

# Powder Injection Moulding

## Литье порошковых смесей (PIM)



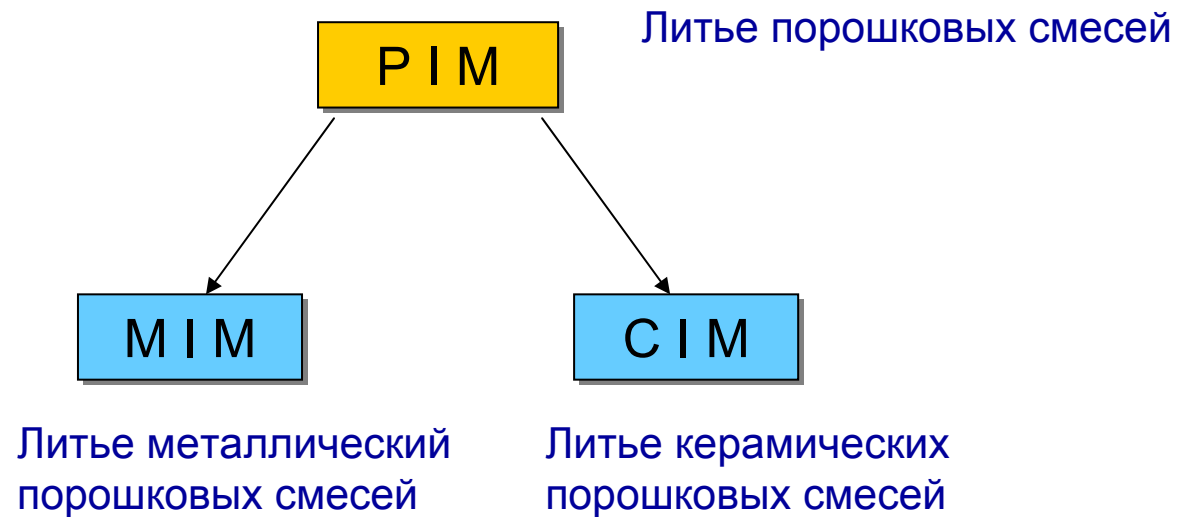
## Литье порошковых смесей (PIM)

### Содержание

- Определение PIM
- Схема процесса
- Порошок
- Связующее
- Смесь
- Процесс литья под давлением
- Удаление связующего
- Спекание
- Дизайн изделий

## Литье порошковых смесей

### Типы PIM



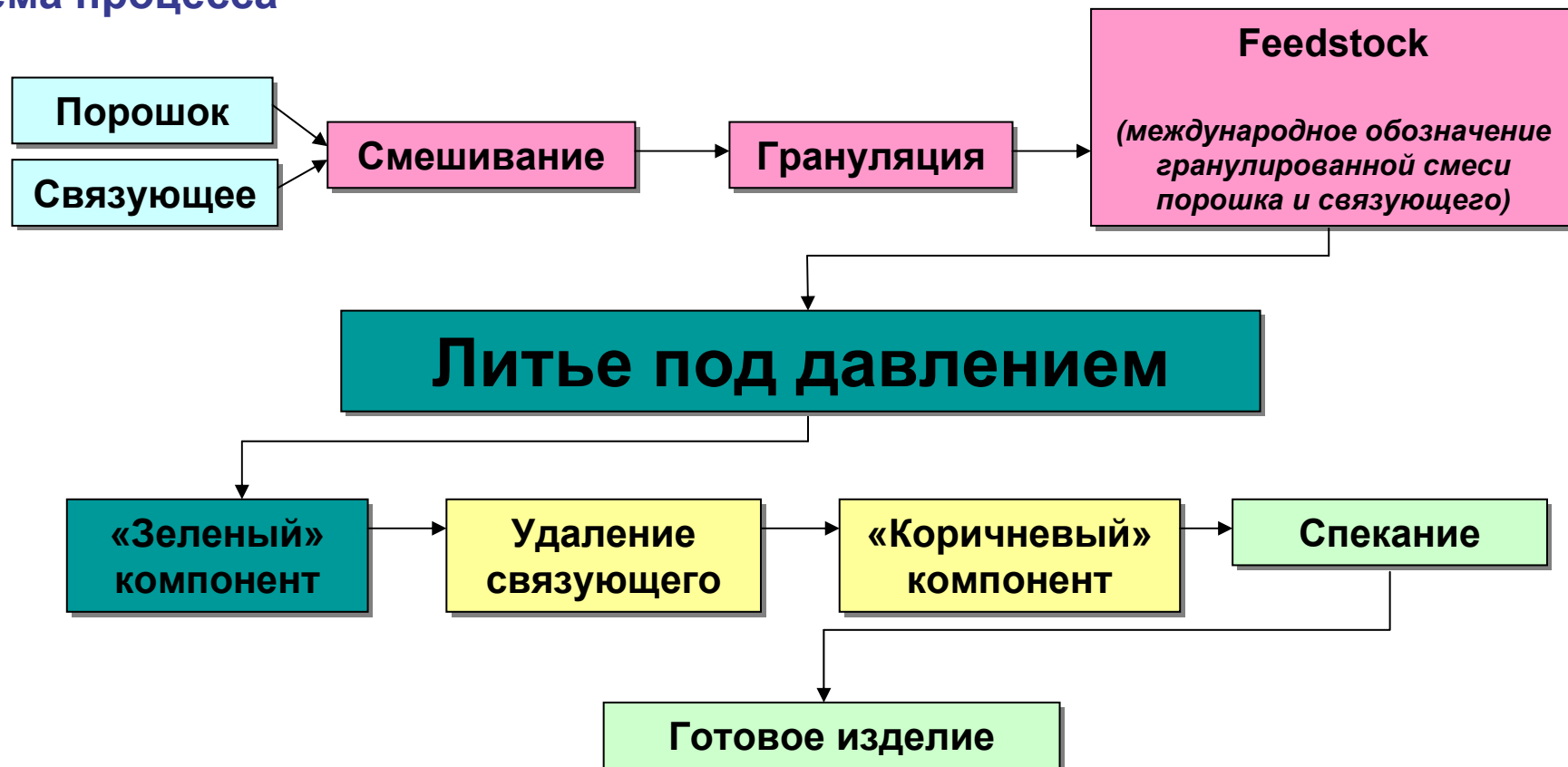
## Литье порошковых смесей

### Преимущества PIM

- Производство изделий со сложной формой
- Высокая повторяемость изделий и низкая себестоимость при массовом производстве
- Высокое качество изделий
- Чистое, практически безотходное производство

## Литье порошковых смесей

### Схема процесса



## Литье порошковых смесей

### Схема процесса



Термопластавтомат



Толщиномер



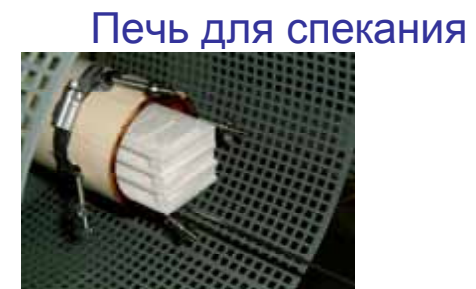
Удаление связующего



Весы



Сушка



Печь для спекания

## Литье порошковых смесей

### Особенность процесса PIM

- Высокая усадка (около 15%)
- Дегомогонизация (расслоение фаз) смеси при сильной скорости потока во время впрыска в формообразующую полость (Jetting)
- Высокая теплопроводность
- Разделения порошка и связующего
- Многостадийность процесса
- Высокие абразивные свойства

***Итого: более сложный процесс чем литье пластмасс***

## Литье порошковых смесей

### Типы материалов используемые для PIM

#### •**Металлы**

- Сплавы на основе железа
- Стали (316L, 42 CrMo 4,...)
- Твердые материалы (WC/Co)
- Металлы (Титан, Фольфрам)

#### •**«Керамика»**

- $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$
- SiC, SiN, AlN

## Литье порошковых смесей

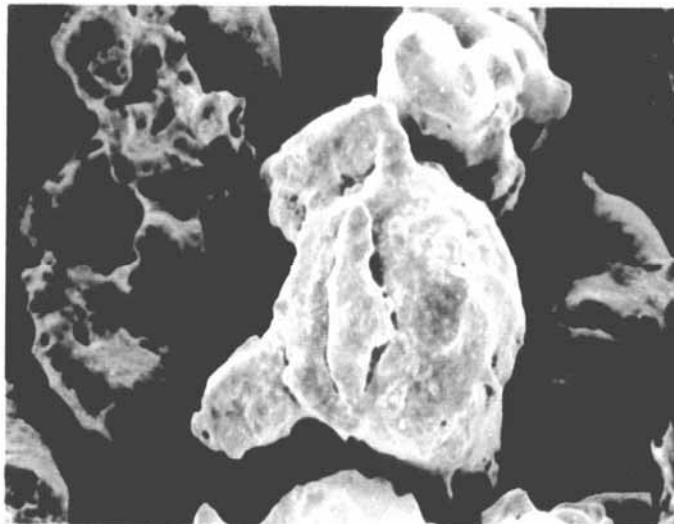
### Типы порошков применяемые в PIM

- Порошки измельченные газом
- Порошки измельченные водой
- Приготовленные химическим путем
- Приготовленные механическим путем

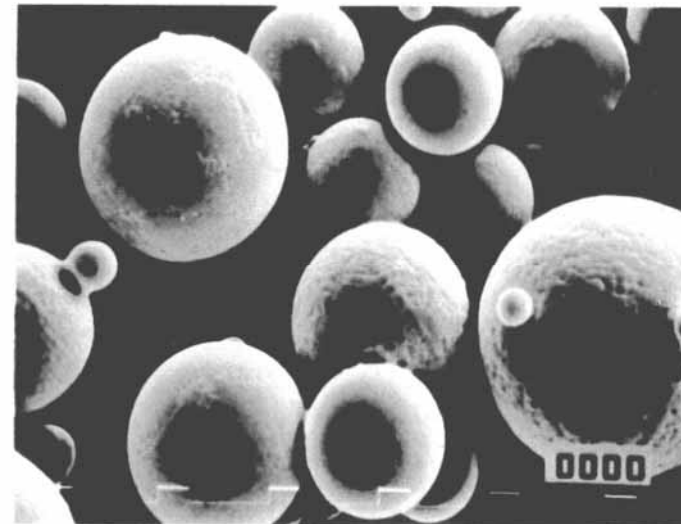
## Литье порошковых смесей

### Измельчение порошка газом и водой

Измельчение водой



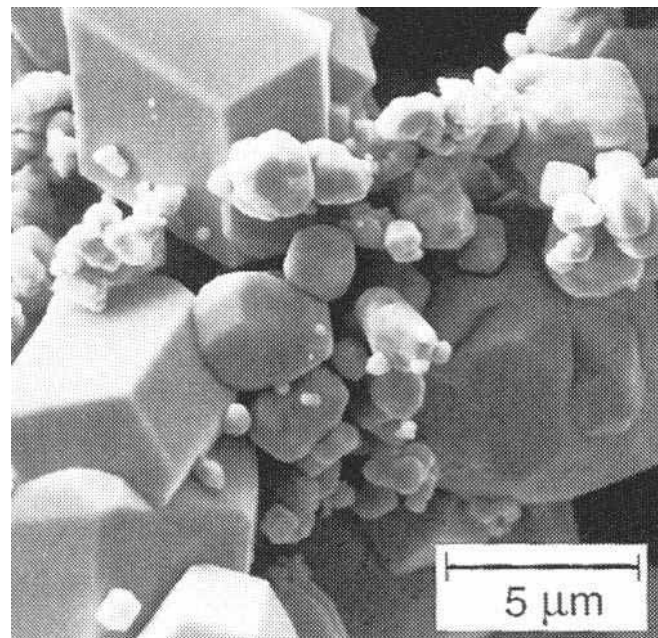
Измельчение газом



## Литье порошковой смесей

Порошки приготовленные химическим путем, в том числе твердые металлы и керамика

Вольфрамовый порошок



## Литье порошковых смесей

### Типы связующих

- Полиолефины / смеси с добавлением воска
- Термопласты
- Прочее: Реактопласты, Агар, ...

## Литье порошковых смесей

### Требования к связующему

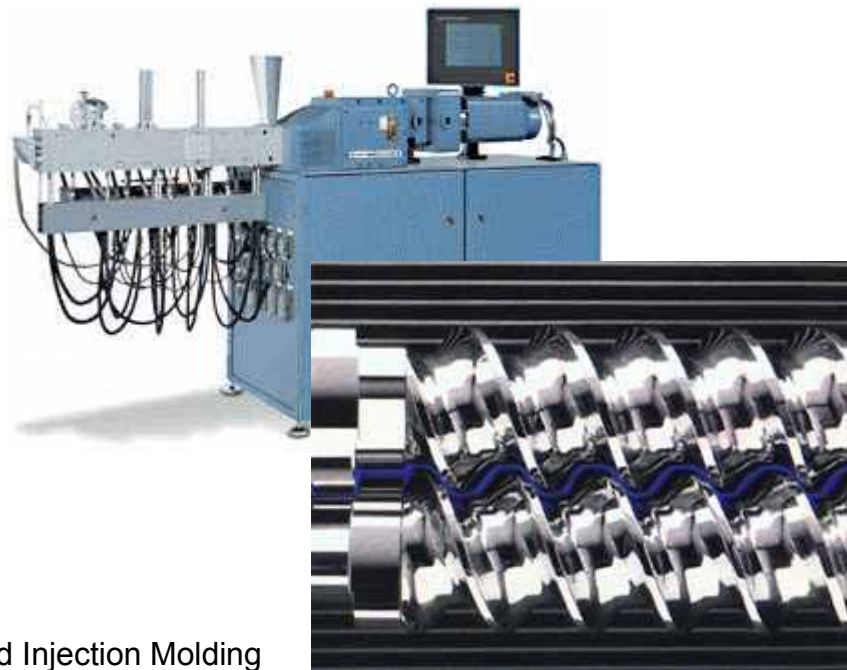
- Низкая вязкость
- Высокая адгезия к порошку
- Термическая и химическая стабильность
- Высокая устойчивость в составе «зеленого» компонента
- Отсутствие адгезии к поверхностям шнека и п/ф
- Возможность простого и полного удаления
- Низкий процент остатков после удаление из изделия

## Литье порошковых смесей

### Смешивание

Качественное смешивание достигается при использовании оборудования с высокой перемешивающей способностью, в том числе:

Двухшнековые экструдера

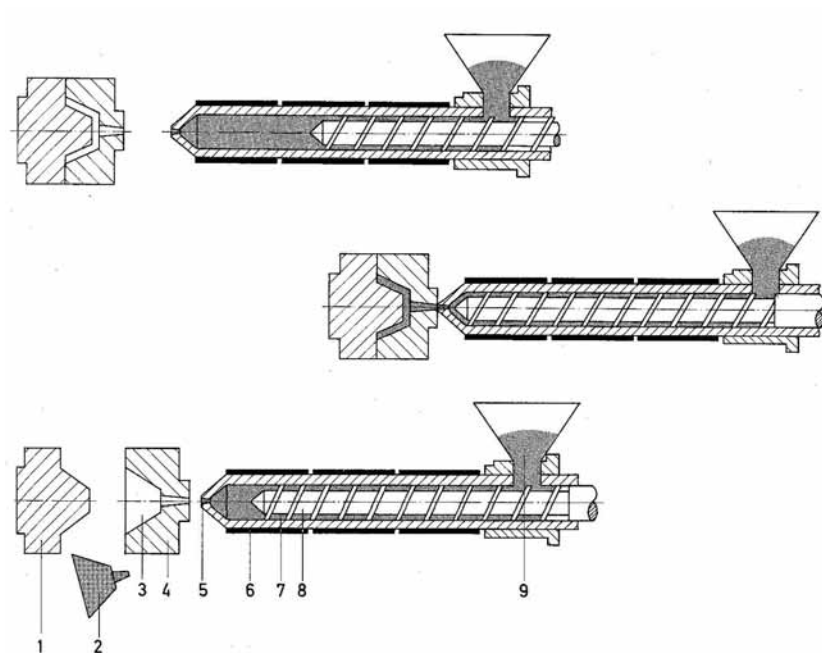


Вальцовые экструдера



## Литье порошковых смесей

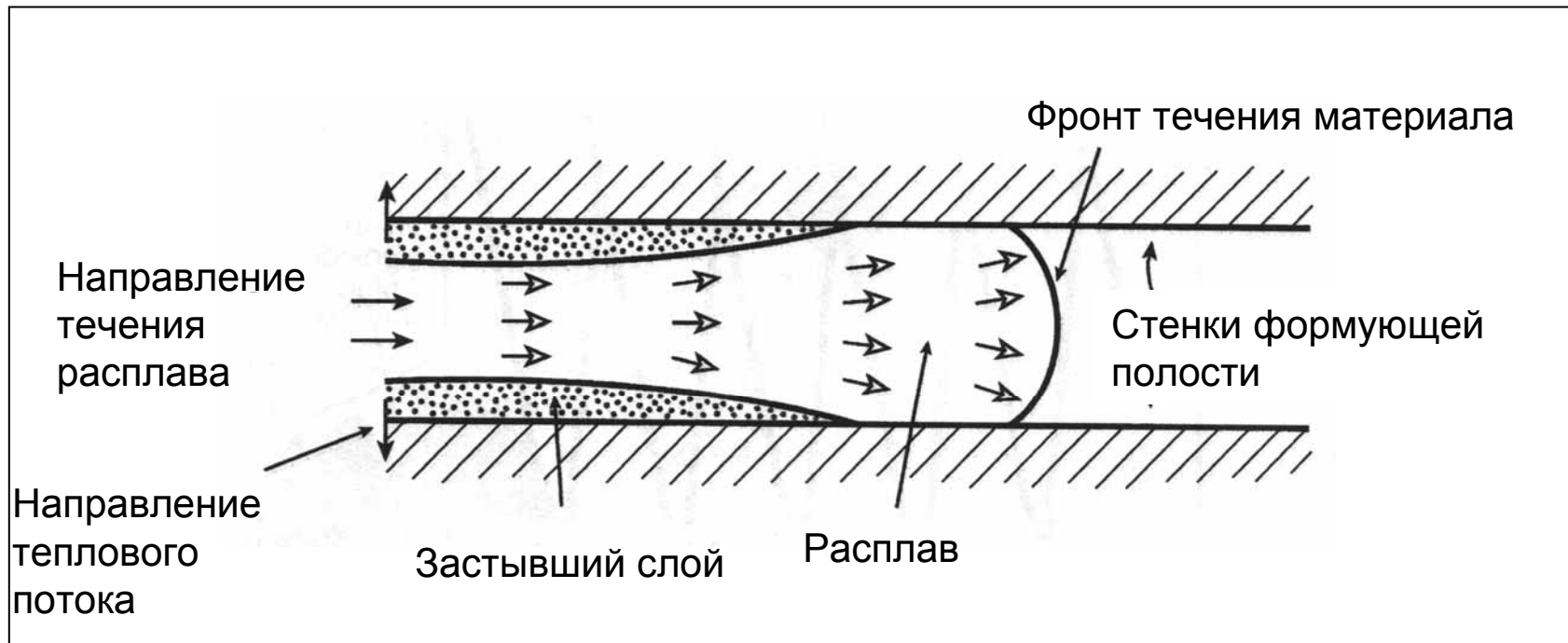
### Процесс впрыска



- 1 П/ф
- 2 Изделие
- 3 Формующая полость
- 4 П/ф
- 5 Сопло
- 6 Нагреватели
- 7 Материальный цилиндр
- 8 Шнек
- 9 Бункер

## Литье порошковых смесей

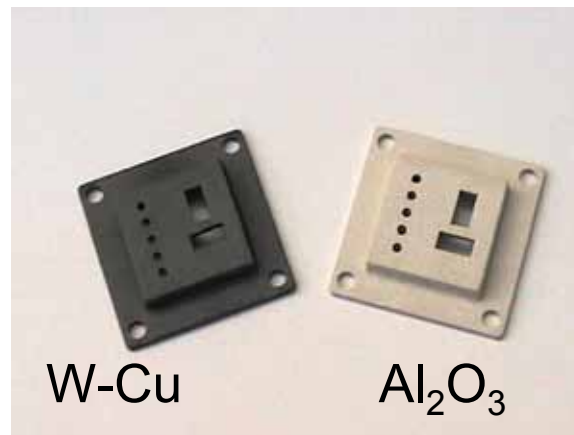
### Процесс впрыска



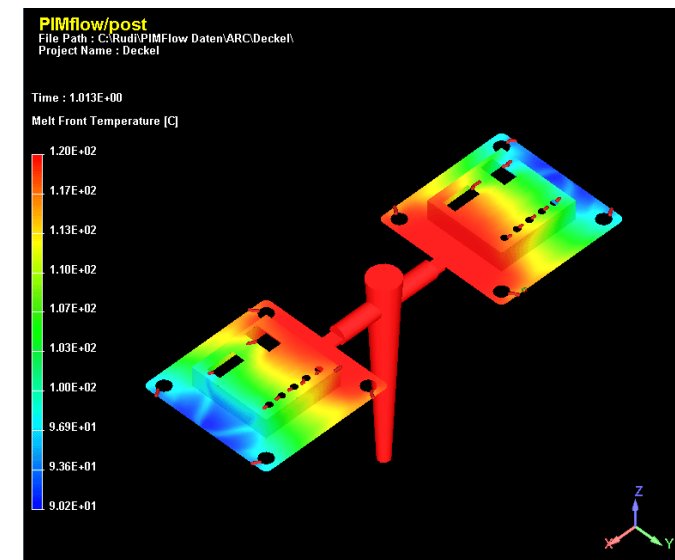
## Литье порошковых смесей

### Процесс впрыска

#### Симуляция фазы заполнения



Источник: ARCS

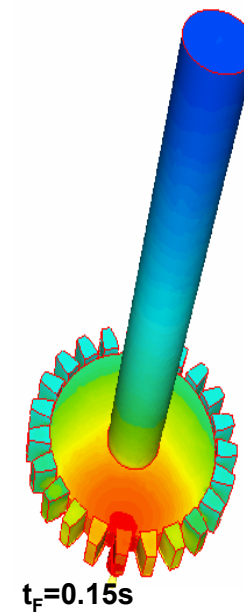
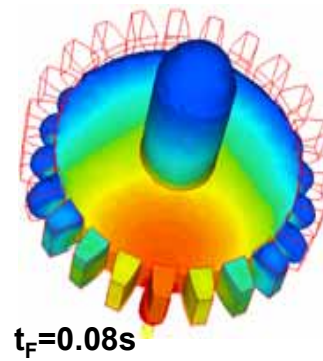
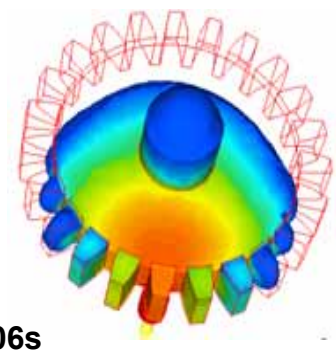
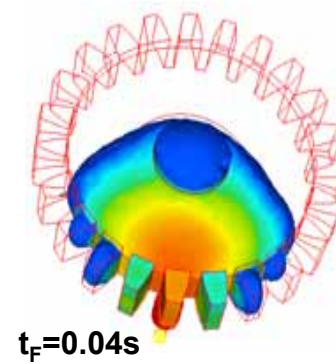
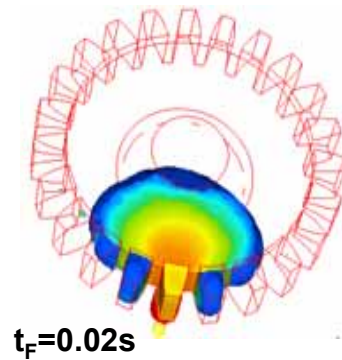
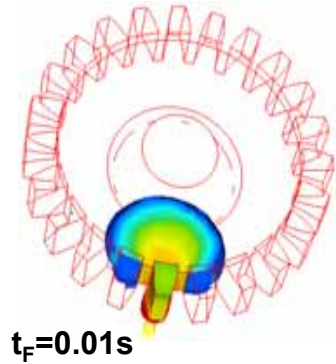


Источник: ARCS (PIM solver)

## Литье порошковых изделий

### Процесс впрыска

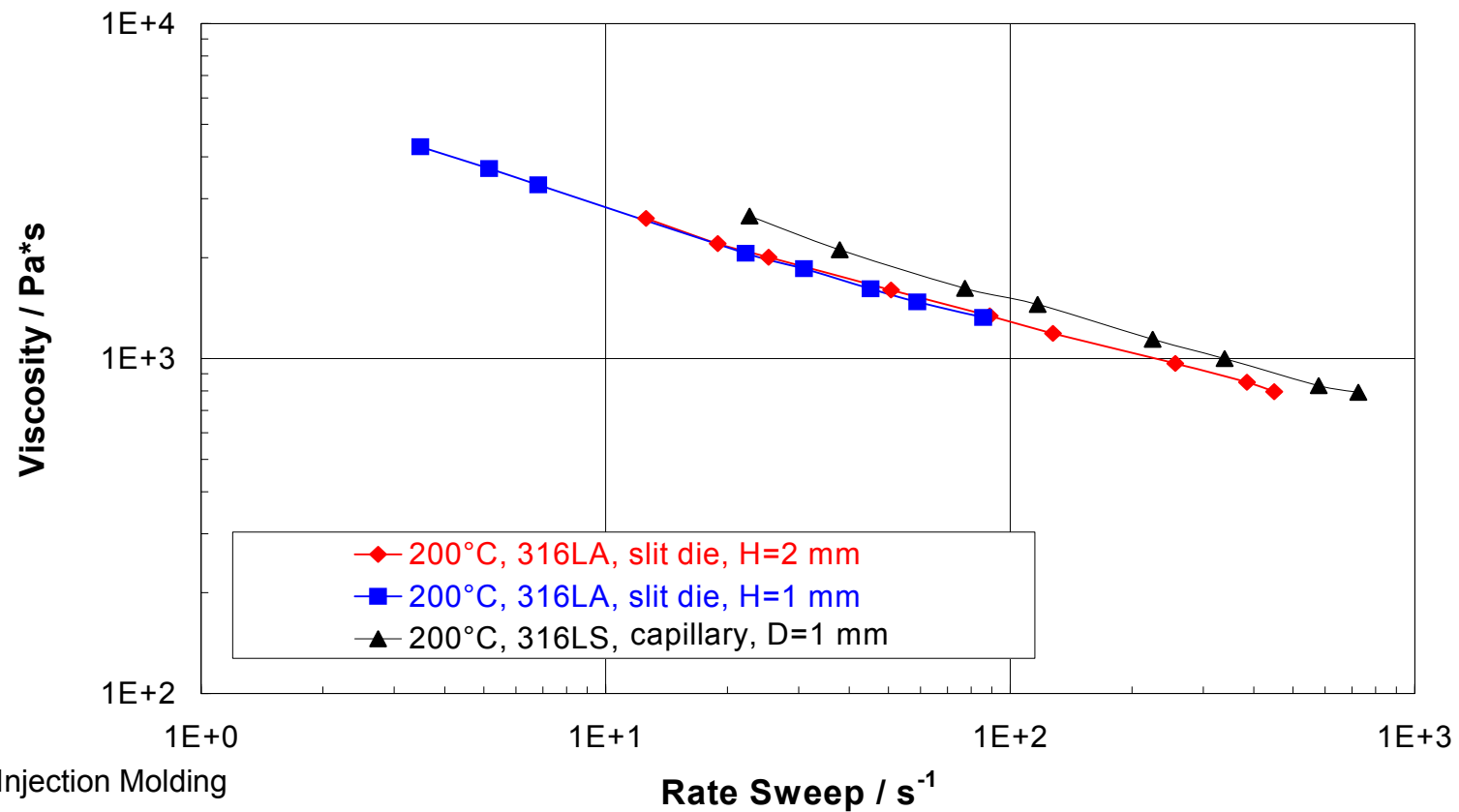
Симуляция фазы заполнения



## Литье порошковых смесей

### Процесс впрыска

### Симуляция фазы заполнения

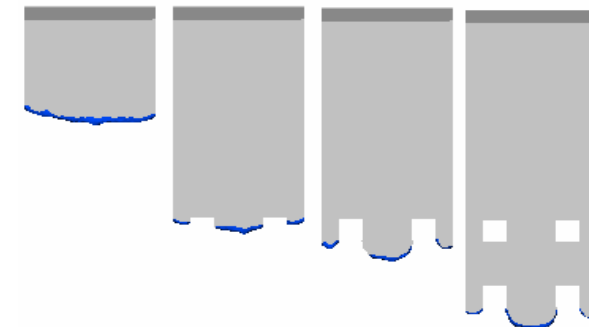
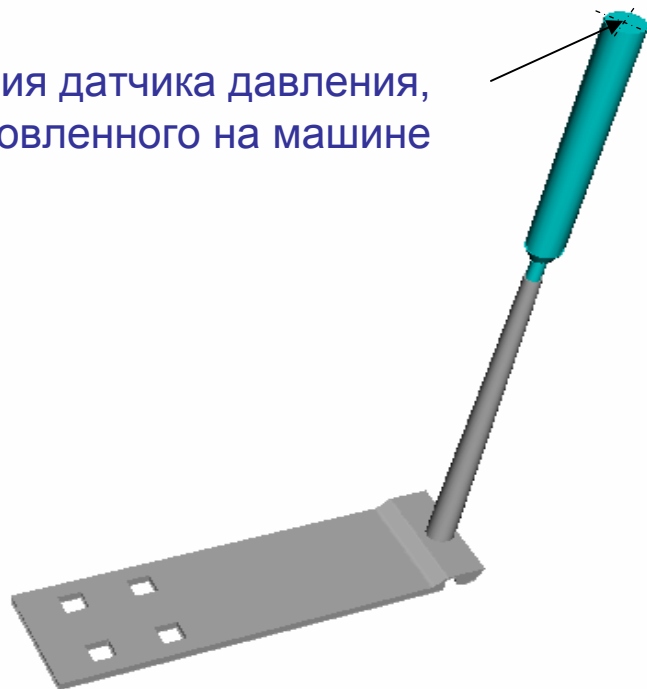


## Литье порошковых смесей

### Процесс впрыска

Симуляция фазы заполнения

позиция датчика давления,  
установленного на машине



время, сек: 0,55    0,67    0,69    0,75

## Литье порошковых смесей

### Процесс литья

### Симуляция фазы заполнения

#### КАКУЮ ПРАКТИЧЕСКУЮ ИНФОРМАЦИЮ МОЖНО ПОЛУЧИТЬ ?

3D-flow симуляция при помощи Moldflow Plastics Insight™ (MPI™)

- Аппроксимация течения гомогенного однофазного расплава
- Оценка возможности появления эффекта дегомогонизации – расслоения фаз порошка и связующего
- Оценка вероятности появления линии стыка

#### ЧТО ЯВЛЯЕТСЯ НЕПРАКТИЧНЫМ?

Моделирование мультифазного потока

- Моделирования течения частиц
- Моделирование механизма разделения фаз  
(на разделение фаз влияют – геометрия, материал и условия процесса)

Литье порошковых смесей

Полностью электрический ТПА для РИМ



- Модуль автоматизации
- Изделие выкладывается на лоток для спекания

## Литье порошковых смесей

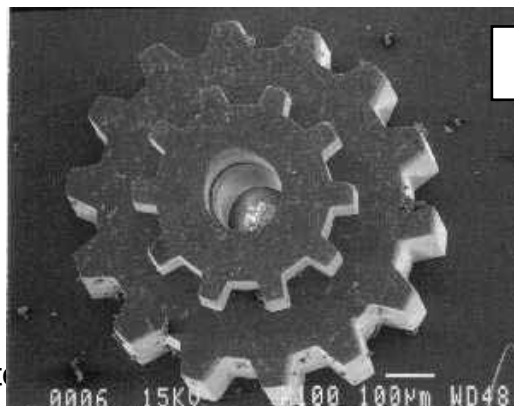
### Оборудования для PIM



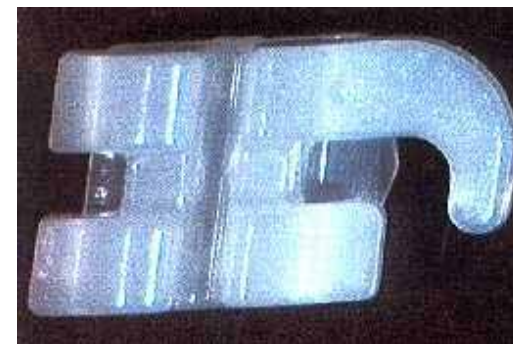
Традиционный PIM



Специальный процесс и высокая точность



Микролитье



## Литье порошковых изделий

### Требования к оборудованию

- Износостойкий шнек и материальный цилиндр
- Специальная геометрия шнека зависящая от “Feedstock”
- Автоматизация съема изделий – *из-за высокой хрупкости «зеленый» компонент не должен выпадать из пресс-формы*
- Специальных бункер - *плотность Feedstock в несколько раз выше плотности обычных пластиков*
- Статистический контроль и специальный контроль качества
- Специальный температурный контроль зоны загрузки
- Опционально: возможность выталкивания при открытой двери оператора

## Литье порошковых смесей

### Характеристики оборудования

Следствие высокой абразивности материала



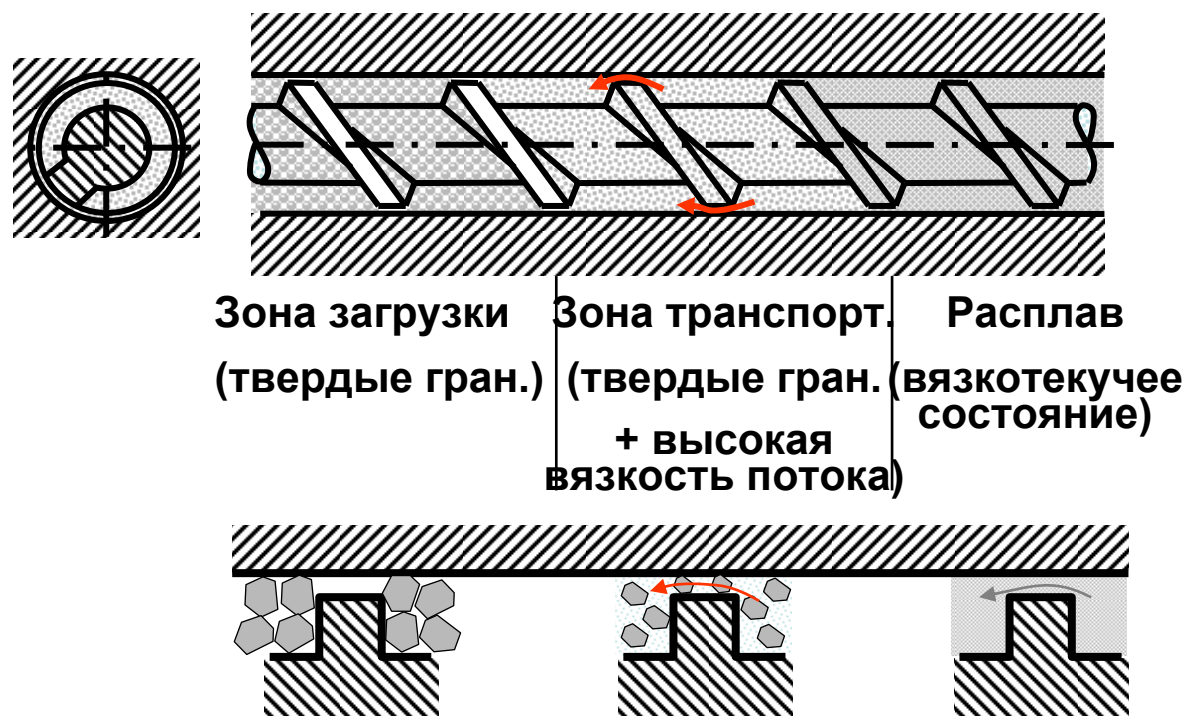
Износ шнека в процессе MIM

(длительность эксплуатации ~ 1 год)

## Литье порошковых изделий

### Характеристики оборудования

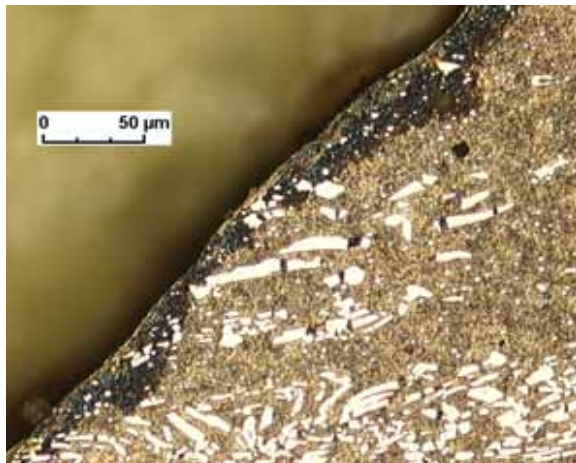
#### Механизм износа



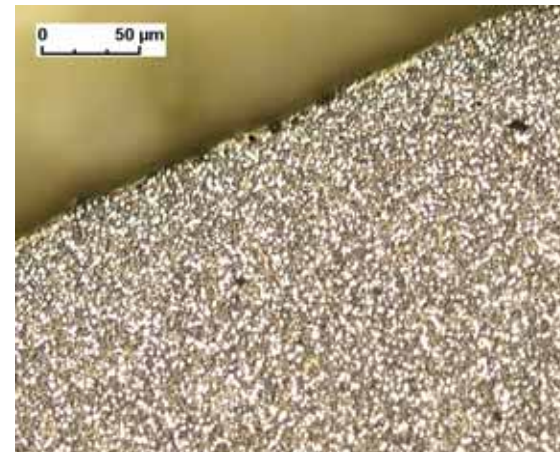
## Литье порошковых смесей

### Характеристики оборудования

#### Сравнение сталей с разными степенями сопротивления абразивным материалам



Обычная сталь



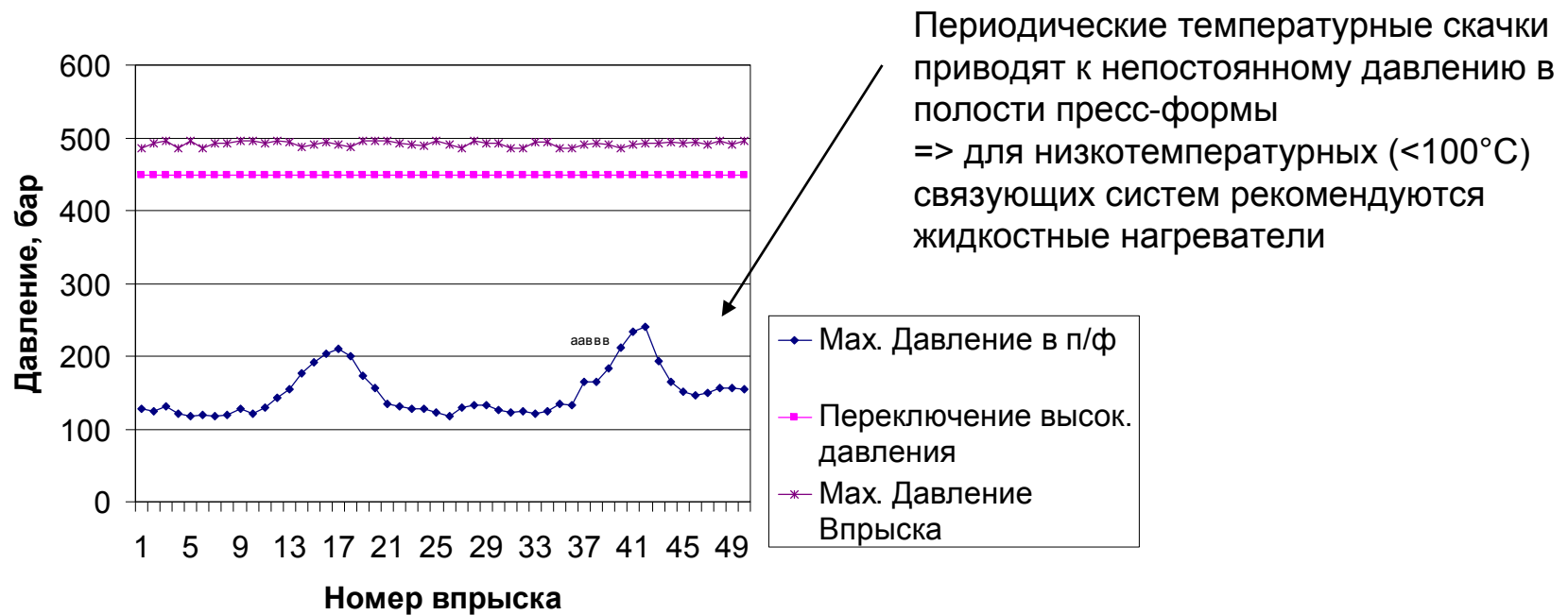
Специальная высокосортная сталь

Высокая износостойкость

## Литье порошковых смесей

### Характеристики оборудования

#### Электрические или жидкостные нагреватели



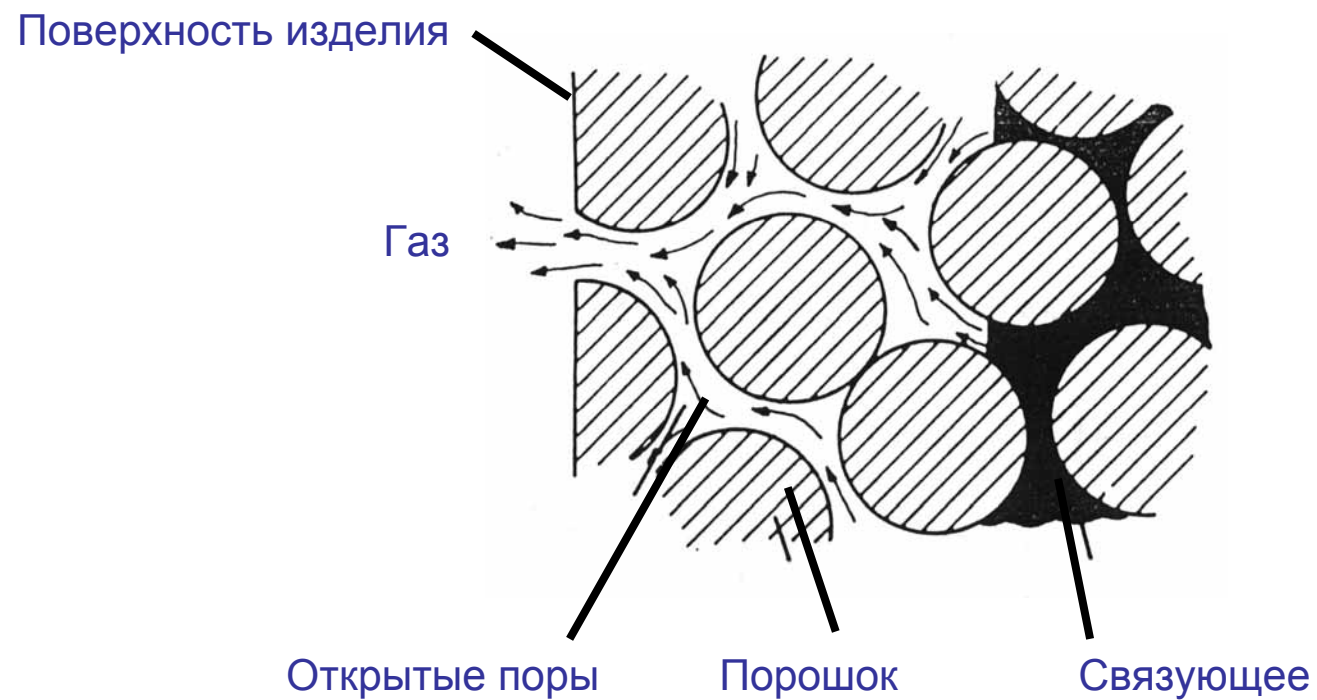
## Литье порошковых смесей

### Удаление связующего

Тип процесса	примерное время
Термическим путем	10 - 30 ч
При помощи катализатора	2 - 6 ч
При помощи растворителя	2 - 3 ч

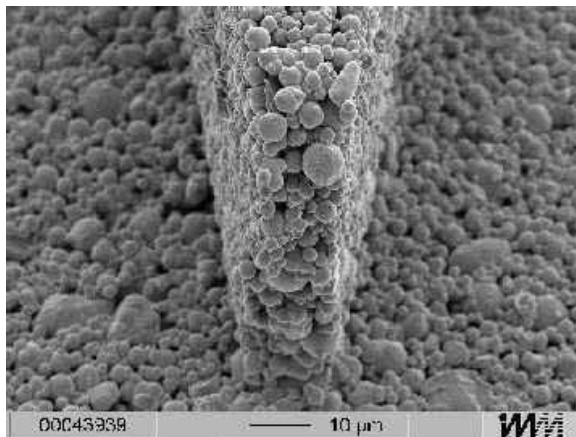
## Литье порошковых смесей

### Удаление связующего

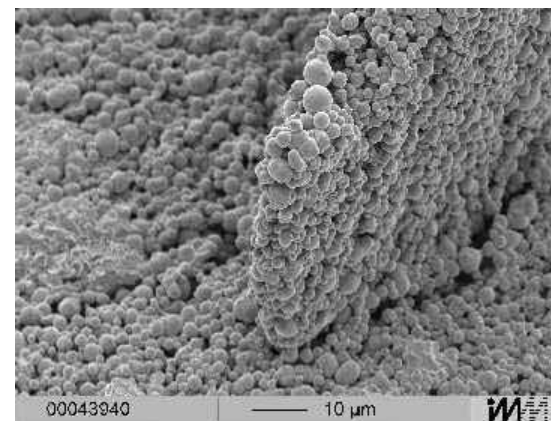


## Литье порошковых смесей

### Влияние размера частиц на процесс заполнения полости пресс-формы



$d_{90} < 30 \mu\text{m}$

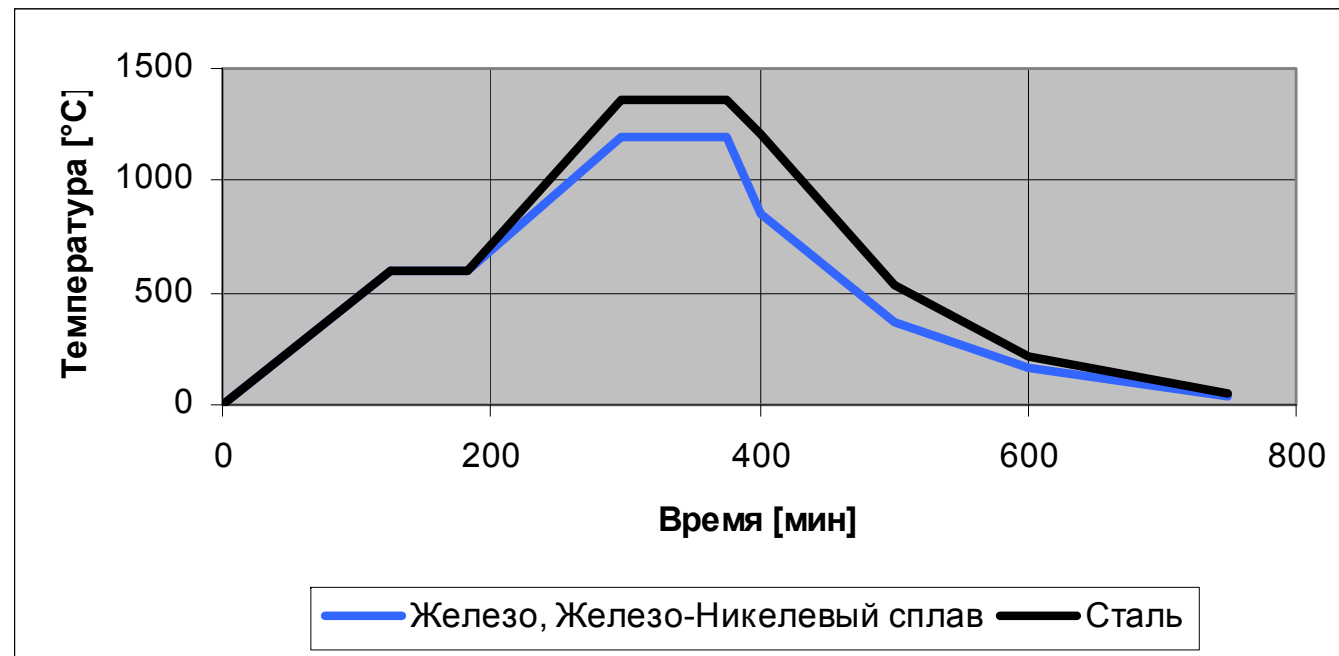


$d_{90} < 11 \mu\text{m}$

Параметр  $d_{90}$  означает средний радиус 90% частиц

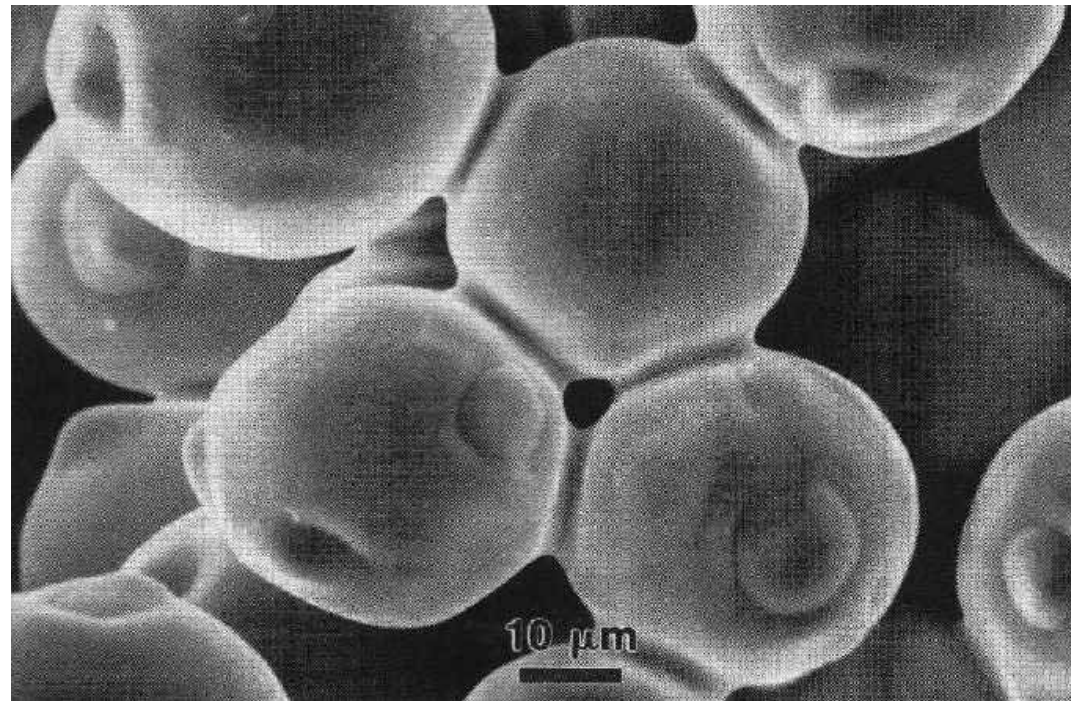
## Литье порошковых смесей

### Температурная кривая в процессе спекания



## Литье порошковых смесей

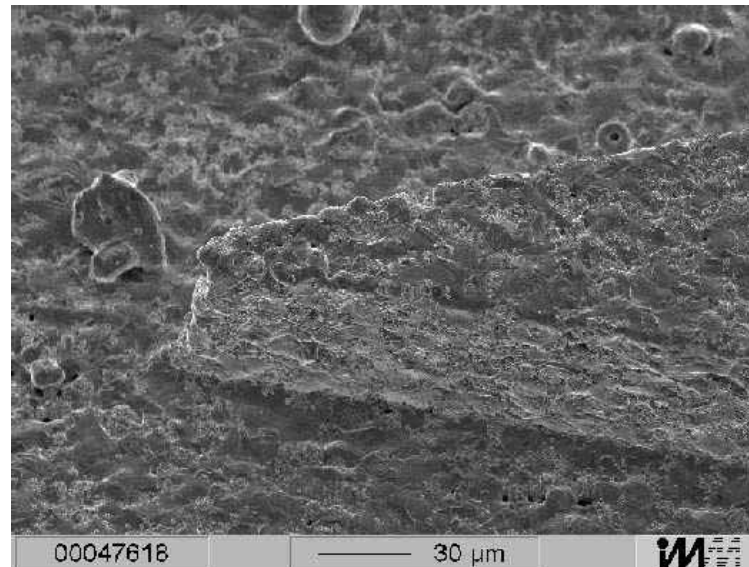
### Процесс спекания



**В процессе спекание происходит не полное расплавление а коагуляция частиц т.е. уменьшение общей поверхности частиц**

Литье порошковых смесей

Изделие после спекания

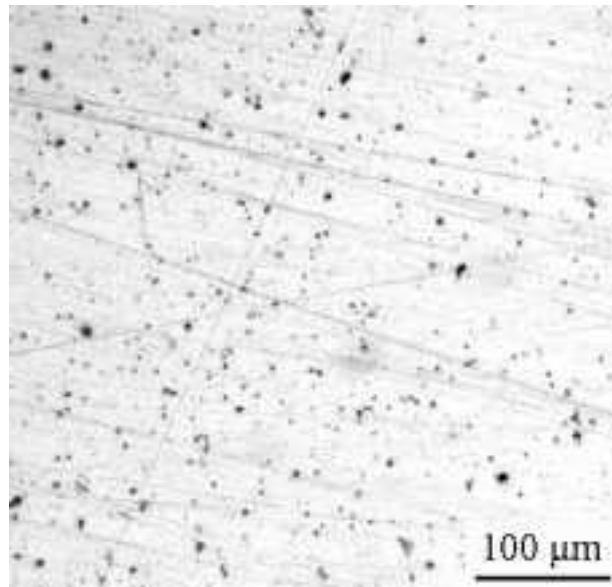


**Catamold 316LS,  $d_{90} < 11 \mu\text{m}$**

(Источник: IFWT, Vienna; IMM, Mainz)

## Литье порошковых смесей

### Структура материала после спекания



Материал: Сталь марки 316L

Параметры спекания:

- 2 часа

- 1360°C при H<sub>2</sub>

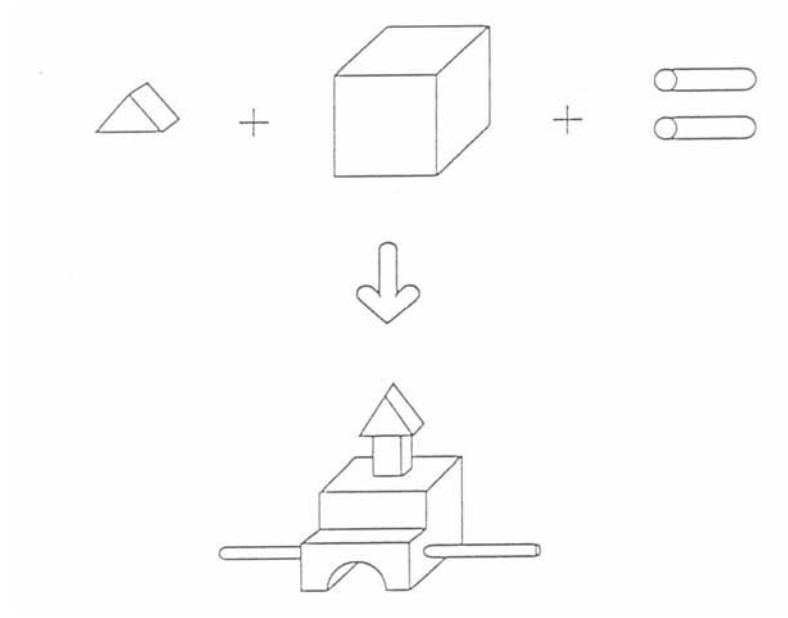
## Литье порошковых материалов

### Допуски

Допуски для изделий		
Параметр	Среднее значение	Макс. значение
Основные размеры	0,1 мм	0,04 мм
Размеры	0,3%	0,05%
Вес	0,4%	0,1%
Диаметр отверстий	0,1%	0,04%
Расстояние между внутренними секциями	0,3%	0,1%
Углы	2°	0,1°
Отклонения по плоскости	0,2%	0,1%
Параллельность	0,3%	0,2%
Цилиндричность	0,3%	0,3%
Прямоугольность	0,2% / 0,3°	0,1% / 0,1°
Шероховатость	0,3 μм	0,01 μм
Плотность	1%	0,2%

Литье порошковых смесей

Интегрирование элементов сложной формы в одном изделии



## Литье порошковых смесей

### Правила проектирования

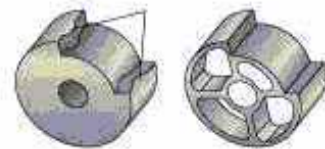
Избегайте излишков материала



Наружная резьба со вспомогательным каналом



Утяжины



Сокращайте толщину стенки для экономии материала и денег

## Литье порошковых изделий

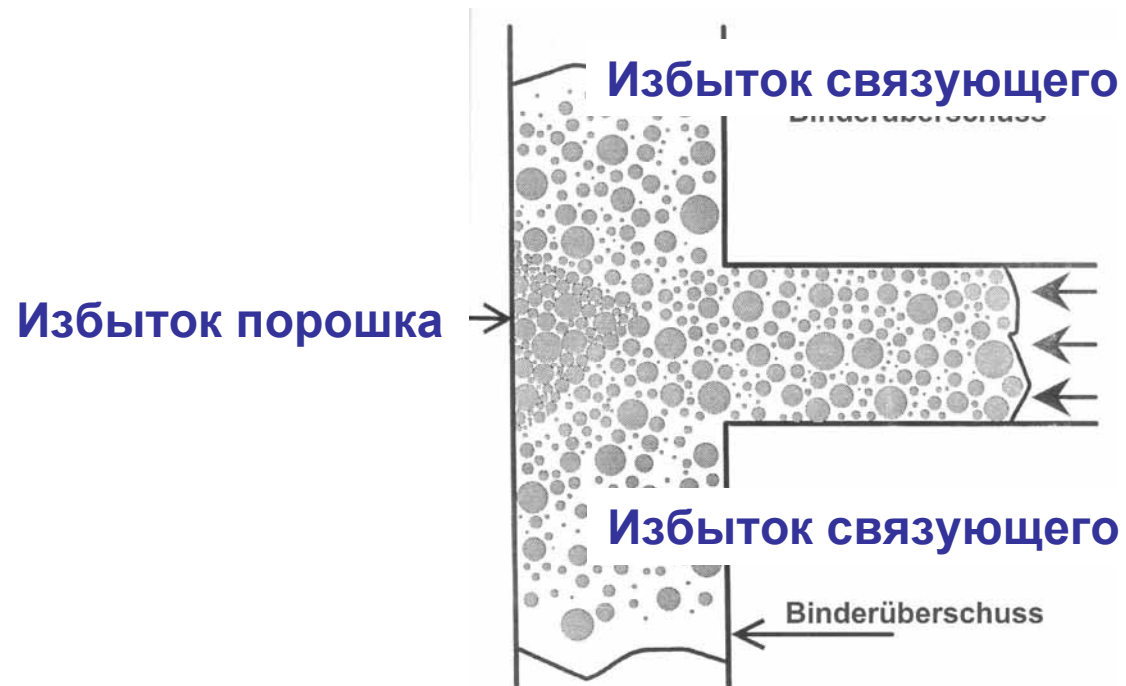
### Особенности дизайна пресс-формы

- Высокая износостойкость
- Каналы большого диаметра и закругленной формы для предотвращения расслоения смеси
- Съём изделий роботом или вручную

<b>Основные рекомендации при проектировании</b>	
<b>Угол уклона</b>	<b>0,5° - 2°</b>
<b>Толщина стенки</b>	<b>1,3 – 6,5 мм</b>
<b>Ребра жесткости</b>	<b>0,5 – 0,7 от толщины стенки</b>
<b>Наружные скругления</b>	<b>0,4 – 0,8 мм</b>

## Литье порошковых смесей

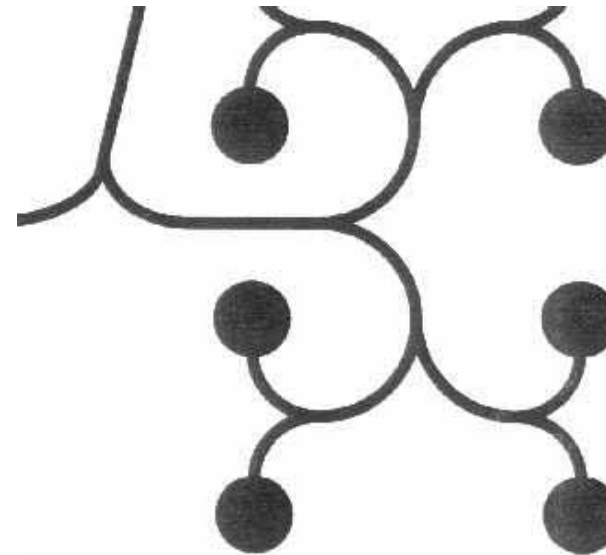
### Пример дегомогонизации порошка и связующего



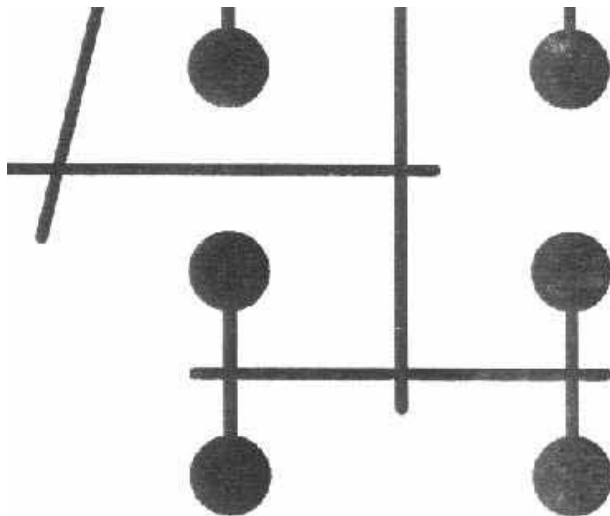
## Литье порошковых изделий

### Система каналов в п/ф

Закругленные углы –  
высокое качество изделий



Резкие углы – расслоение фаз  
порошка и связующего



## Литье порошковых смесей

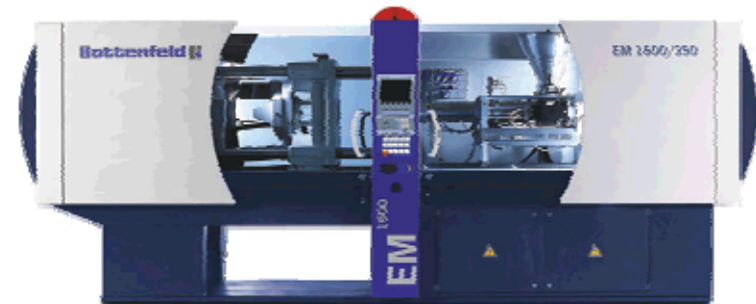
## Металлические изделия высокой прочности

### Изделия с микроточностью

- Нормальный размер
- Высочайшая точность (микронные допуски)



Головка фрезы для обработки  
твердых сплавов  
(Источник: Seco Tools AB)



Полностью электрический ТПА для  
обеспечения высокой точности и  
повторяемости

3-σ объем:

Объем впрыска:  $\pm 0,002 \text{ cm}^3$

Допуски при спекании:  $\pm 0,005 \text{ mm } (\pm 0,01\%)$

## Литье порошковых смесей

## Образцы изделий



Источник: Fa. Schunk Sintermetall GmbH

## Литье порошковых смесей

### Образца изделий



*Mikrogetrieberäder  
MP-S-0004 bzw. MECO® 21*



*Raumgitter MP-S-0001*

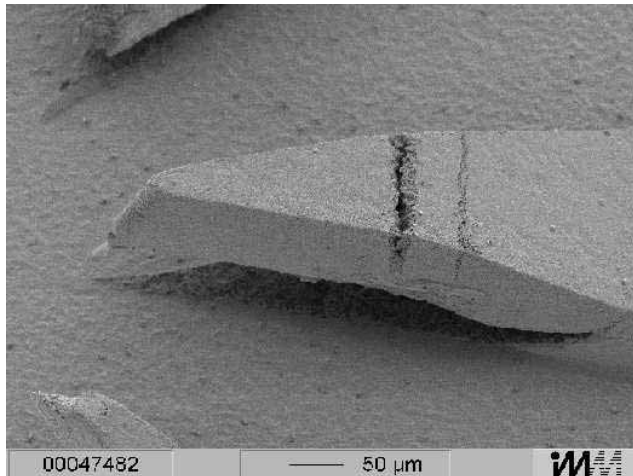


*3-Stufen-Planetenrad MP-S-0012*

Источник: Schunk Sintermetall GmbH

## Литье порошковых смесей

### Повреждения во время выталкивания



(Источник: IFWT, Vienna; IMM, Mainz)

Данный тип повреждений можно избежать  
используя специальную систему съема



## Литье порошковых смесей

### Типы дефектов



**Благодарим за ваше внимание**

Для более подробной информации посетите наш сайт [www.battenfeld-imt.com](http://www.battenfeld-imt.com)

---