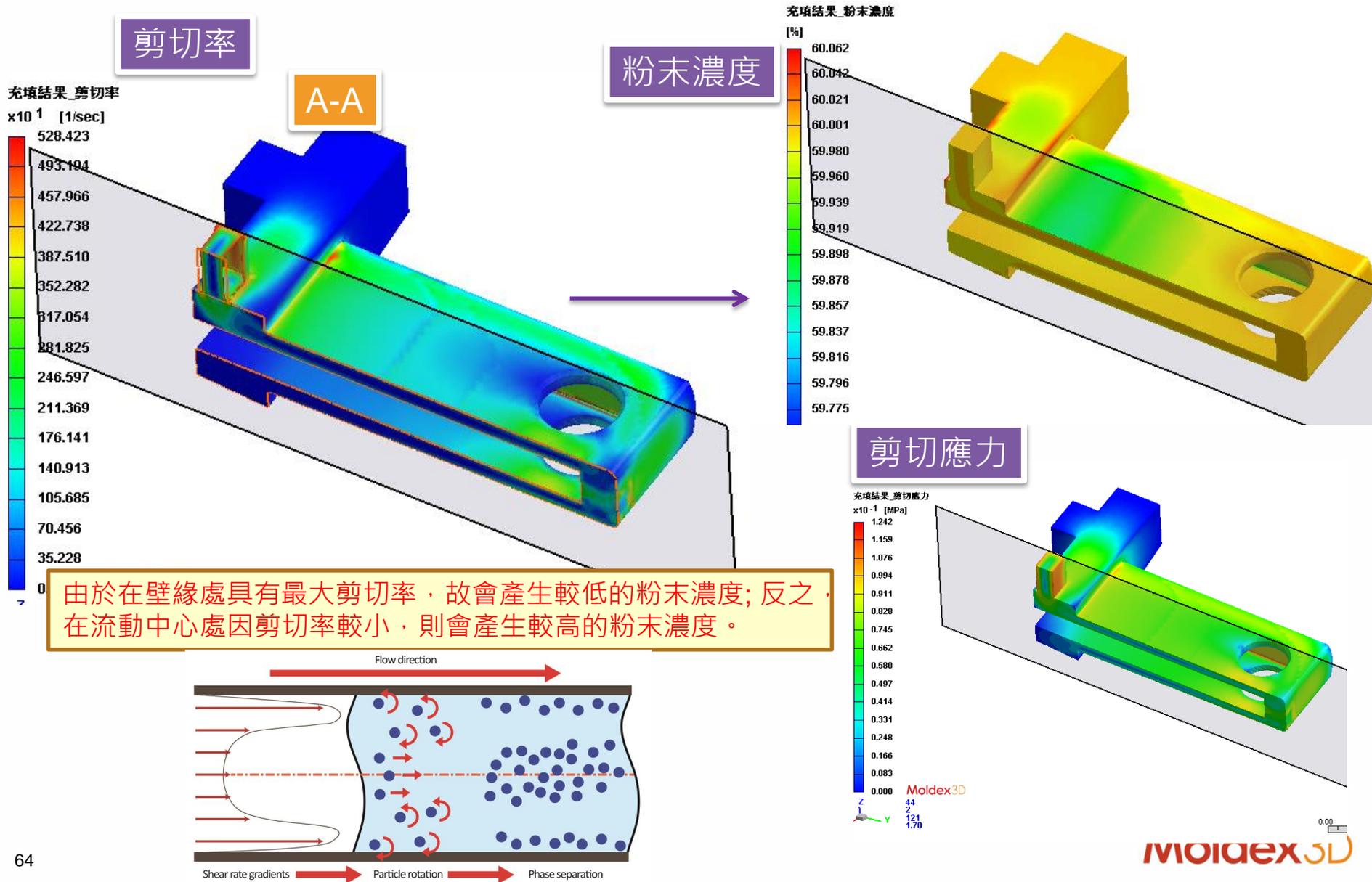
MOLDEX3D

# 充填結果 粉末濃度背面區域

粉末濃度表示為金屬或陶瓷粉末摻合在有機或高分子結合劑內之體積分率

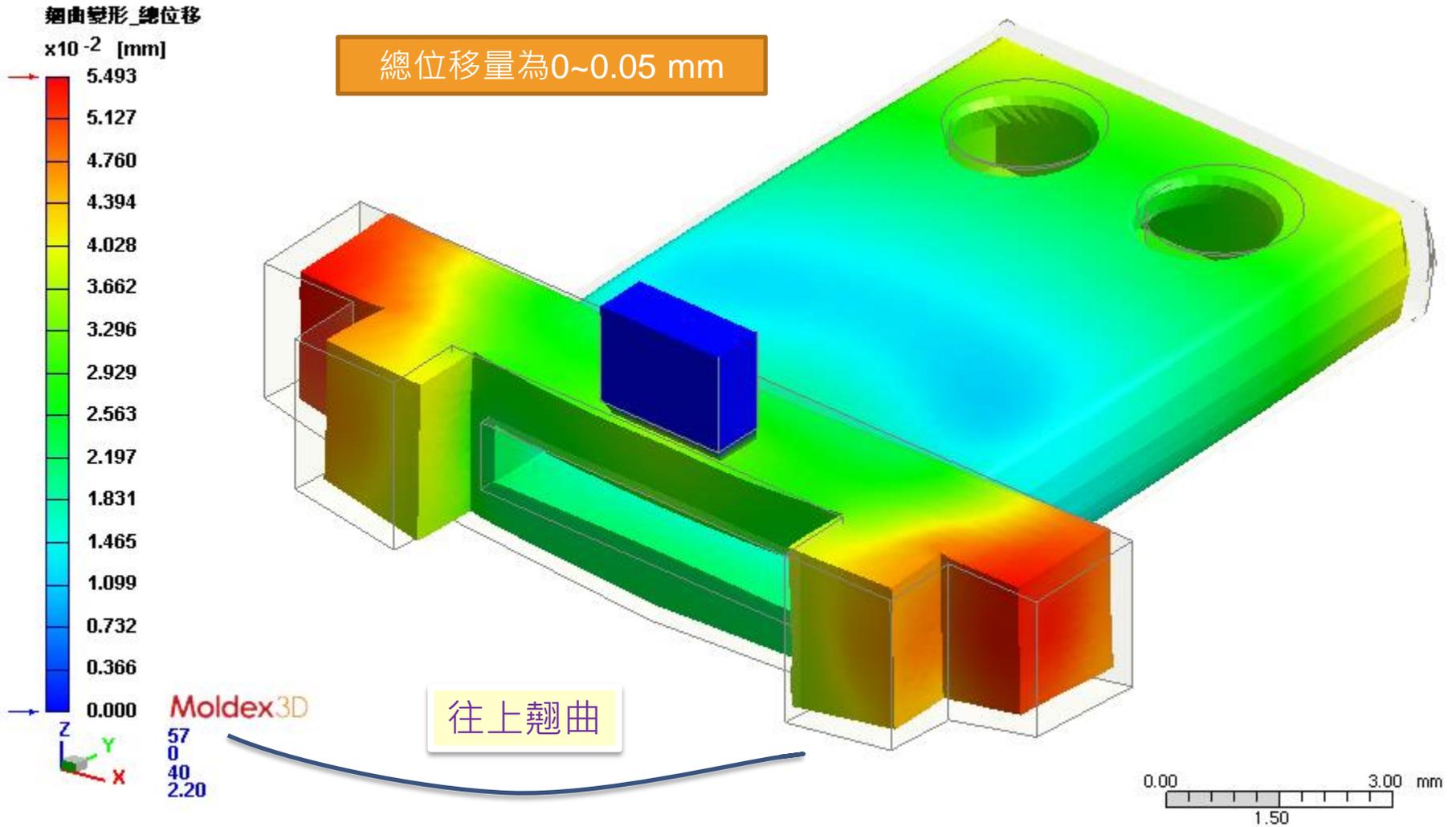


# 充填結果 剪切率與粉末濃度



# 翹曲變形結果 總位移

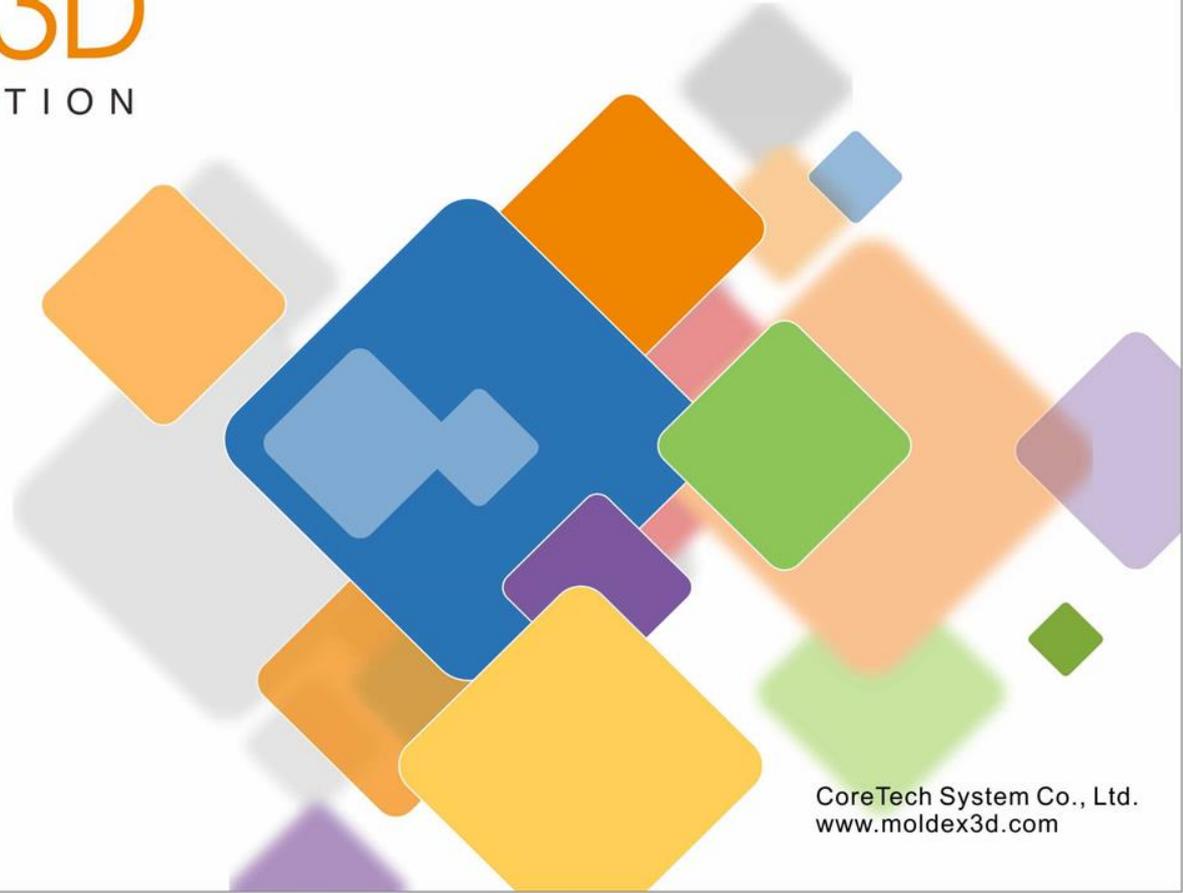
放大倍數：10





# Moldex3D

MOLDING INNOVATION



CoreTech System Co., Ltd.  
[www.moldex3d.com](http://www.moldex3d.com)