

An Introduction of MIM -

The 5th Generation of Metal Processing Technology

第五代金属成形技术-金属粉末注射成形简介

深圳鑫迪科技有限公司 www.shindytech.com

邱耀弘博士 / 技术长

PIMA-CN 中国粉末注射成型联盟主席

Dr. Q / CTO & Present/PIMA-CN

V2.1 June. 3rd 2015; V2.0 May. 23th 2015, V1.0 Nov. 5th 2014



ABC是我們的導師和朋友, 不是敵人

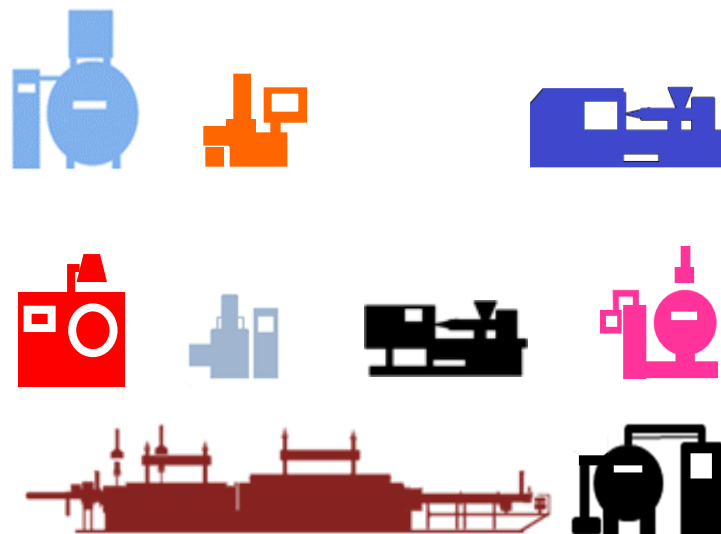
重力和摩擦力才是我們的敵人

Gravity and friction are our enemies.

Dr.Q, PIMA-CN

微-积-分

- 微-微聚正面力量
- 积-积累人类智慧
- 分-分享知识快乐



任何一种正面的力量, 一个单词, 一分钱的善款, 一句鼓励的话, 我的世界是这样积累出来的; 人类文明也是这样积累出来, 然后, 分享出去, 回收快乐回来!

The 5th generation of metal forming process

第五代的金属成形制程

Powder Metallurgy
粉末冶金

Pressure Molding, PM
粉末压结成形法

Powder Injection Molding, PIM
粉末注塑成形法

今天的讲题

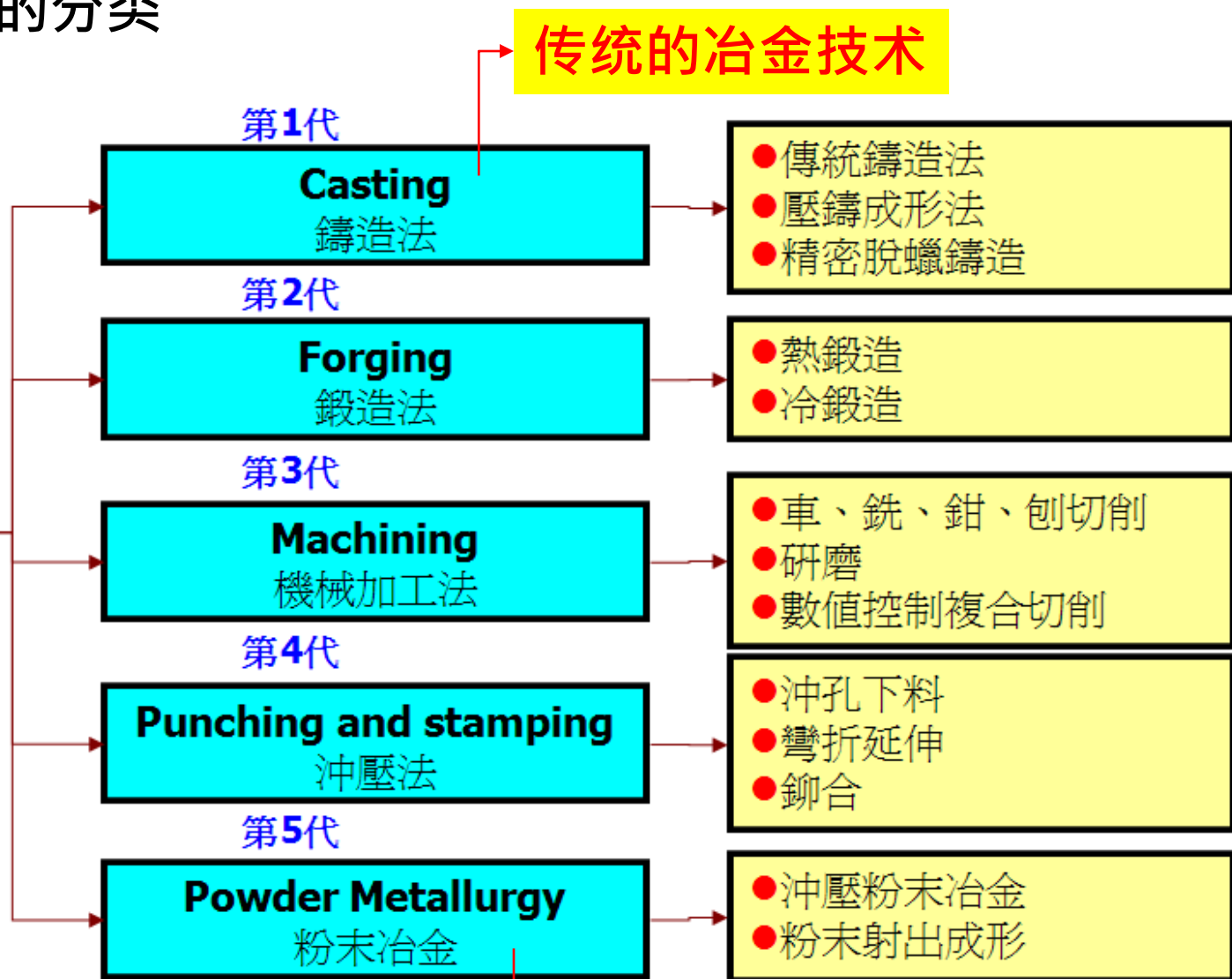
Metal-powder Injection Molding, MIM
金属粉末注塑成形

Ceramic-powder Injection Molding, CIM
陶瓷粉末注塑成形

Cermet-powder Injection Molding, CMIM
瓷金粉末注塑成形

Classification of metal processing 金屬成形制程的分类

金屬成形制程



传统的冶金技术

金属3D打印技术的基础

MIM

把金属零件设计的像塑胶注射零件一样

Design your metal part like plastic molding

利用塑胶注射快速复制的优点,将金属零件注射成形,然后经过热制程作成金属实体零件

MIM process flow chart I

金属粉末注射成形制造流程

Material forms 材料形式



MIM-IMT

金属粉末注射成型整合制造技术

Metal-powder Injection Molding Integration Manufacture Technology

以金属粉末注射成型作为零件设计的基础后, 在这个基础搭配各种二次加工或处理, 成为一种整合制造的技术

Secondary Process for MIM

MIM可进行的二次加工制程

热处理

- 渗碳
- 淬火(水/气/油)
- 退火/回火
- 时效析出

机械加工

- 铣
- 车
- 研磨
- 钻、绞、搪
- 攻牙
- 抛光与高光

矫正与强化

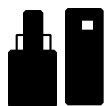
- 冲整
- 压印(Coining)
- 矫形、矫直
- 热整形
- 锻打、珠击

表面装饰

- 喷漆与电镀
- 真空溅镀(PVD coating)
- 化学抛光与电解抛光
- 滚筒研磨与磁振研磨
- 喷砂、喷丸
- 发丝纹
- 雷射(激光)雕刻

Functions of main equipments

MIM主要设备的功能



消灭中

Feedstock mixer

喂料混炼机

作为金属与粘结助剂混合用



Feedstock granulator

喂料混炼造粒一体机

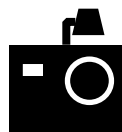
喂料挤切成小颗粒以利注塑成形



Injection machine with robot

注射成形机含机械手臂

喂料藉由高速注射成将喂料注入模具内以成形生坯



Batch type catalyzed de-binding furnace

批次式酸催化脱粘炉

作为生坯之酸催化脱粘之设备



Batch type vacuum sintering furnace

批次式真空烧结炉

在真空与气氛控制下以低压方式进行

MIM生坯的热脱粘以及烧结的固化作业



Working beam progressive furnace with de-

binding and sintering

步进梁连续脱粘与烧结炉

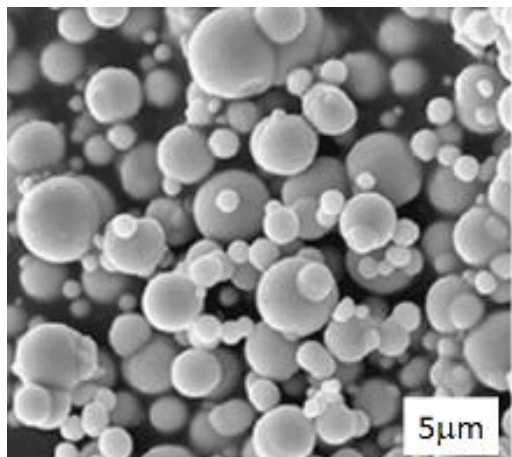
以正压环境进行生坯或棕坯的烧结固化作业

Characteristics of PIM

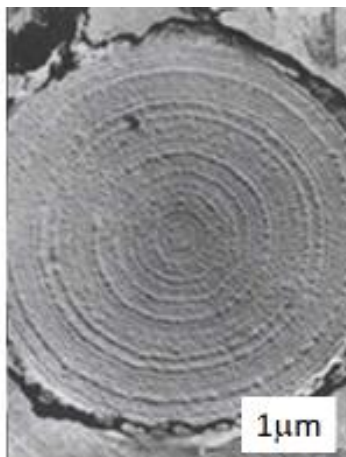
粉末注塑成型的特点

- **Fine powder 细小的粉末**
 - Particle size < 25um 颗粒小于25微米($d_{90} < 25\mu\text{m}$ or $d_{80} < 22\mu\text{m}$)
 - Narrow PSD 窄的粉体粒径分布
- **Requires high-quality feedstock 质量要求高的喂料**
 - Binder volume > ~ 30 % 粘结助剂高于30% (PM binder < 3%)
 - Complex system of binder 复杂的粘结助剂系统
 - Fully kneading and mixing of feedstock 完全混合充分的喂料
- **High speed forming 高速率成形**
 - High precision molds 精密度高的模具
 - Injection machine – the rapid replication equipment 快速复制的注射機
- **Sintering technology 烧结技术**
 - Solid state sintering almost 大部分是采用固态烧结
 - Metal phase diagram application is necessary 必须应用金属相图
 - Material science knowledge 材料科科学知识

Fine powder 细小的粉末

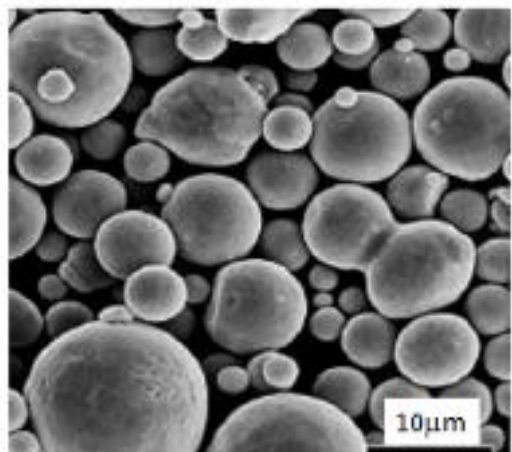


羰基法

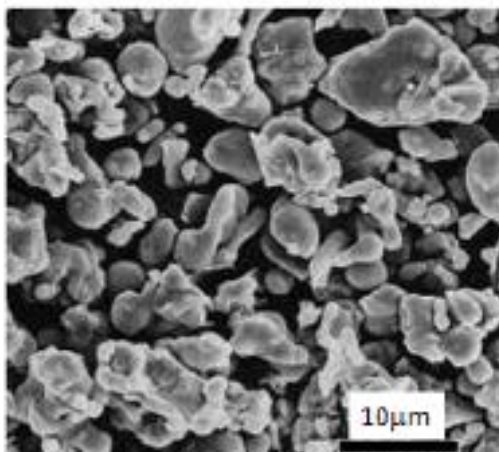


羰基法粉末的横断面

左上图为羰基铁粉(Carbonyl iron powder, CIP)电镜照片, 这是一种利用高温通过一氧化碳(CO), 硝酸以及后续加热得到的铁粉, 球状的粉体像一层层的冰雹结构。这样的粉体非常适合固态烧结作业。



气雾化法



水气雾化法

左下图为MIM常用的两种粉体, 圆形和不规则形状, 根据制程的特性, 圆形粉末的费用较高, 也具有比较好的堆积率; 多角状的粉体则必须有技巧的使用, 方可得到比较好的烧结体密度, 也具有好的**保形性(Conformal)**

Ideal powder shape by simulation 模拟计算理想化的粉末形状

粉体有越高的堆积密度, 烧结件的緻密度就越高



电脑数值模拟
最佳粉体形状类似坚果
(R.M. German)



市面是贩售
M&S巧克力糖



介于气雾化与水气雾化
实际混合体的粉末
最新称为水气联合雾化法

Metal and/or alloy powders

金屬粉末注射成形的材料粉末

紅字: MIM最經常使用的金屬

Classification 類型		Materials 材質	Characteristics 特性	Applications 應用
Low carbon alloy steel 低碳合金鋼		Fe-2Ni, Fe-XNi (X>2%) Fe-Si	High strength 高強度	Mechanical parts e.g. Cam of hinge 機構件,如轉軸用凹凸輪
Stainless steel 不銹鋼	Austenitic 沃斯田型	SUS – 304 SUS – 316 / 316L	Corrosion-resistance 防腐蝕	Keys, watch accessories, and deco. parts 鎖,手表零配件與裝飾件
	Martensite 麻田散型	SUS – 630 (17 – 4 PH) SUS – 420J2/440C	Corrosion-resistance and high strength 防腐蝕,高強度	Shaft, cylinder, cell phone interal parts, and medical parts 軸,汽缸、手機內構件與醫療用品
Tool steel 模具鋼		SKD – 11 SKH – 51/37	High strength 高強度	Abrasion of tools, cams, and special function screws 耐磨工具,凹凸輪與特用螺絲

Remark 注解

1. Copper and alloy (Brass) are available materials 铜与铜合金可以制作
2. **Tungsten and alloy (W-Ni-Cu) are available materials also.** 钨与钨合金也可以烧结
3. Both of titanium and aluminum alloy are new material applications for MIM 钛与铝合金是新兴材料来作为MIM产品应用

Binder systems classification by de-binding method of MIM

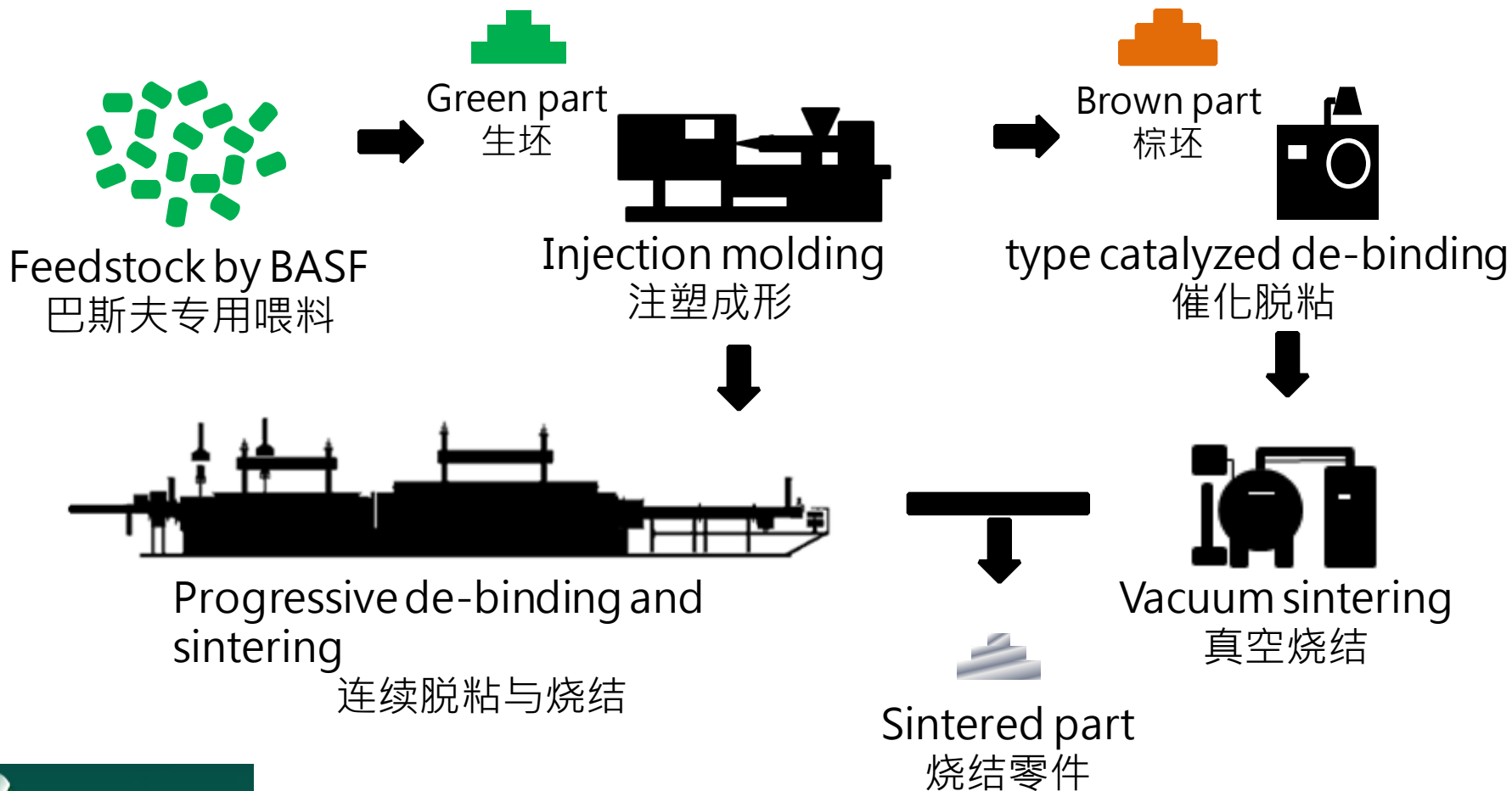
金属粉末注射成形的粘结助剂系统依脱粘结剂方式分类

红字: MIM最普遍的技术

De-binding method 脱粘结剂方式	Environment 环境要求	Method(Max. temp.) 方式(最高温)	Called 名称
Decomposition in solution environment 于溶液中分解	Solvent 溶剂	Dipping and heating (60~70°) 浸泡于溶剂并加热	Solvent de-binding 溶剂脱粘法
	Water 水	Dipping and heating (60~70°) 浸泡于水并加热	Water de-binding 水解脱粘法
Decomposition in thermal environment 于热气氛下分解	Gas of nitric acid 硝酸气体	Heating and Catalytic(120~170°C) 暴露于硝酸气并加热	CATAMOLD® 催化脱粘法
	Vacuum 真空	Heating (25~600°C) 加热	Thermal de-binding 热脱粘法

Method 方法	Required time (GP = Green part) 需求時間(GP為生坯)	Medium 介質
Heat 熱 (一次完成)	Thickness of a GP (生坯厚度)<10mm, 16 ~ 22 hr	Vacuum真空
Solvent 溶劑 (須追加熱脫第二段)	Thickness of a GP (生坯厚度)<10mm, 4 ~ 8 hr (第二段熱脫需要約6小時追加)	Solvent溶劑
Catalytic 催化 (須追加熱脫第二段)	1mm of a Green Part /hr , (第二段熱脫需要約6小時追加)	Nitric acid 硝酸

Catamold system (BASF 1993.9~2013.9 Patented) 酸催化脱粘系统 (BASF专利已过)



Feedstock mixing 喂料调配



Binder with additives
粘结助剂与添加剂



Metal and/or alloy powders
纯金属或预合金粉末



秤出合适的比例

Mixing in a chamber with heating
and blending

材料进行加热且强力搅拌之混合

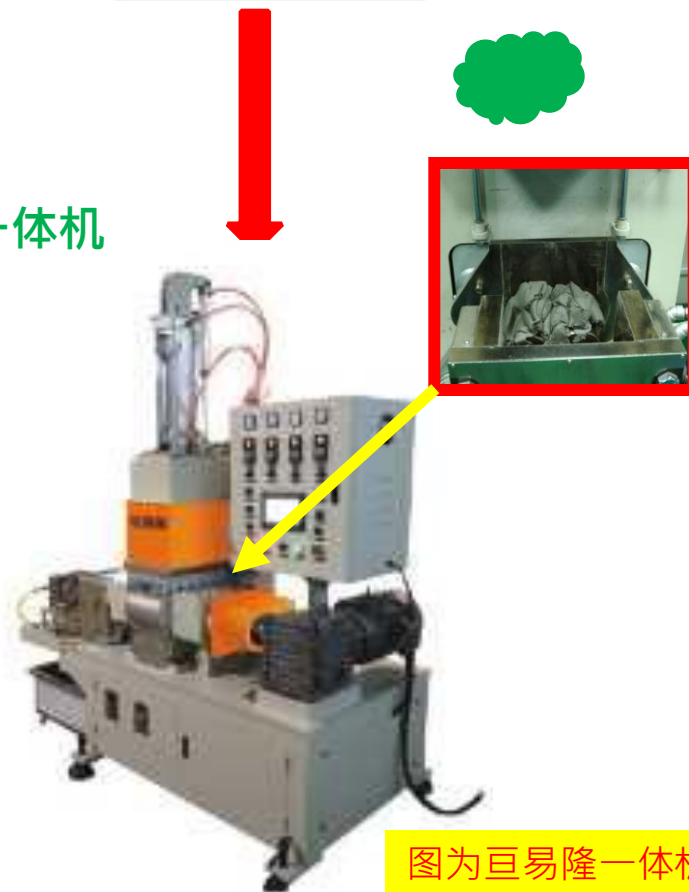


复合式混炼造粒一体机

- 1. 节省一次搬运
- 2. 避免转换制程污染
- 3. 减少人员伤害



以挤出与风刀切成短细的颗粒



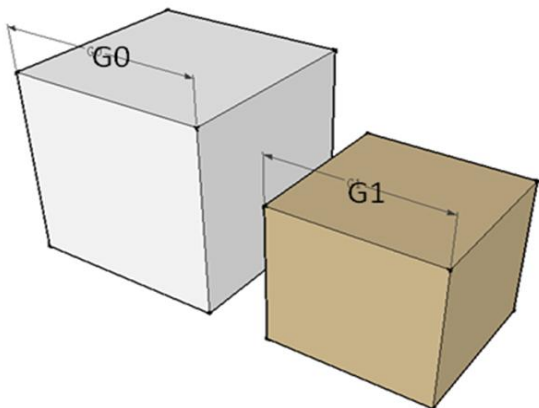
图为巨易隆一体机

Oversize shrinkage factor vs. volume rate of metal and binder

整体尺寸收缩因子(尺寸放大率)与金属与粘结剂的体积比

中国产POM基喂料
新技术大突破
更低收缩因子的喂料

1.154~1.172
现阶段MIM用的最佳化比例



Volume rate vs. OSF			
Total volume (G_0^3)	Metal(G_1^3)	Binder	OSF = (G_0 / G_1)
1000	700	300	1.1262
1000	675	325	1.1262
1000	650	350	1.1400
1000	640	360	1.1544
1000	625	375	1.1696
1000	620	380	1.1727
1000	600	400	1.1856
1000	575	425	1.2026
1000	550	450	1.2205
100	50	50	1.2599
100	30	70	1.4938

烧结完成所有粘结剂全部烧除

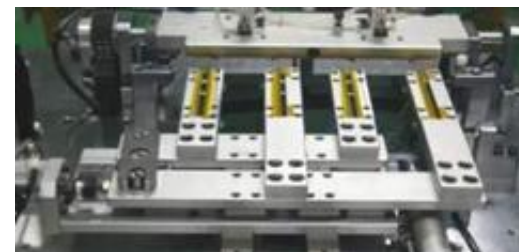
Injection Molding 注射成形

全电式注射成形机的全盛时代来临



鑫迪采用的全电驱动的注射机

地面应该以环氧树脂铺设硬质光滑地面

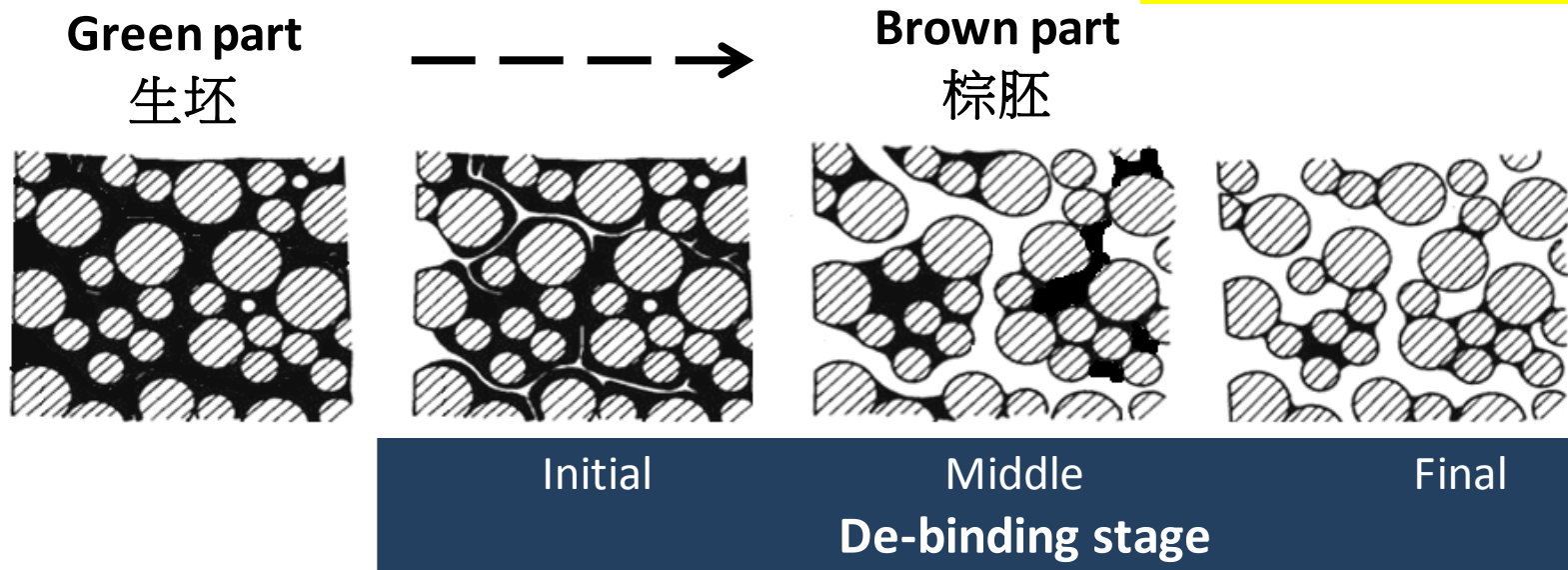


注射的生坯要尽量不要使用途手拿取，机械手和自动折水口机，都是必须考虑的配备

De-binding stage of green part of MIM process

金属注塑成形之生坯脱粘的阶段

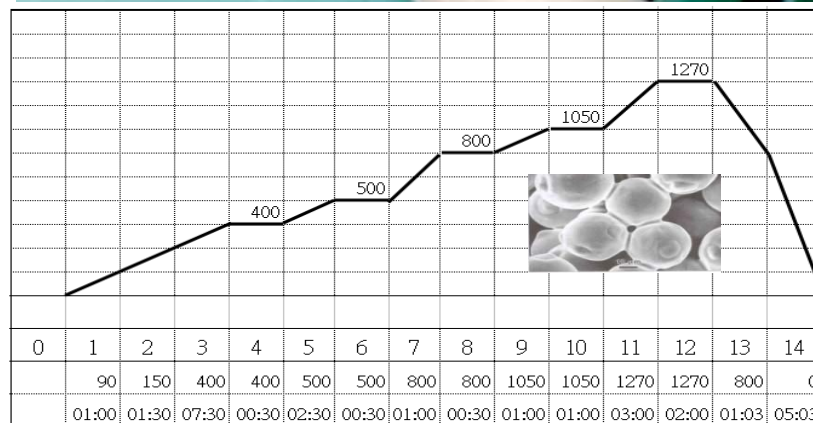
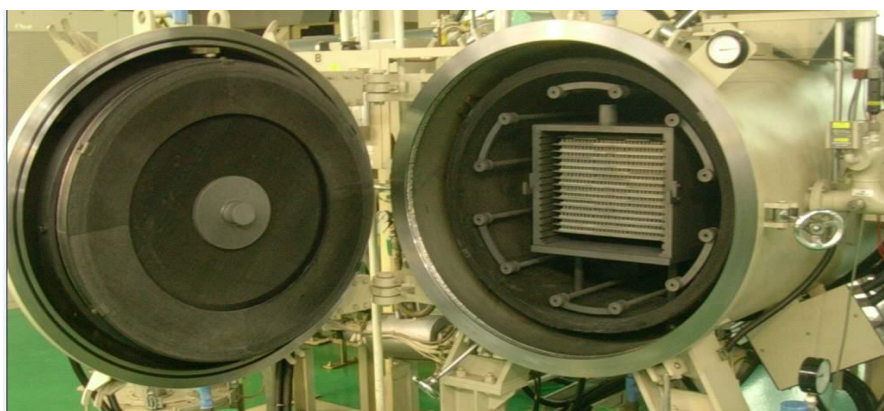
只有二阶段的溶剂脱粘和酸化脱粘才有此坯体可见



1. Binder be removed after de-binding stage. "Brown" This is to say the traditional powder metallurgy. (Color of iron oxide) 脱脂后的生坯转变成棕红色，这是传统粉末冶金用的名词(棕红色来自于铁氧化物)
2. After de-binding, the brown part like a foam sponge with a lot of internal channels. 脱脂后的棕坯内部就像一块多孔海绵体有连续的孔隙。
3. Air and/or nitrogen remaining in these channels. 空气或是氮气会残留在内

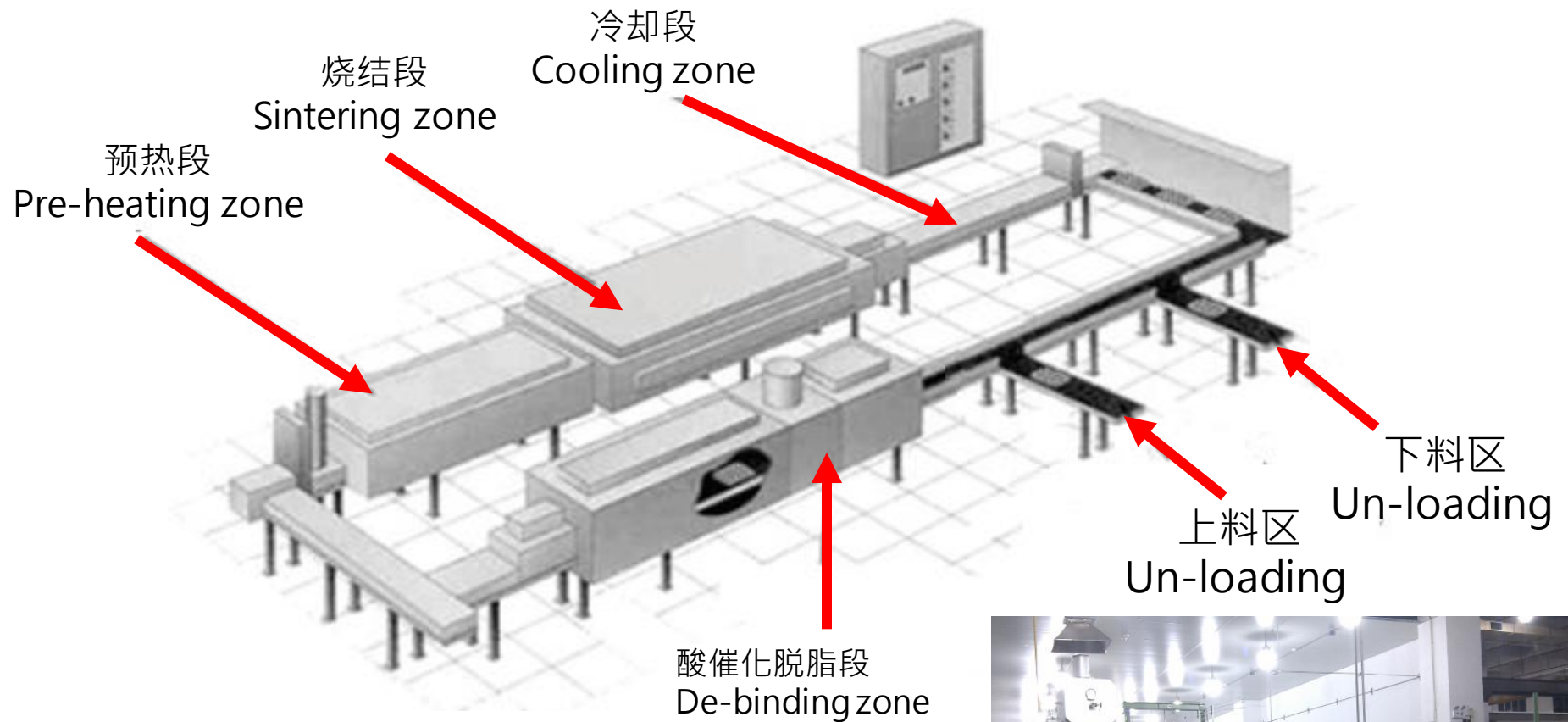
Thermal de-binding and sintering by vacuum furnace 真空热脱脂与烧结

为何需要在烧结曲线的前段设定热脱脂?



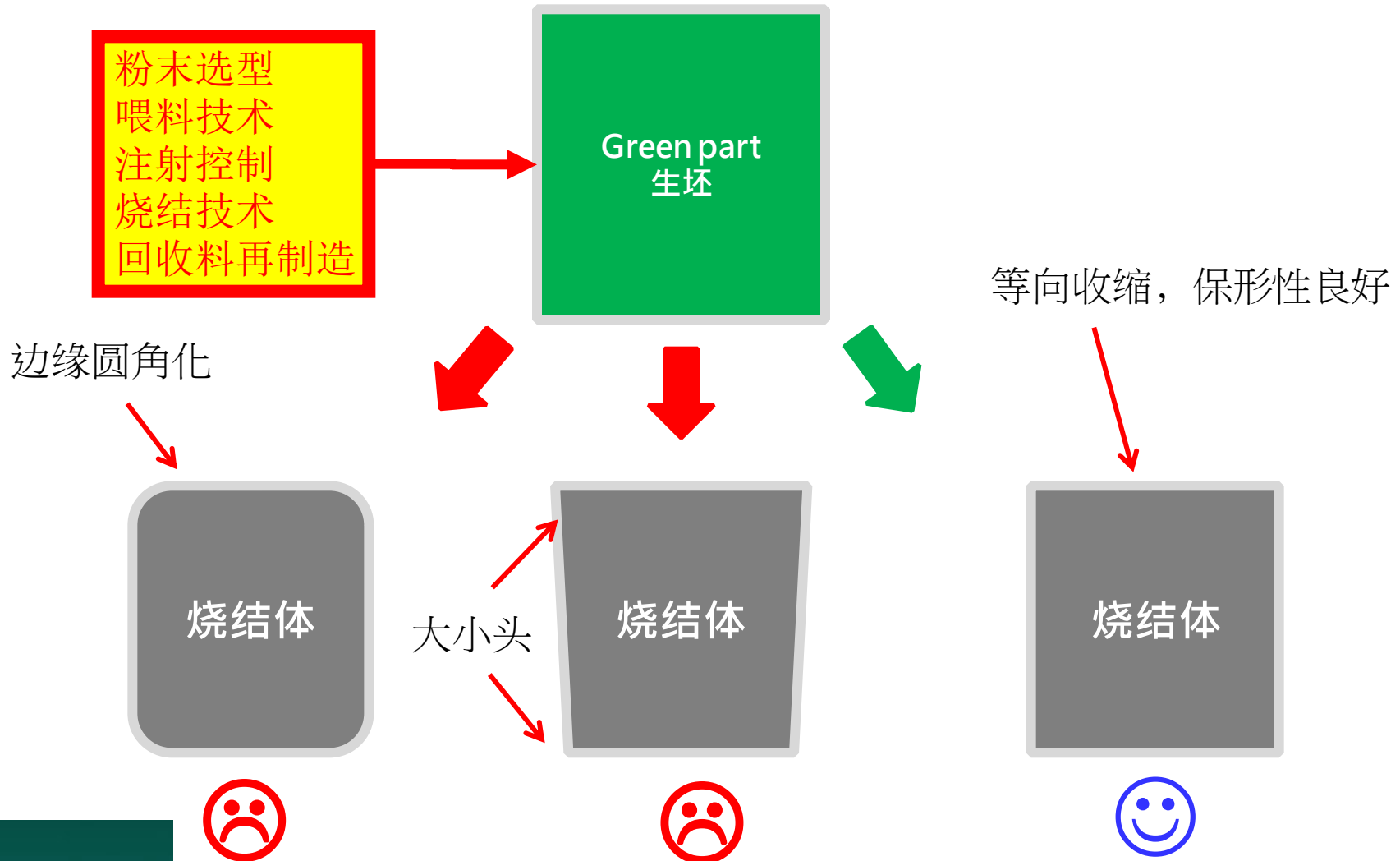
MIM生坯经过酸脱去除大部分的填充剂(POM), 残留约有2~3 wt%的高温粘结剂, 必须藉烧结的前段(< 600°C)缓慢加热去除之

Continuous Sintering 连续烧结炉烧结

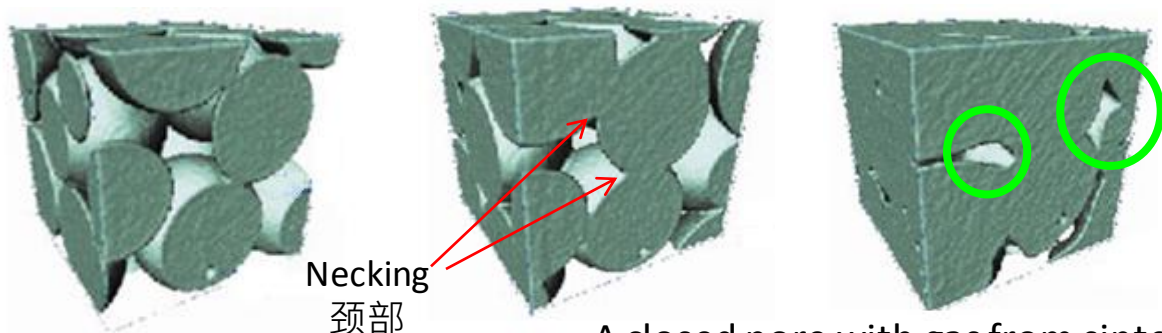
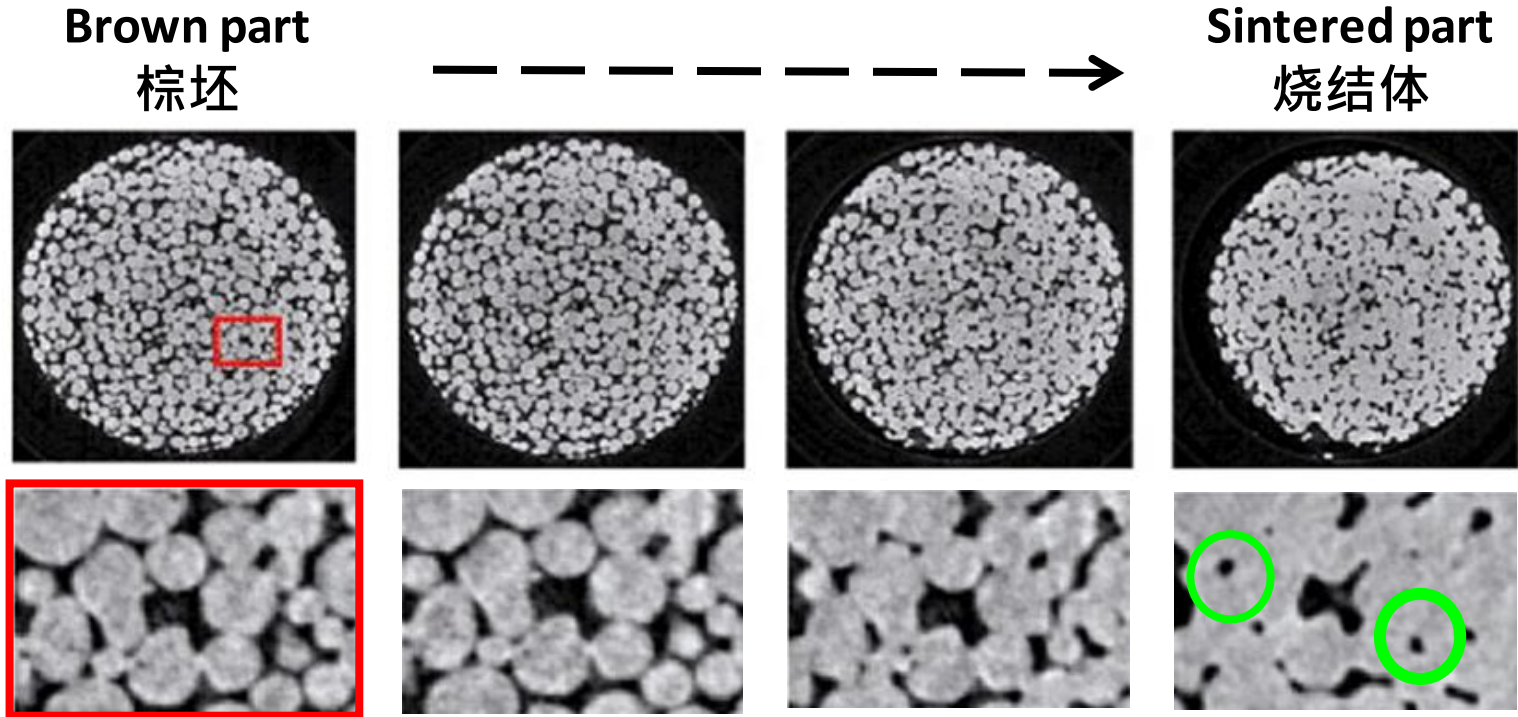


Cremer连续烧结炉的外观

Conformal of green part to sintered part 由生坯到烧结体的保形性



Sintering stage of brown part to sintered part 棕坯到烧结体的阶段



Necking
颈部

● Closed pore
封闭形孔隙

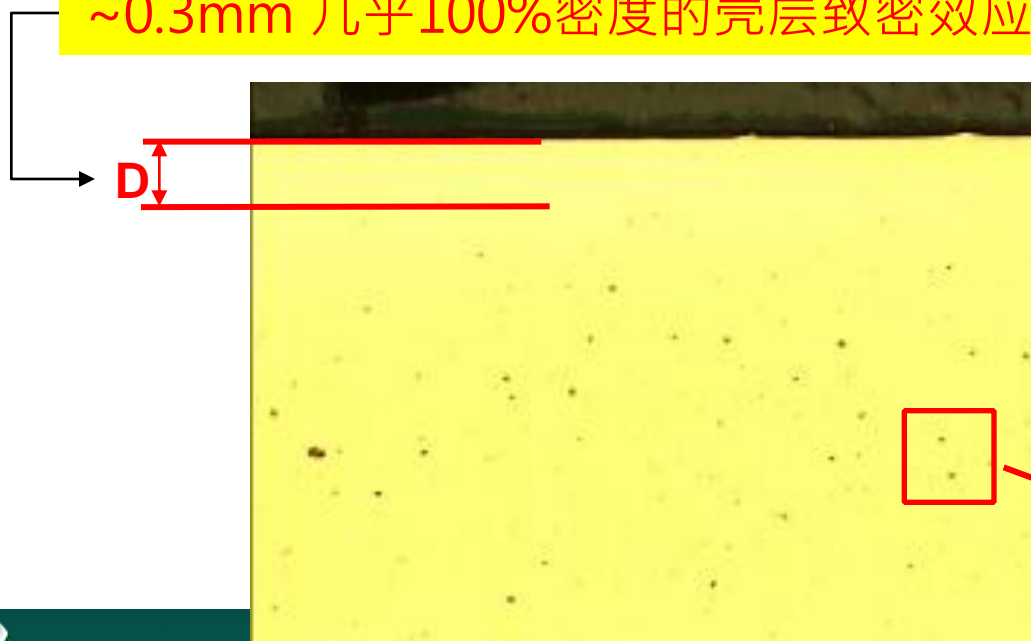
A closed pore with gas from sintering atmosphere.

Is it possible of a 100% relative density body?

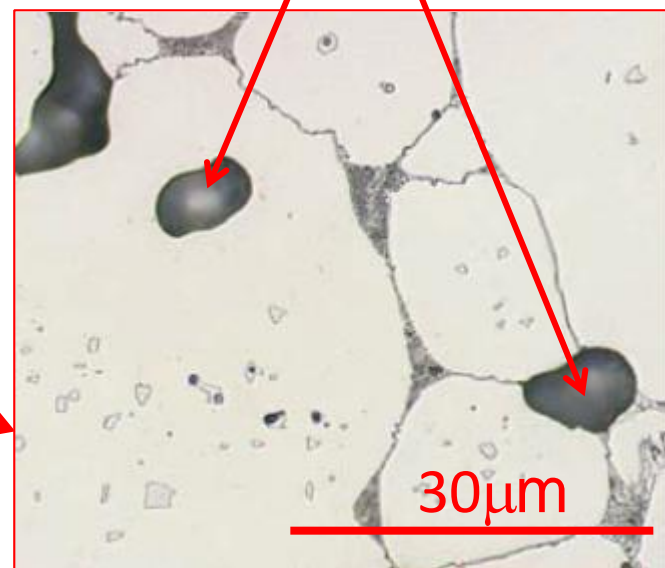
烧到100%相对密度有可能吗？

- 以气雾化或水雾化的近似圆形粉体，在真空或氢气保护烧结，都可以获得自然的表层致密层接近100%密度
- 对于二次加工的技术就是要如何保持这一层致密层
- 使用HIP可达到100%密度，但成本不是一般客户可以接受的
- 不是所有材料都可以经由HIP处理

~0.3mm 几乎100%密度的壳层致密效应



MIM产品内部都会有的孔隙



BASF catamold SS 316L-G

作為MIM-316L 高亮度拋光件的提示

- 最原始的問題- 粉末, 必須採用**預合金**粉末; 粉末形狀要平滑接近**圓球或橢圓球**
- 粉末要夠細, d_{50} 低於**8um**以下; 粉末分布要**窄**
- 粘結劑的**黏性**要恰當, 避免粉膠分離; 喂料要有恰當的流動性
- 注射機的射速可調 0 ~ **500 mm/S** 範圍增大; 射出壓力要**尽可能低**
- 模具流道系統必須**改善直角流動**避免造成剪切力
- 冷料井與**溢料(排氣和蓄意毛邊)**的設計要充足
- **脫脂速率要放低**, 使生坯表面粗糙度降低
- **脫脂時間要充足**, 使緻密化過程沒有阻擋物(C, O, N₂)
- 燒結溫度**略高**和**比較長**的保溫時間
- 氬氣**阻止燒結緻密化**的兇手, 正確的收縮封孔後才灌注氬氣
- 不可能全緻密, 那就追求**"緻密殼"**
- 拋光要從**中拋**開始, 避免粗拋大量吃掉緻密層

Eight consumer goods SUMITOMO Defined



智能手机/3C产品



办公事务机器



电动手工具



锁具

鑫迪科技



医疗器械和手术用品



汽车引擎与发动机零件



眼镜与钟表零件



乐器配件

MIM Applications
金属粉末注射成形
应用分类

八大民生用品
日本住友定义的MIM应用



大中華產業的競爭力:

承諾交期 快速反應

Rapid commitment to delivery



感謝您寶貴的時間
Thank you!