

金屬粉末射出成形(MIM) 技術發展與應用

林舜天

台灣科技大學機械系

0937720293

stlin@mail.ntust.edu.tw

市場需求

- 3C產品是市場成長與技術提昇之主要來源
- 產品需求量大，單價低
- 高峰與低潮期之需求量變化明顯
- 開案速度快(開案到量產 \leq 3個月)
- 輕薄(厚度 \leq 0.3mm)、高強度、耐腐蝕、無磁性之產品需求(射出料流變行為、不銹鋼材之選用)
- 高尺寸精度(多個尺寸規範 $< \pm 0.3\%$)

技術與生產管理之回應

材料與軟硬體設備逐漸在地化

- 穩定且良好性能，快速供貨，與低價之粉末
- 脫蠟方式之選用與黏結劑再優化
- 可達成均勻混射出粒之一體化混練與造粒機，配合廠內自製射出粒
- 快速模具設計與試產 (模具設計與模流模擬)
- 減少回收料比例 (熱膠道)
- 高度自動化擺盤與後加工生產
- 良好燒結爐(批與批之碳含量控制與尺寸控制)

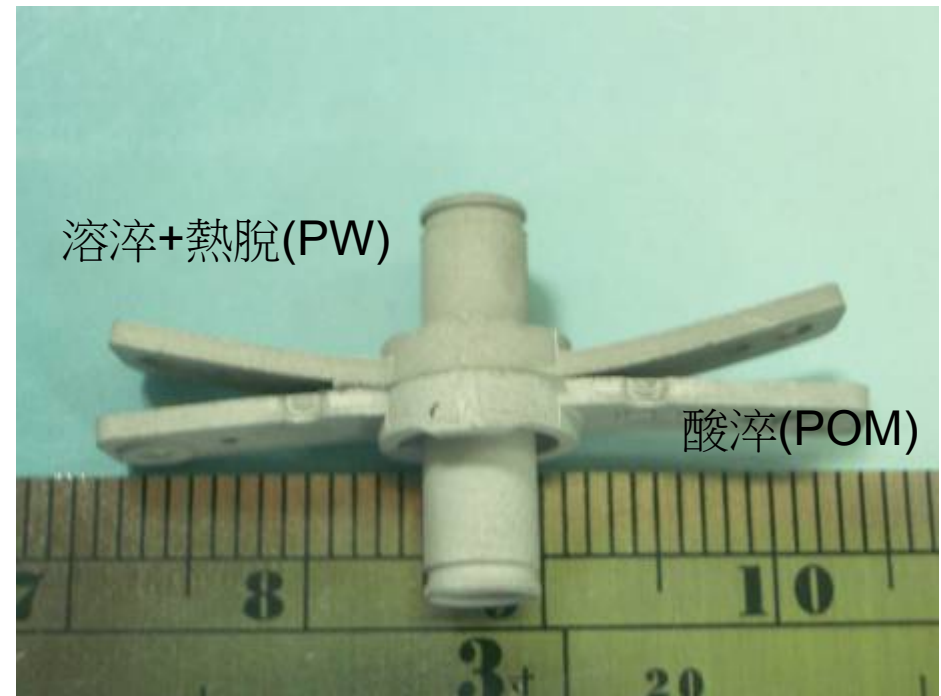
脫蠟方式之選用

POM基射出料具有良好形狀維持性

酸淬(POM) 溶淬+熱脫(PW) 全熱脫(PW)



丁燒





優缺點比較

射出階段

	蠟基 (溶劑脫蠟)	塑基 (酸脫蠟)
優點	低溫低壓成型	生胚强度高 不易粉膠分離 (但是高粉末填充量與高壓射出時也會發生)
缺點	生胚強度低 容易粉膠分離問題	高溫高壓成型 回收次數少
例如: 1模4穴 光纖零件 	180°C 射出 30°C 模溫 800 MPa 射壓 常發生內角裂縫而不知，燒結完成數爐後才發現	205°C 射出 120°C 模溫 1600 MPa 射壓 沒發生內角裂縫

優缺點比較

脫蠟階段

	蠟基 (溶劑脫蠟)	塑基 (酸脫蠟)
優點	溶劑可以回收	時間短 (6mm厚，進出酸淬爐僅需6小時) 變形量低 (POM由固體變為氣體)
缺點	溶劑爆炸之問題 時間長 (6mm厚，進出溶劑爐需8小時) 變形量高 可能有裂痕(溶劑侵入結合線， 溶劑快速烘乾)	硝酸與甲醛燃燒後產生大量NOx與CO2 脫蠟後強度低
例如:		

優缺點比較

燒結階段

	蠟基 (溶劑脫蠟)	塑基 (酸脫蠟)
優點		<p>低殘留黏結劑量 (低於粉末重量的1.5%)</p> <p>脫蠟時間短(進出爐時間<24小時)</p> <p>乾淨的燒結爐</p> <p>高良品率</p>
缺點	<p>高殘留黏結劑量 (大約是粉末重量的4.4%)</p> <p>脫蠟時間長(進出爐時間約36小時)</p> <p>容易造成變形</p> <p>容易造成裂紋與起泡</p> <p>容易造成高碳含量</p> <p>容易造成因碳含量變化所造成的尺寸變化(批內，批與批)</p>	

POM基射出料可以快速脫蠟

脫蠟方式與變形量比較

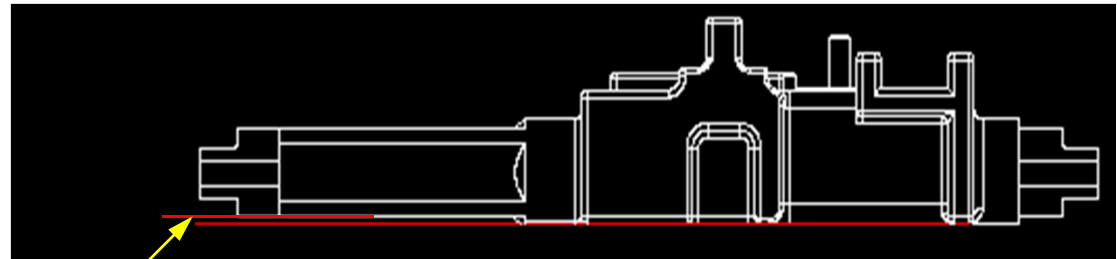
酸淬(POM)

(mm)

溶淬+熱脫(PW)

Catamold		
	左右	上下
5°C 升溫	0.03	0.06
	0	0.04
	0.03	0.05
	0.02	0.05
10°C 升溫	0.02	0.085
	0	0.074
	0.06	0.078
	0.055	0.08
20°C 升溫	0.06	0.105
	0.05	0.096
	0.06	0.075
	0.01	0.08

PW		
	左右	上下
未整型	0.07	0.27
	0.02	0.35
	0.03	0.28
	0.05	0.30
整型後	0.05	0.00
	0.02	0.02
	0.03	0.01
	0.01	0.05

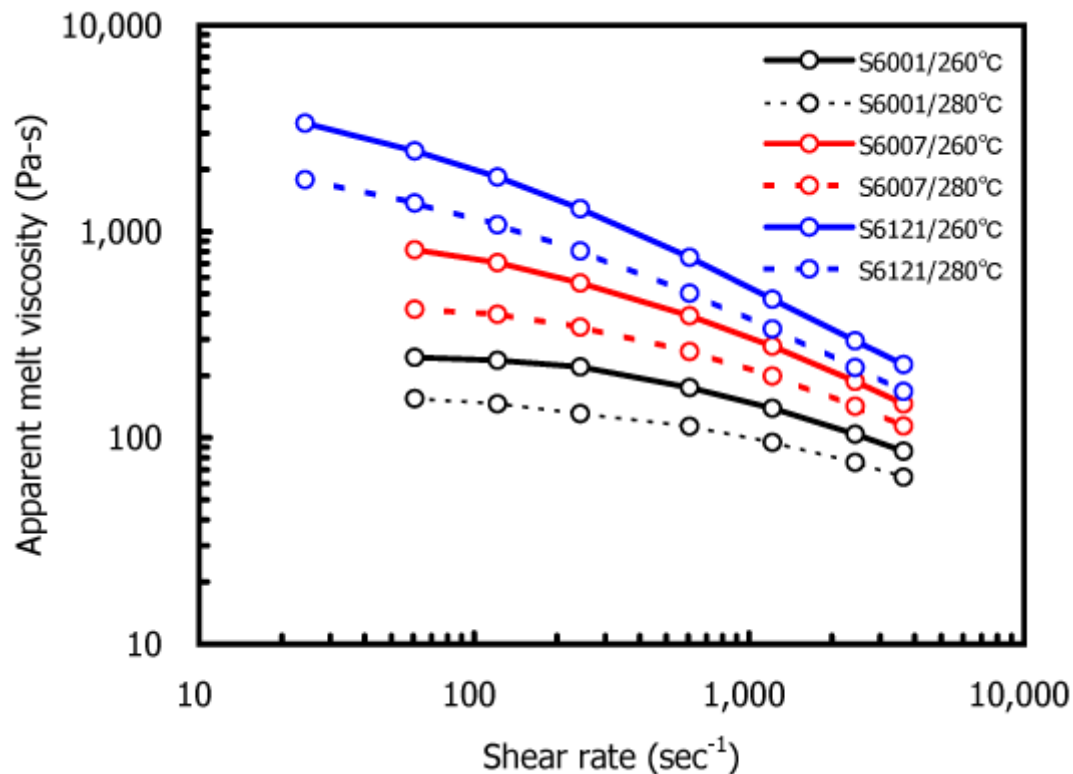


間隙0.4mm

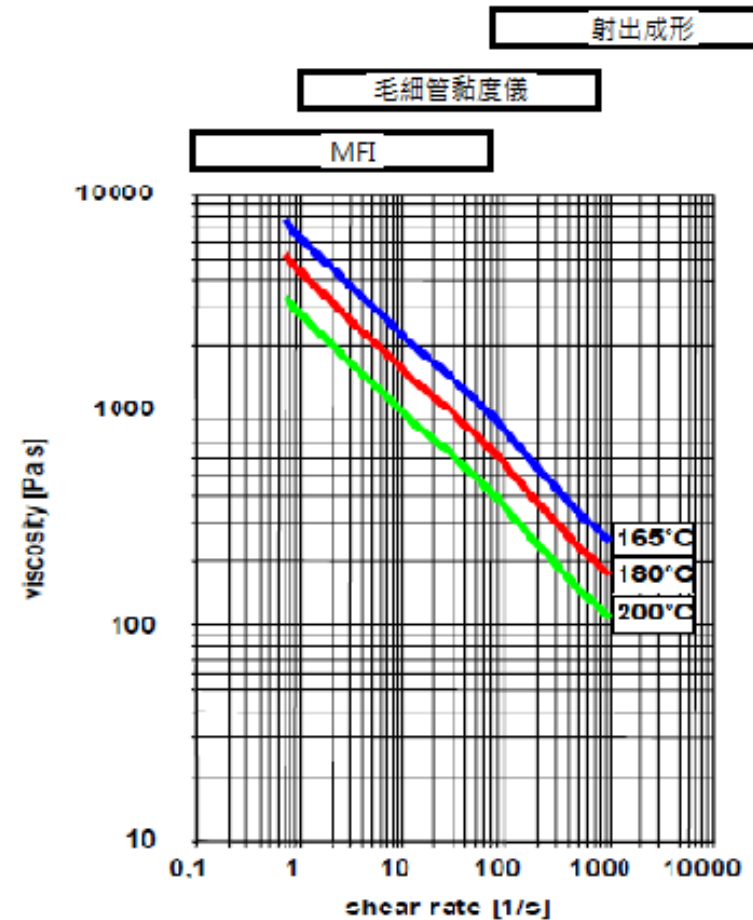
但是

市售POM基射出料的黏結劑需要再優化

黏度範圍須低於添加玻纖之Nylon
(薄壁零件與射出料具有高熱傳導性)



Mitsubishi Nylon-MXD6



Catamold 316L

改良後的POM基射出料

降低POM基射出料之射出溫度
依然維持低的產品收縮率

- 降低黏度對溫度變化之敏感性
- 降低生胚之殘留應力，及燒結後產品變形
- 降低粉末與黏結劑分離
- 降低射出溫度，減少甲醛與甲酸之飄散於工作空間
- 增加回收料之回收次數
- 不必改變模溫機 (不需以高壓水或煤油加熱到120°C)

黑線形成原因

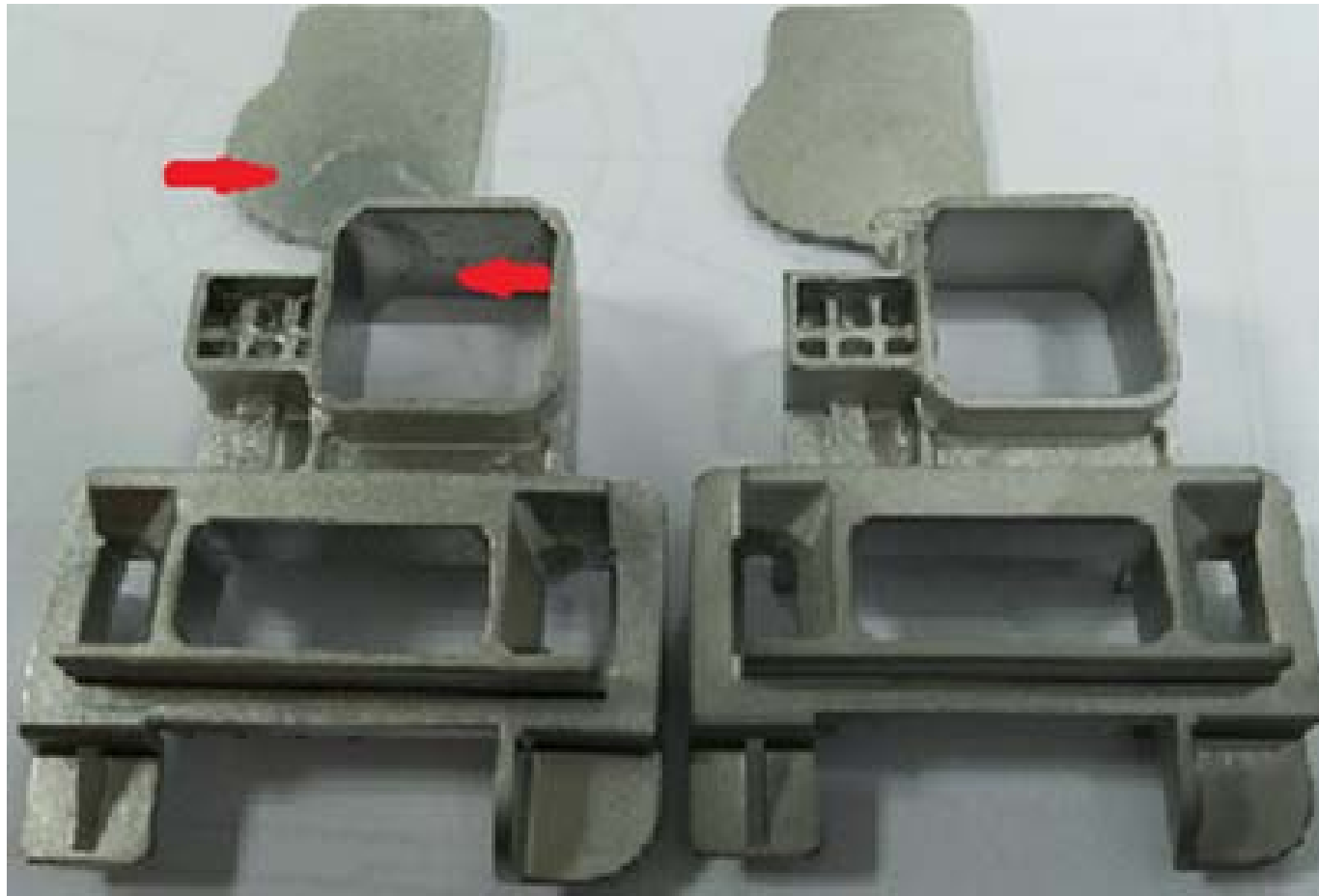
粉膠分離與冷熱接合



粉膠分離
流動行為對壓力敏感

冷熱接合
流動行為對溫度敏感

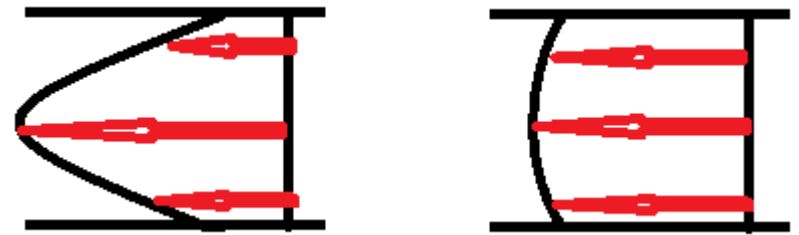
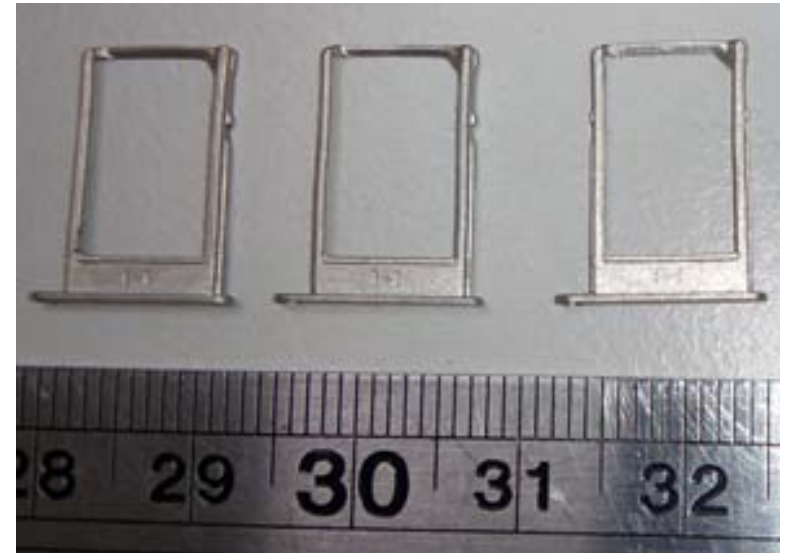
改良的POM基射出料可以大幅降低黑線之形成
BASF (左) 科信 (右)



這個複雜零件產生非常多流紋黑線

相同模具放大比下

BASF標準POM基射出料: 215°C 射出溫度
科信自製POM基射出料: 190°C 射出溫度



316 L

模具放大比 = 1.170 ± 0.003

(依燒結密度而易，96%到99%之間有1%尺寸可以調整)



最小斷面0.28mm

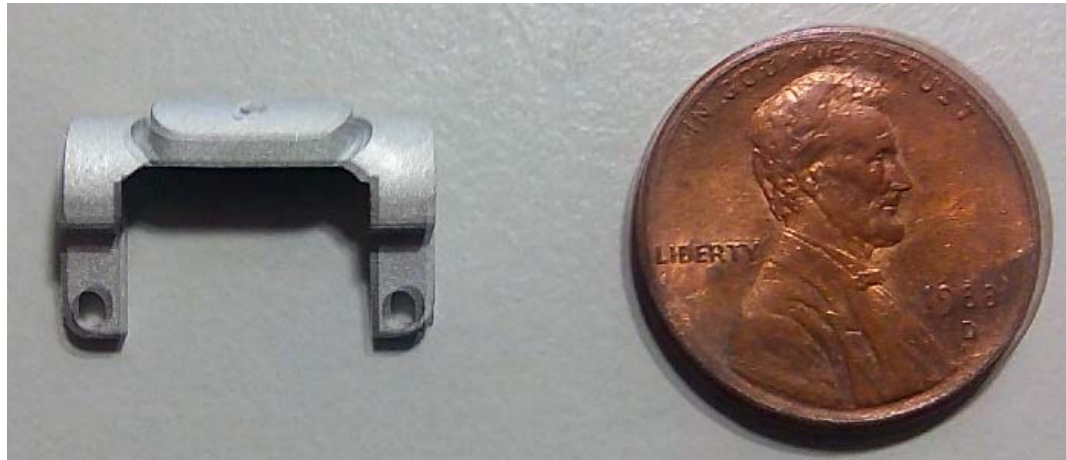
	BASF 316L A (Master Alloy)	Cosean 316L (Pre-alloyed)
Injection Speed (mm/s)	150	150
Injection Pressure (MPa)	2400	2000
Holding Pressure (MPa)	1000	1000
Injection Temperature (°C)	200-210	195
Mold Temperature (°C)	120	120

BASF料太黏稠，射出窗口太小，射出溫度需隨時更改

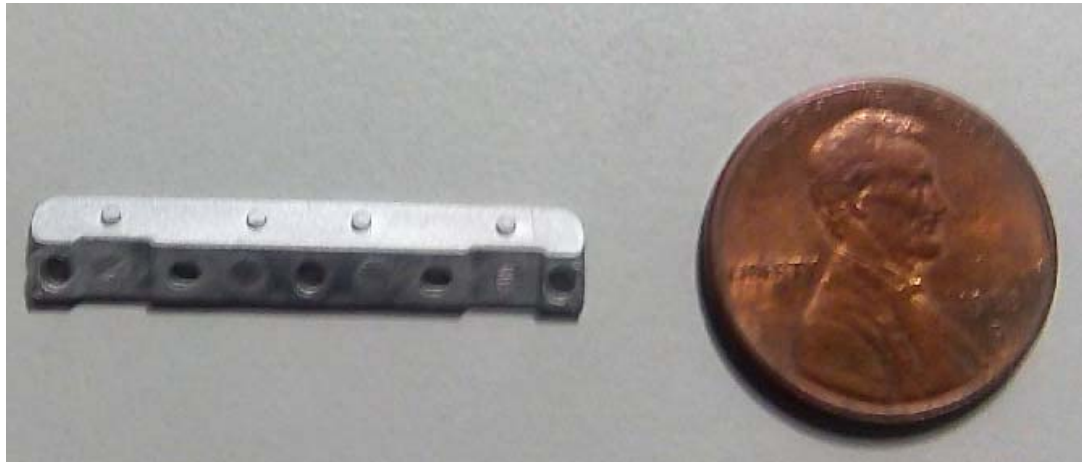
316 L

模具放大比 = 1.175 ± 0.003

(依燒結密度而易，96%到99%之間有1%尺寸可以調整)



	Cosean 316L (Pre-alloyed)
Injection Speed (mm/s)	45
Injection Pressure (MPa)	1200 (Machine Max = 2800)
Holding Pressure (MPa)	450
Injection Temperature (°C)	188
Mold Temperature (°C)	98



	Cosean 316L (Pre-alloyed)
Injection Speed (mm/s)	45
Injection Pressure (MPa)	1450 (Machine Max = 2800)
Holding Pressure (MPa)	350
Injection Temperature (°C)	188
Mold Temperature (°C)	98



	Cosean 316L (Pre-alloyed)
Injection Speed (mm/s)	65
Injection Pressure (MPa)	1000 (Machine Max = 2800)
Holding Pressure (MPa)	350
Injection Temperature (°C)	186
Mold Temperature (°C)	98

17-4PH

模具放大比 = $1.160 + 0.003 - 0.02$

依燒結密度而易，96%到98%之間有0.7%尺寸可以調整

非常高粉末填充量 (大約63 vol%)

1.158倍模具放大比

燒到98%密度

模溫僅有98°C



需要滿足拋光良率

BASF 316L A 是BASF推荐的拋光級成份

	BASF 316L A (Master Alloy)	Cosean 316 (Pre-alloyed)
Sample	Density (g/cm ³)	Density (g/cm ³)
#1	7.8339	7.8890
#2	7.8201	7.9146
#3	7.8158	7.9037
#4	7.7866	7.9241
#5	7.8480	7.8794
average	7.821 (98%)	7.902 (99%)

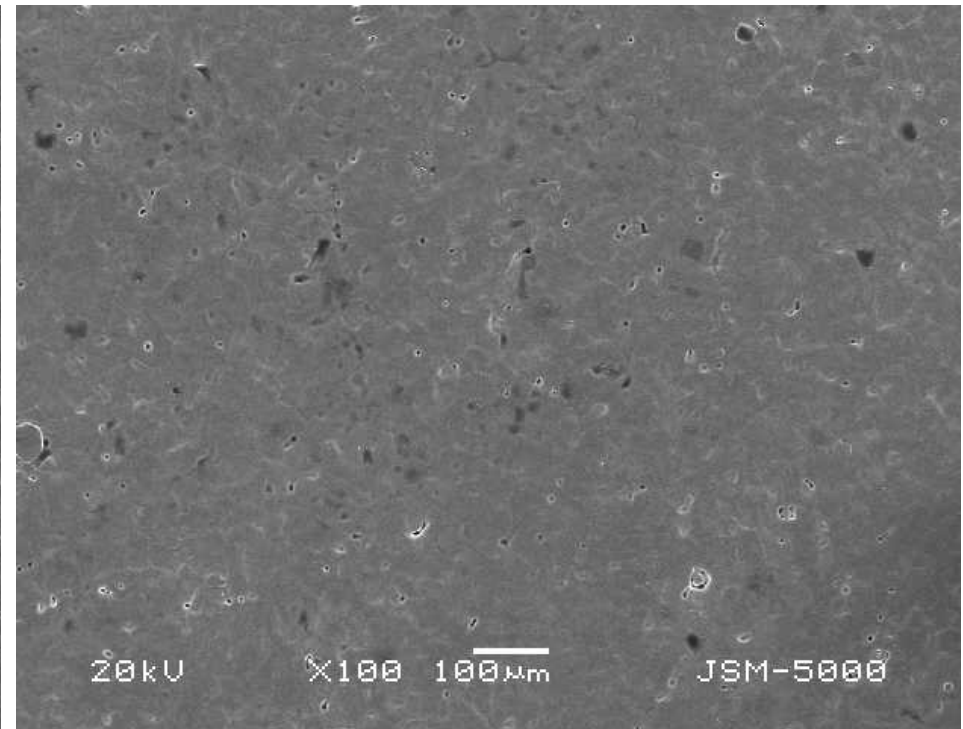
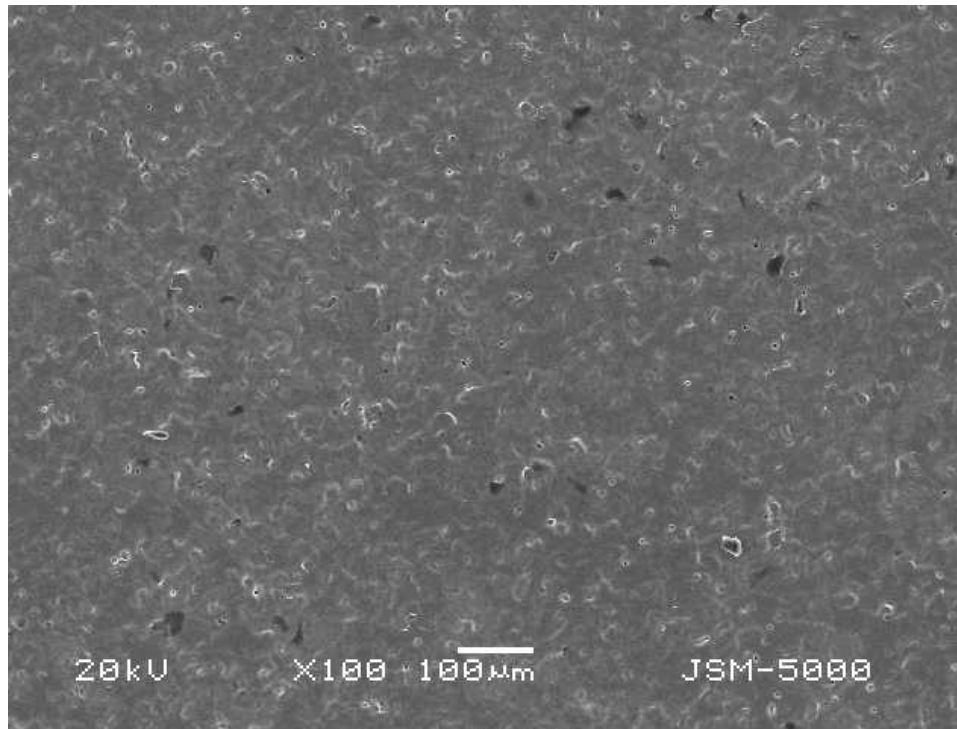
本比較是基於相同模具，相同硝酸脫蠟，相同真空燒結條件
(1360°C for 2 hours)



sintered at 1360°C in vacuum

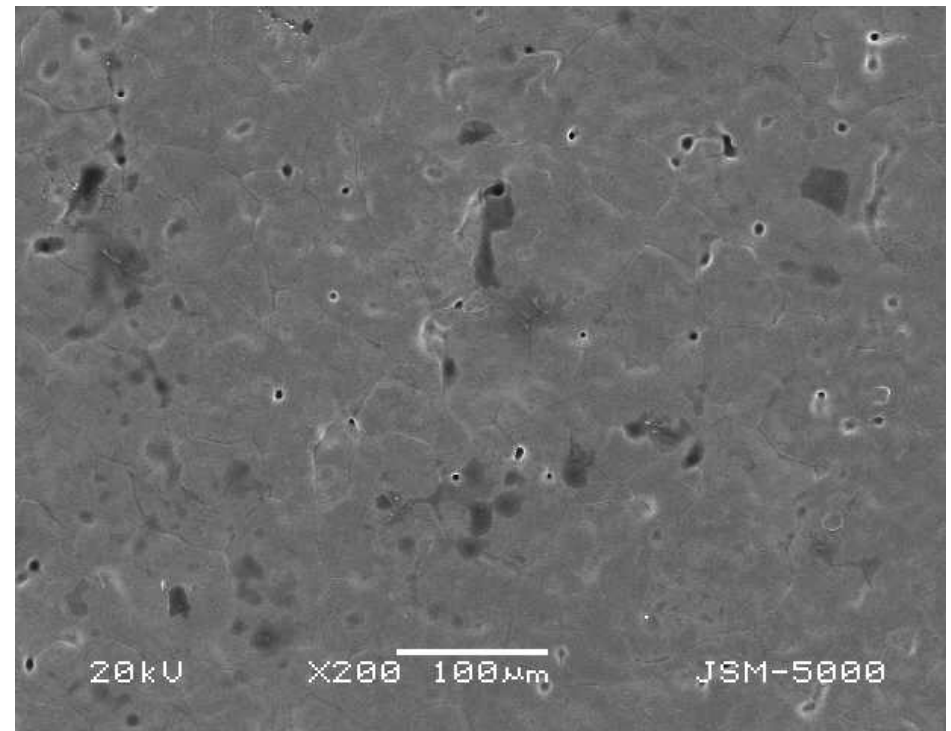
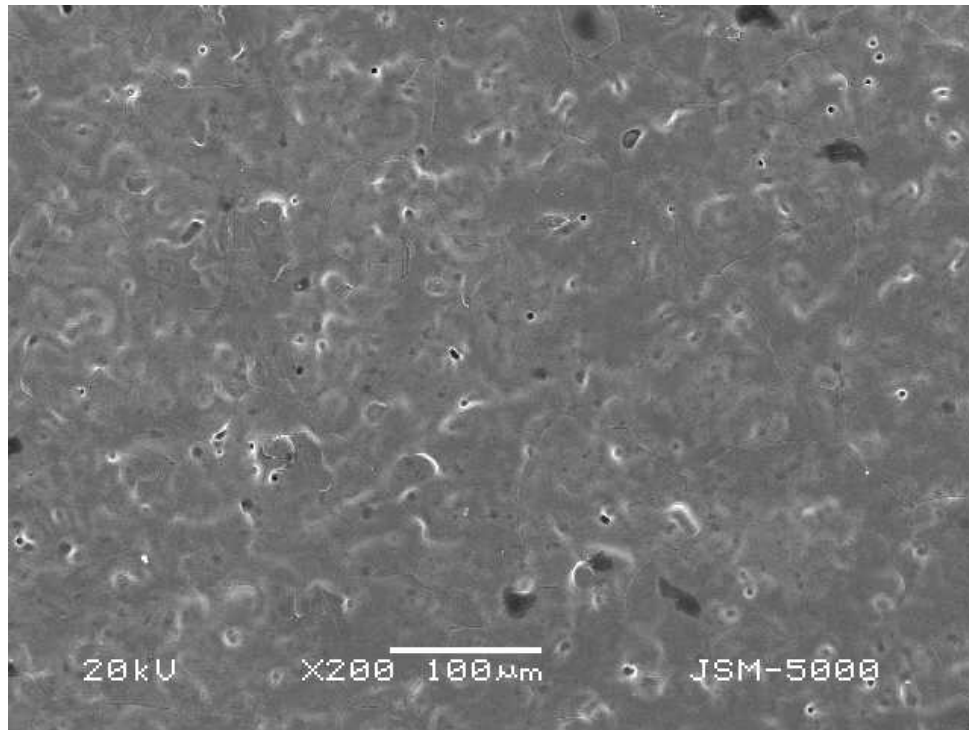
科信

BASF 316LA



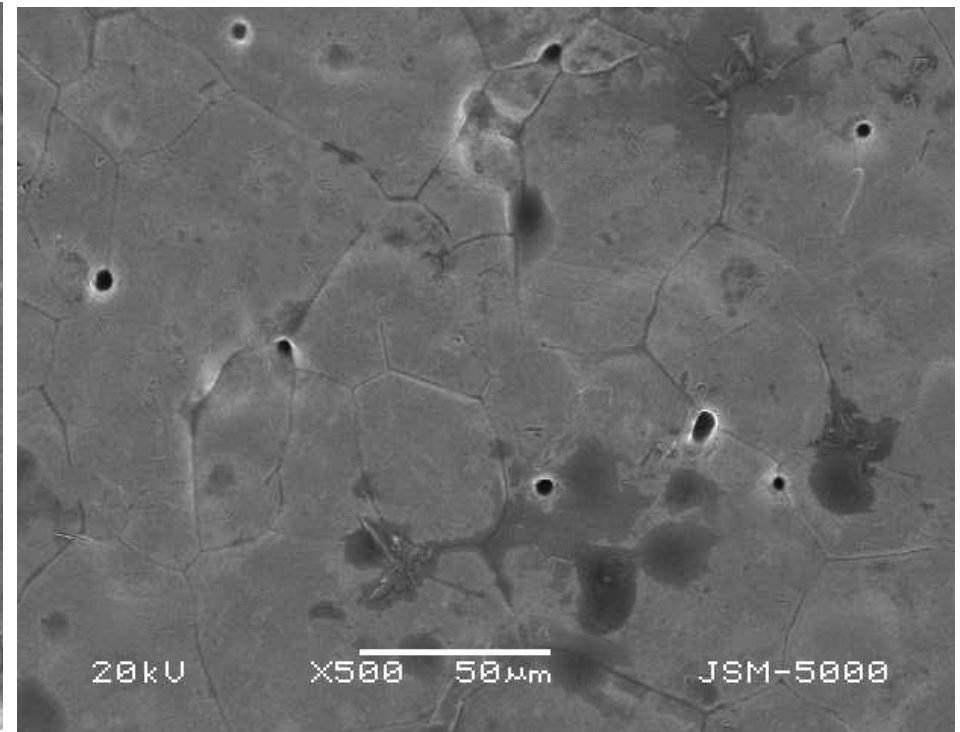
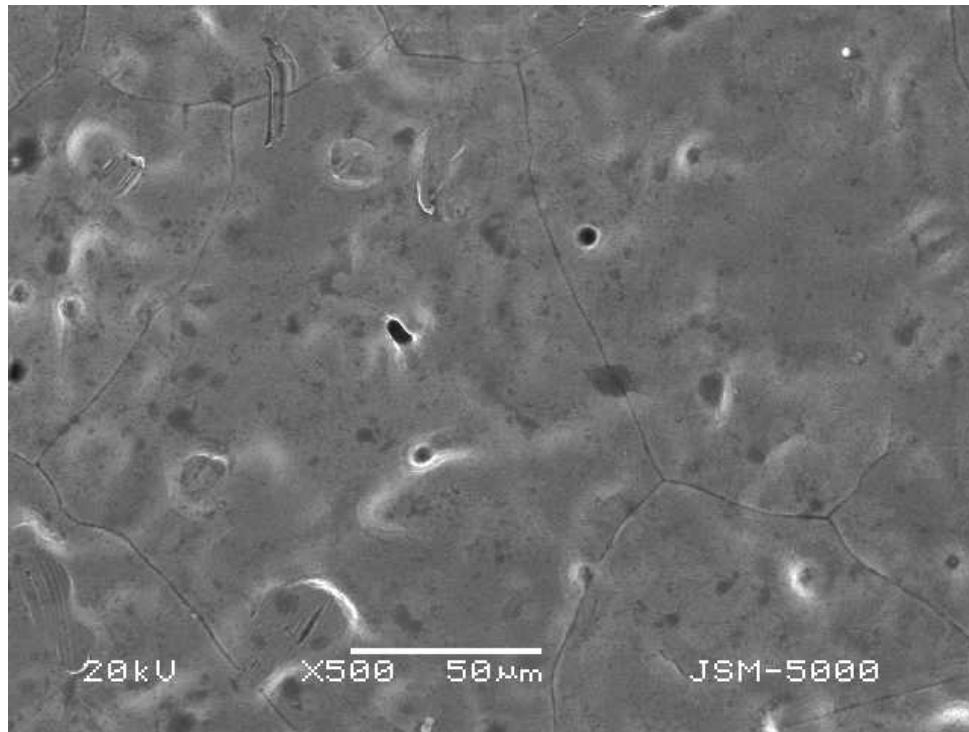
科信

BASF 316LA



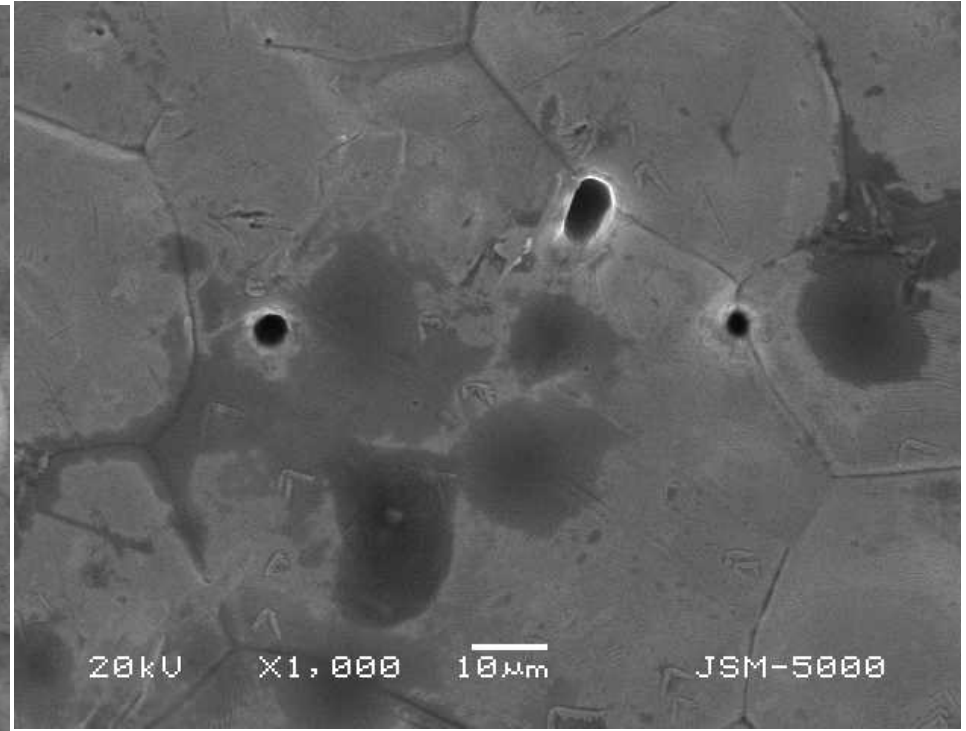
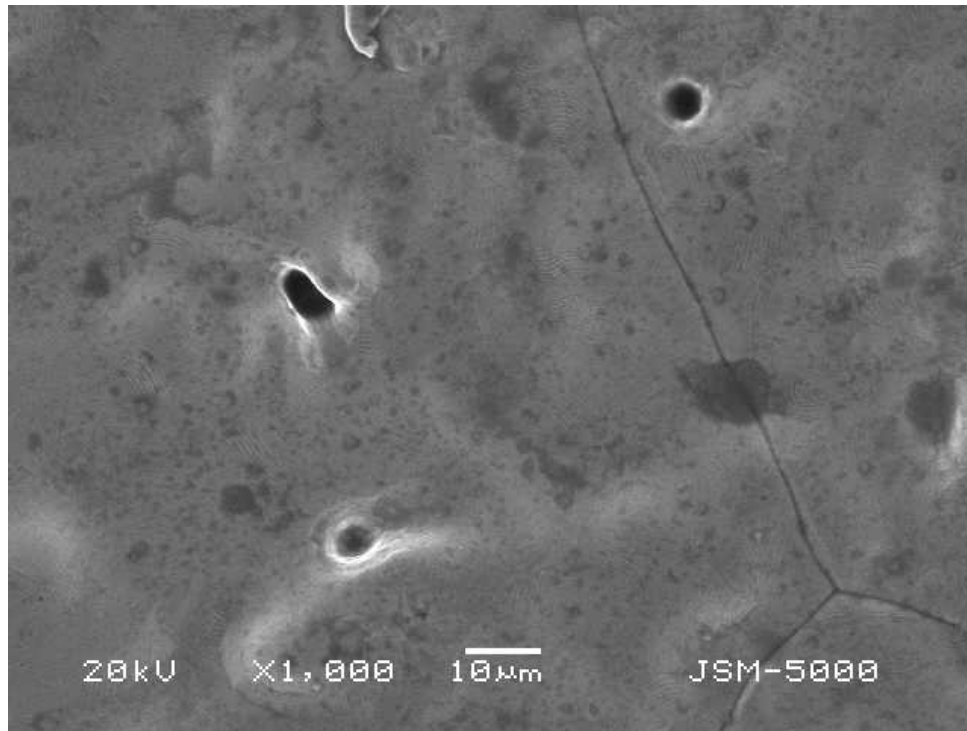
科信

BASF 316LA



科信

BASF 316LA



對於拋光件而言

- 拋光時，孔洞的擴孔是造成拋光不良之原因
- 99%密度與98%密度的差異是1%孔洞與2%孔洞
- 孔洞的擴孔機率是1:2

良好POM基射出料

低射出溫度 (< 200°C, 通常低於 190°C)

- 較少甲醛與甲酸污染射出空間
- 回收次數較多次
- 不需更換模溫機

低射出壓力

- 低粉膠分離，不易形成黑線
- 低殘留應力，低燒結後變形量
- 沒毛邊 (某公司可以省下20位修胚員工資)

高燒結密度

- 滿足拋光需求
- 滿足透過96%到99%密度之調整(變化燒結溫度或時間)，改變零件尺寸

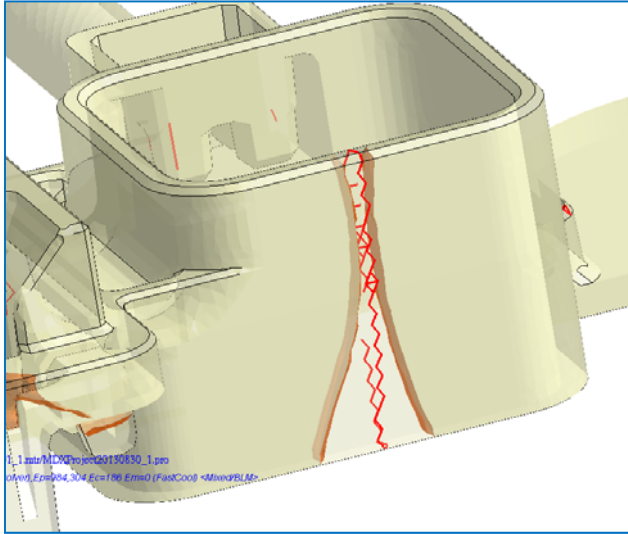
使用CAE軟體於產品與模具設計

Moldex 3D

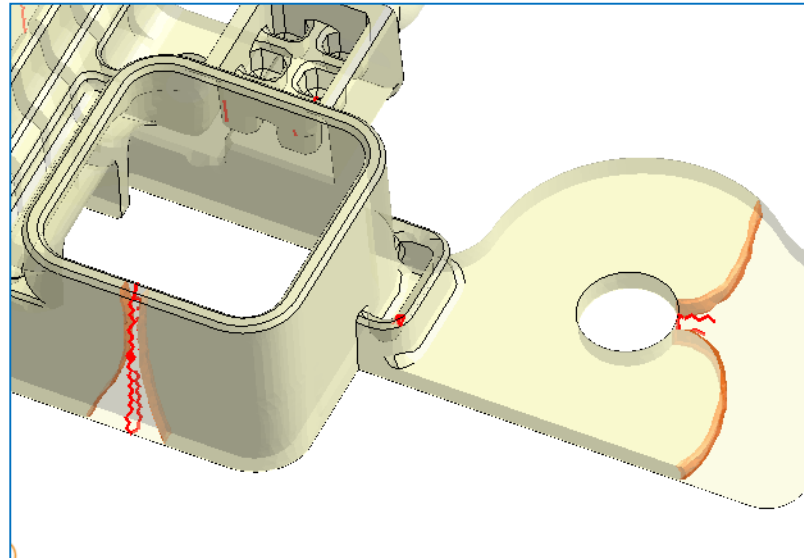
- 與客戶討論零件設計時，做為初步之建議依據
- 開模時，做為流道、膠口與冷卻水路之建議依據
- 經由多次產品與模具設計經驗之累積，有效地且精密地達成軟體簡化開案之初期準備工作

縫合線位置

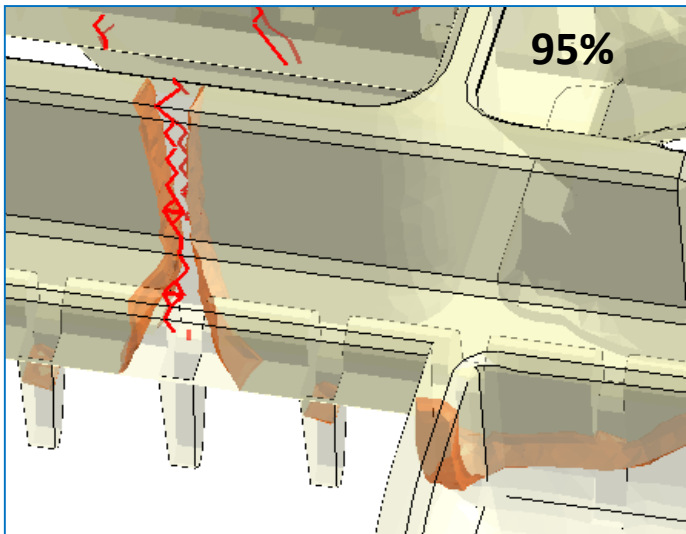
80%



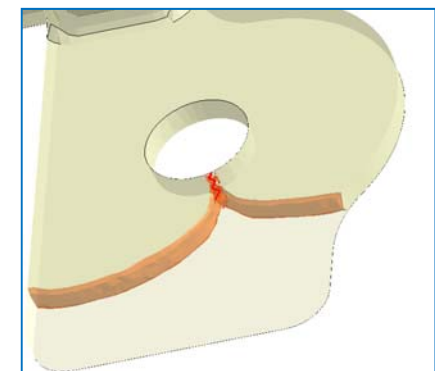
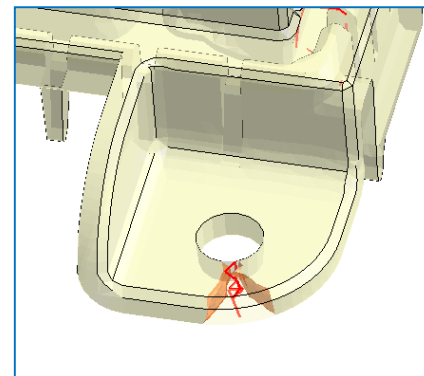
82%



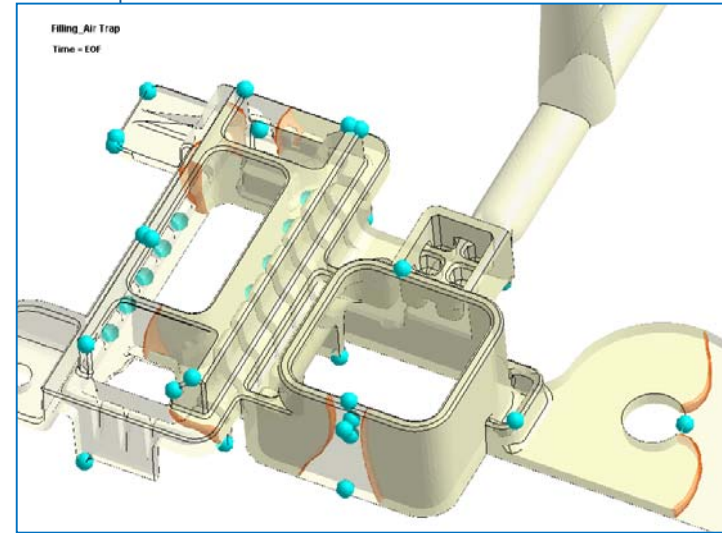
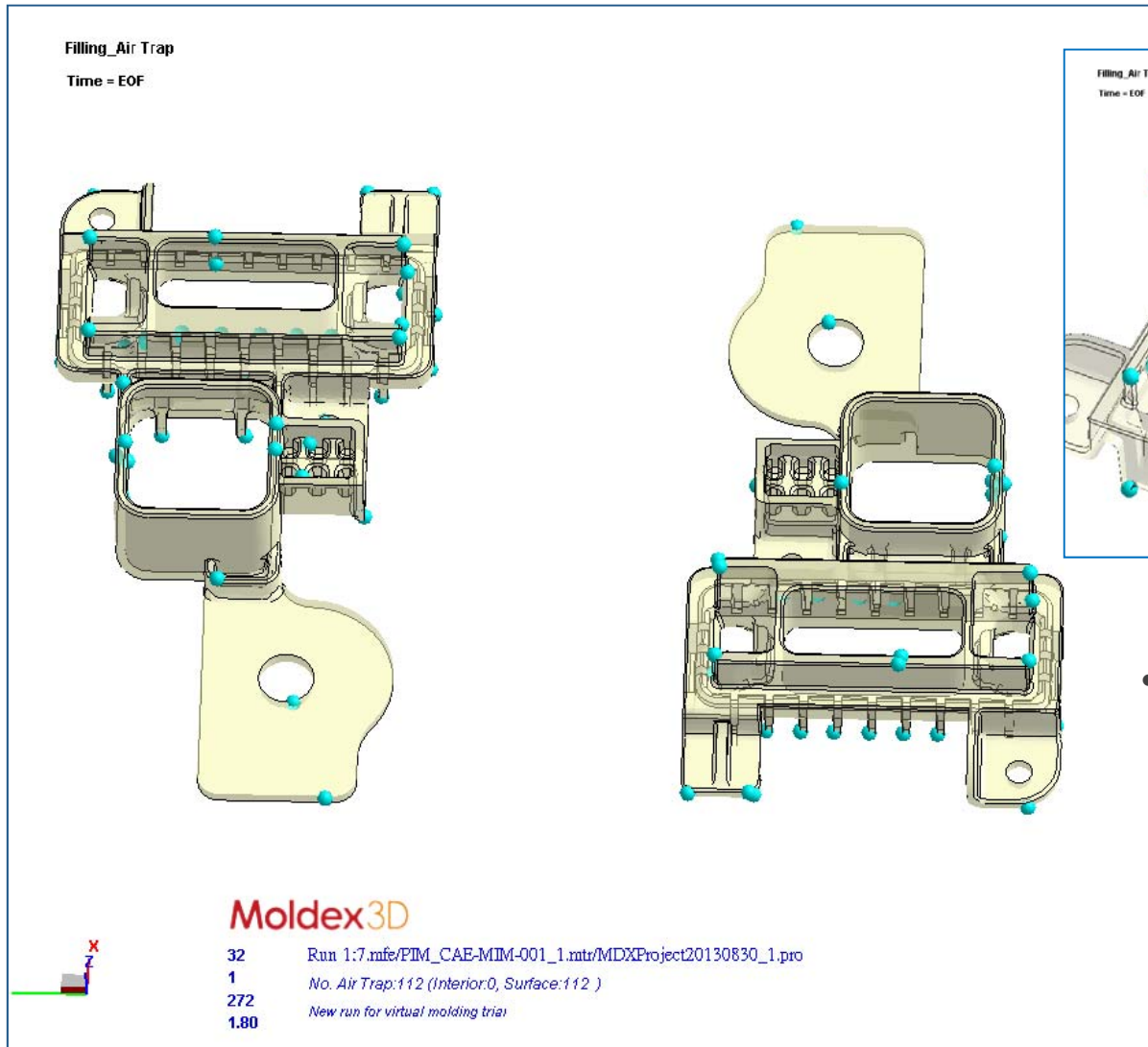
95%



99.9%



排氣位置



- 於流動波前交會處以及流動末端，容易產生包封

脫脂與燒結

- 使用真空爐時，批與批之碳含量管理需要強烈kown-why與know-how知識
- 使用連續爐時，生產排程需靈活



結語

脫蠟方式之選用與黏結劑再優化

- 降低變形量
- 改善射出黑線所造成的表面缺陷
- 提高燒結密度，改善拋光良率
- 改善薄件之成行性
- 提高強度，降低射出壓力，避免零件內框直角處產生裂痕

POM基射出料的優點

- 進真空爐時，殘留高分子量較低 (<1.5%粉末重，溶劑脫蠟 大約為 4.4%)，碳含量好控制
- 低燒結溫度可達成高燒結密度 (98% 到 99%)
- 容易在96%密度到99%之間，調整尺寸

射出料之工作窗口大小影響良率 也減輕燒結爐的需改善空間



需要聰明冷靜的員工



熟練的員工即可

謝謝