



Лекция

# ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК МЕТОДОМ ЛИТЬЯ НА ОСНОВУ

Доцент кафедры ТСН ИФВТ НИТПУ  
к.т.н. Александр Дитц

# Сравнение свойств применяемых материалов

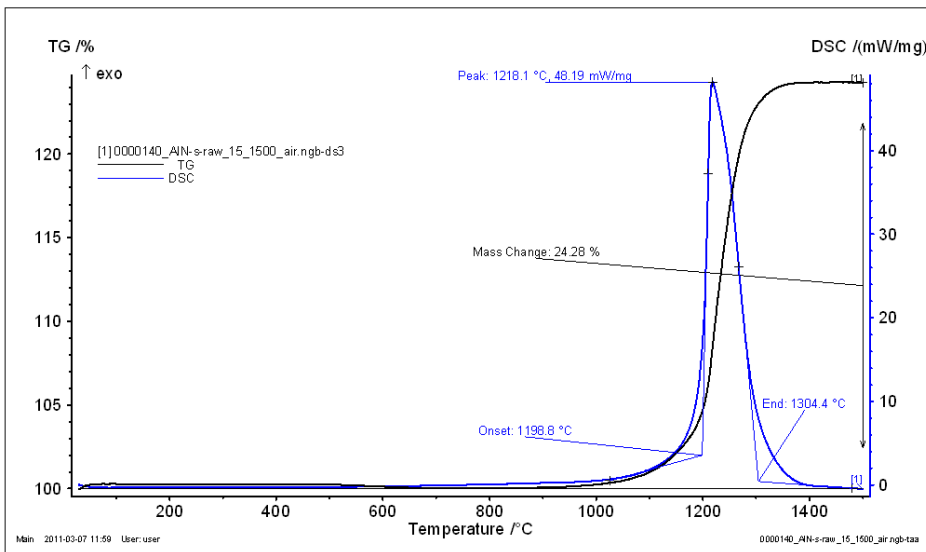


Характеристика	AlN	BeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Кристаллическая структура	Гексагональная	Гексагональная	Ромбоэдрическая
Плотность пикнометрическая, кг/м <sup>3</sup>	3270	2700	3800
Температура плавления, °С	2400	2578	2050
Теплопроводность, Вт/(м*°С)	160÷260	150÷250	25÷30
Электрическая прочность, кВ/мм	14÷17	10	10
Коэффициент термического расширения (100÷500°С), 10 <sup>6</sup> , °С <sup>-1</sup>	4,5-5	8	7,3
Твердость по Моосу	9	-	9
Прочность на изгиб, МПа	250-300	170-230	300-350
Удельное электросопротивление, (при 25 °С), Ом*м	>10 <sup>12</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup>
Диэлектрическая постоянная, (при 1 МГц)	9	8	9-10

# Строение и свойства нитрида алюминия

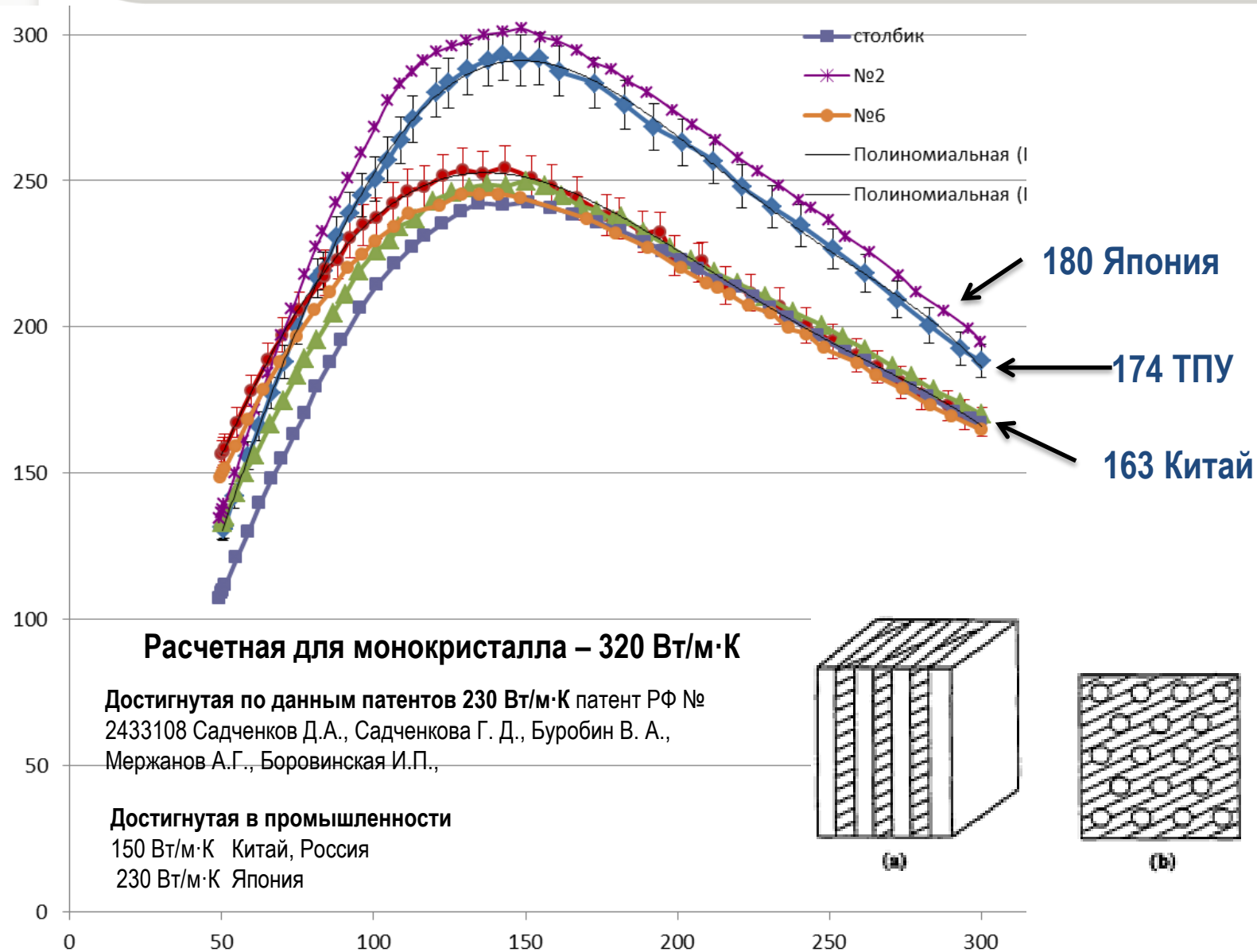


- Стойкость к воде - порошок низкая, керамика высокая
- Стойкость к действию кислот – порошок средняя, керамика высокая
- Стойкость к действию щелочей - порошок низкая, керамика средняя
- Стойкость к окислению воздухом - порошок до 700°C, керамика до 1300 °C



- Стойкость к действию расплавов: алюминия; меди; других цветных металлов

# Строение и свойства нитрида алюминия

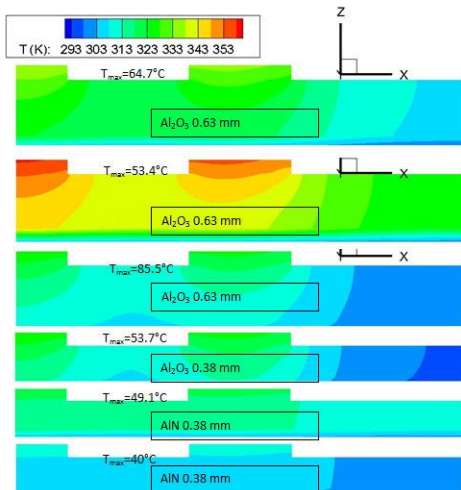


# Области применения



## Электронные приборы СВЧ-диапазона

### Светодиодные технологии



РЛС «Имбирь»



Тяжелый истребитель перехватчик СУ-27



ЗРК С-300

## Гибридные интегральные модули СВЧ-диапазона



Истребитель МИГ 29



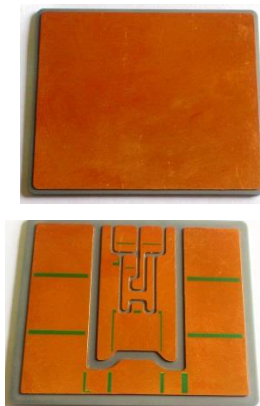
Мобильная РЛС



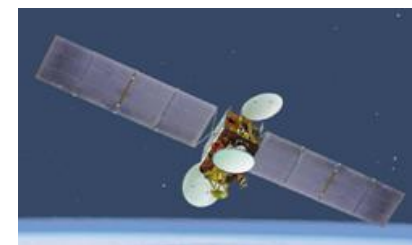
ЗРК «Тунгуска»



## Полупроводниковые приборы



Тяжелый авианосец проекта 11435

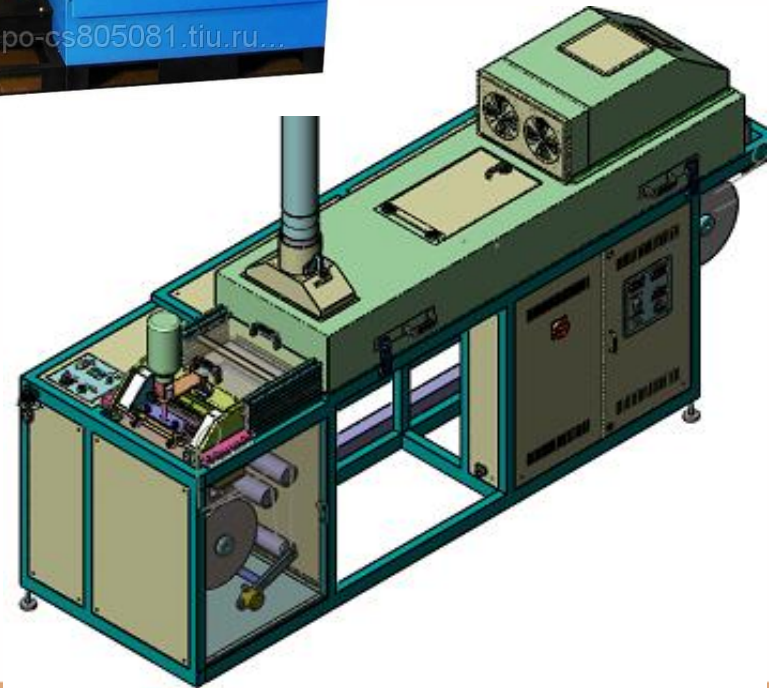


Спутник «Ямал»

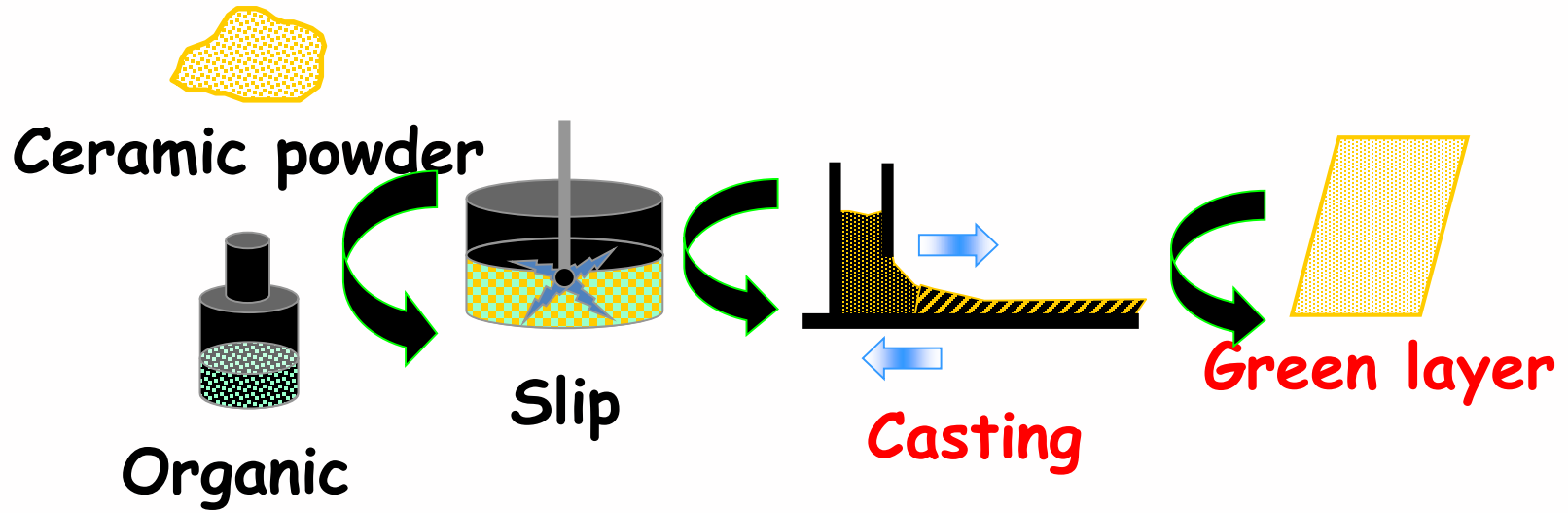
# Способы формования нитридной керамики



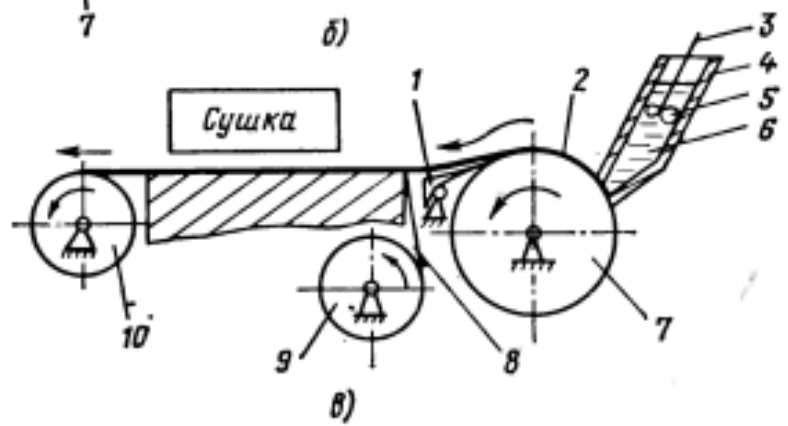
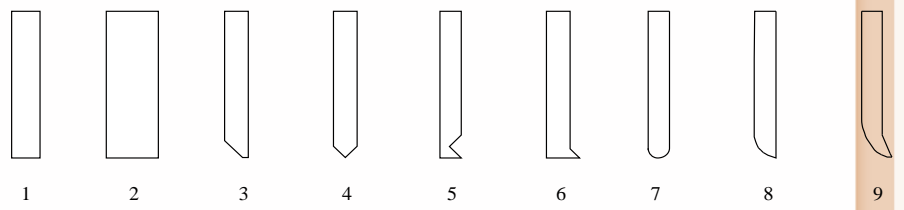
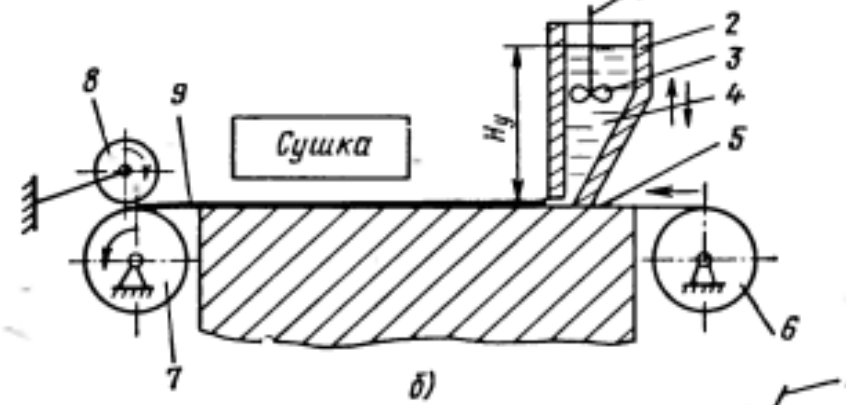
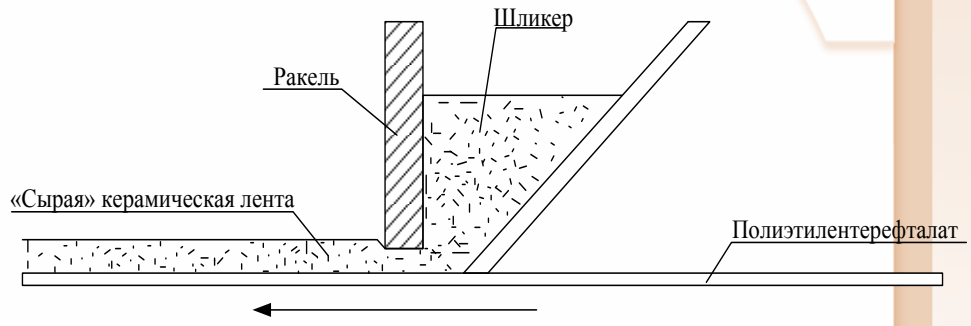
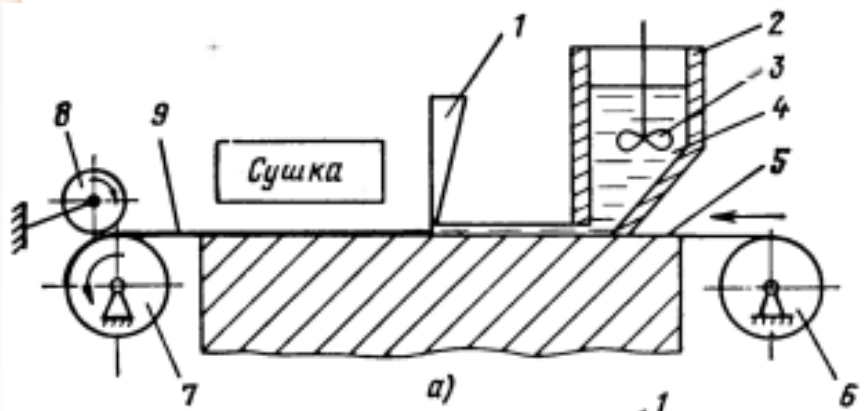
- Изостатическое прессование
- Горячее прессование
- Литье шликера на основу
- Инжекционное литье
- Горячее литье под давлением



# Принципиальная схема изготовления керамики методом шликерного литья



# Шликерное литье

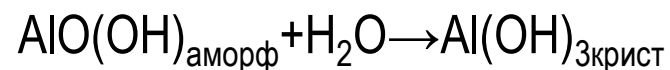
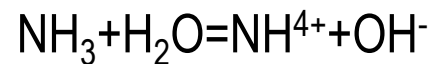




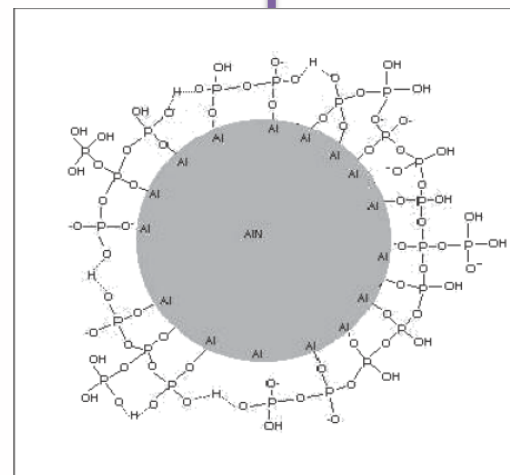
органические



неорганические



Защита нитрида алюминия –  
пассивация частиц



органические

неорганические

Параметр	Органические	Неорганические
Стоимость	+	-
Безопасность	-	+
Экологичность	-	+
Взаимодействия	-	+
Производительность	+	-
Содержание связки	10-15	10-13

# Состав шликера на органической основе



## Состав шликера:

- органическая вязка
- пластификатор
- растворитель
- керамический порошок
- диспергатор
- пеногаситель

## Органическая вязка

- поливинилбутираль (ПВБ)
- поливиниловый спирт (ПВС)
- поливинилацетат (ПВА)

## Растворители

- метилэтилкетон / этиловый спирт
- ацетон
- толуол / метилэтилкетон
- толуол / этиловый спирт
- орто-ксилол / этиловый спирт
- изобутиловый спирт
- метилэтилкетон / изопропиловый спирт

## Пластификаторы

- дибутилфталат (ДБФ)
- диоктилфталат (ДОФ)
- глицерин
- полиэтиленгликоль (ПЭГ)

# Требования к материалам



## Керамические полидисперсные порошки:

- Содержание основного вещества  $\approx 98-99\%$ .
- Содержание кислорода менее – 1 мас. %.
- Гранулометрический состав порошка  $D_{50}$ - менее 1 мкм.
- Обеспечивал высокие эксплуатационные свойства.

## Органическая связка:

- Совместимость с растворителем.
- Совместимость с пластификатором.
- Температуры удаления связки ниже начала окисления керамического порошка.
- Хорошее связующее свойство.

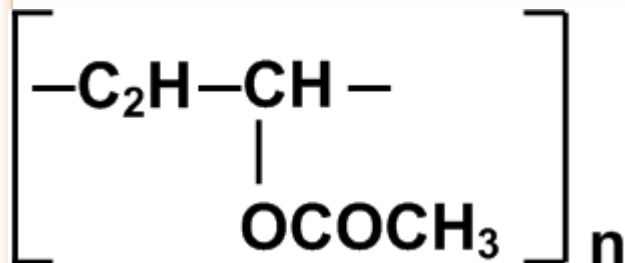
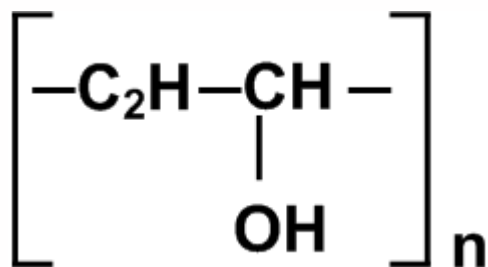
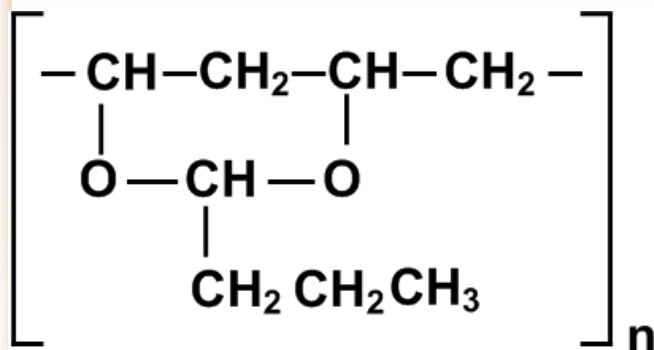
## Пластификатор:

- Совместимость с растворителем.
- Совместимость со связкой.
- Температуры удаления пластификатора ниже начала окисления керамического порошка.
- Хорошее пластифицирующее свойство.

## Растворитель:

- Совместимость с органической связкой.
- Совместимость с пластификатором.
- Не взаимодействовать с керамическим порошком.
- Низкая стоимость.
- Легкое удаление из ленты.

# Выбор материалов – органическая связка



## Поливинилбутираль ПВБ

Степень полимер	500 – 1600
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1100
Растворим	в спиртах, кетонах, слож. эфирах, хлор. углеводородах, этанола с бензолом
Не растворим	в бензине, диэтиловом эфире;

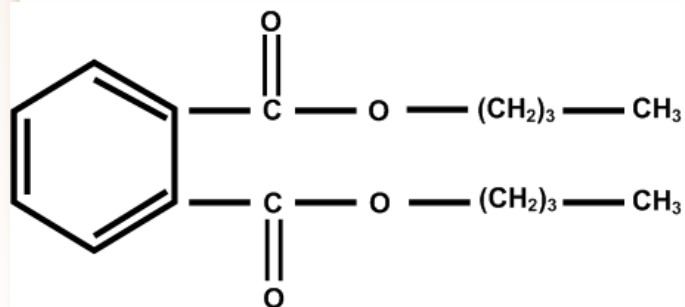
## Поливиниловый спирт ПВС

Степень полимер	500 – 5000
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1270 – 1300
Растворим	в воде
Не растворим	органических растворителях

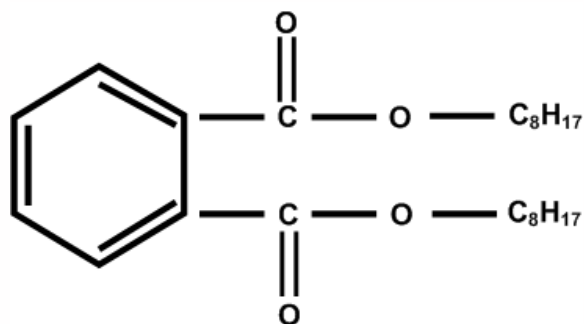
## Поливинилацетат ПВА

Степень полимер	1800 – 2000
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1100 – 1200
Растворим	уксусной кислоте, ацетоне, метаноле, этилацетате, бензоле, метилен-хлориде
Не растворим	в бензине, минеральных маслах

# Выбор материалов – пластификаторы



Дибутилфталат ДБФ	
Внешний вид	Прозрачная жидкость без механ. прим.
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1050
Растворим	в органических растворителях
малорастворим	в воде

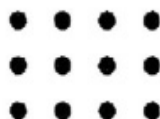


Диоктилфталат ДОФ	
Внешний вид	бесцветная или слегка желтоватая прозрачная маслянистая жидкость со слабым фруктовым запахом
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	980
Растворим	в органических растворителях

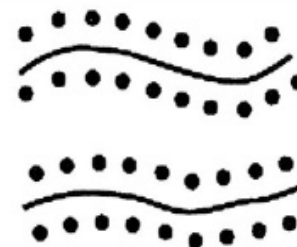


(a)

+

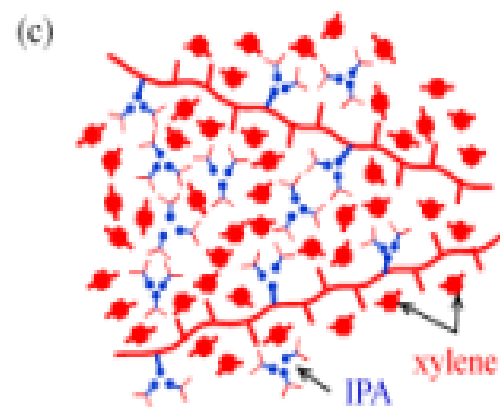
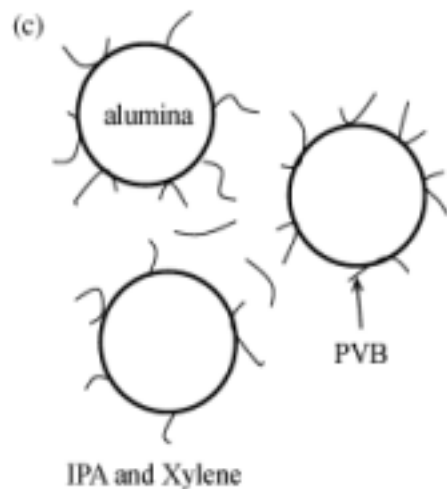
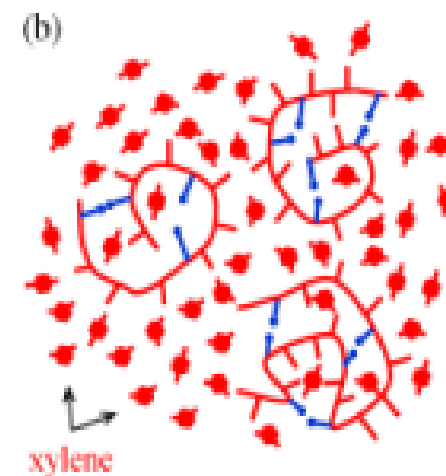
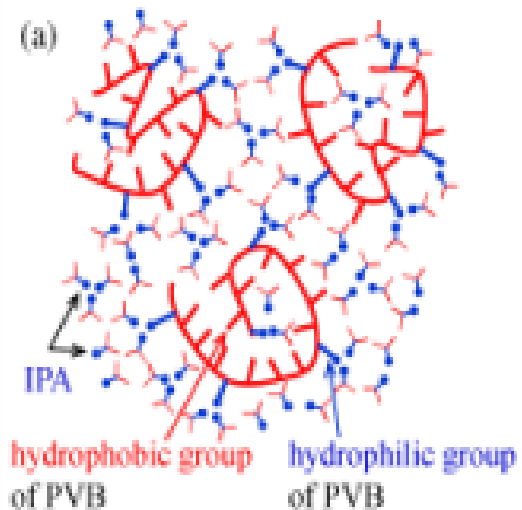
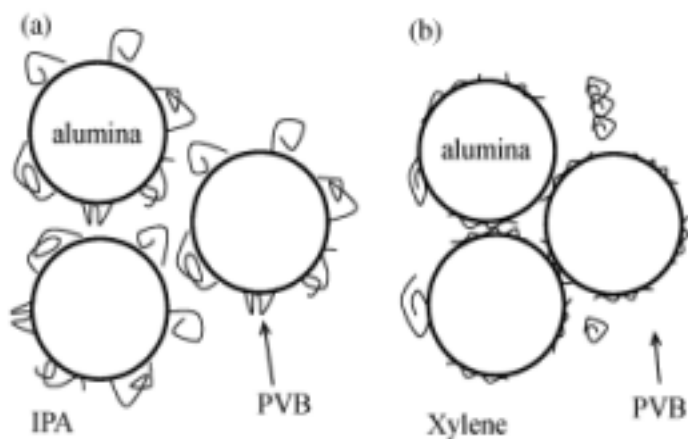


(b)

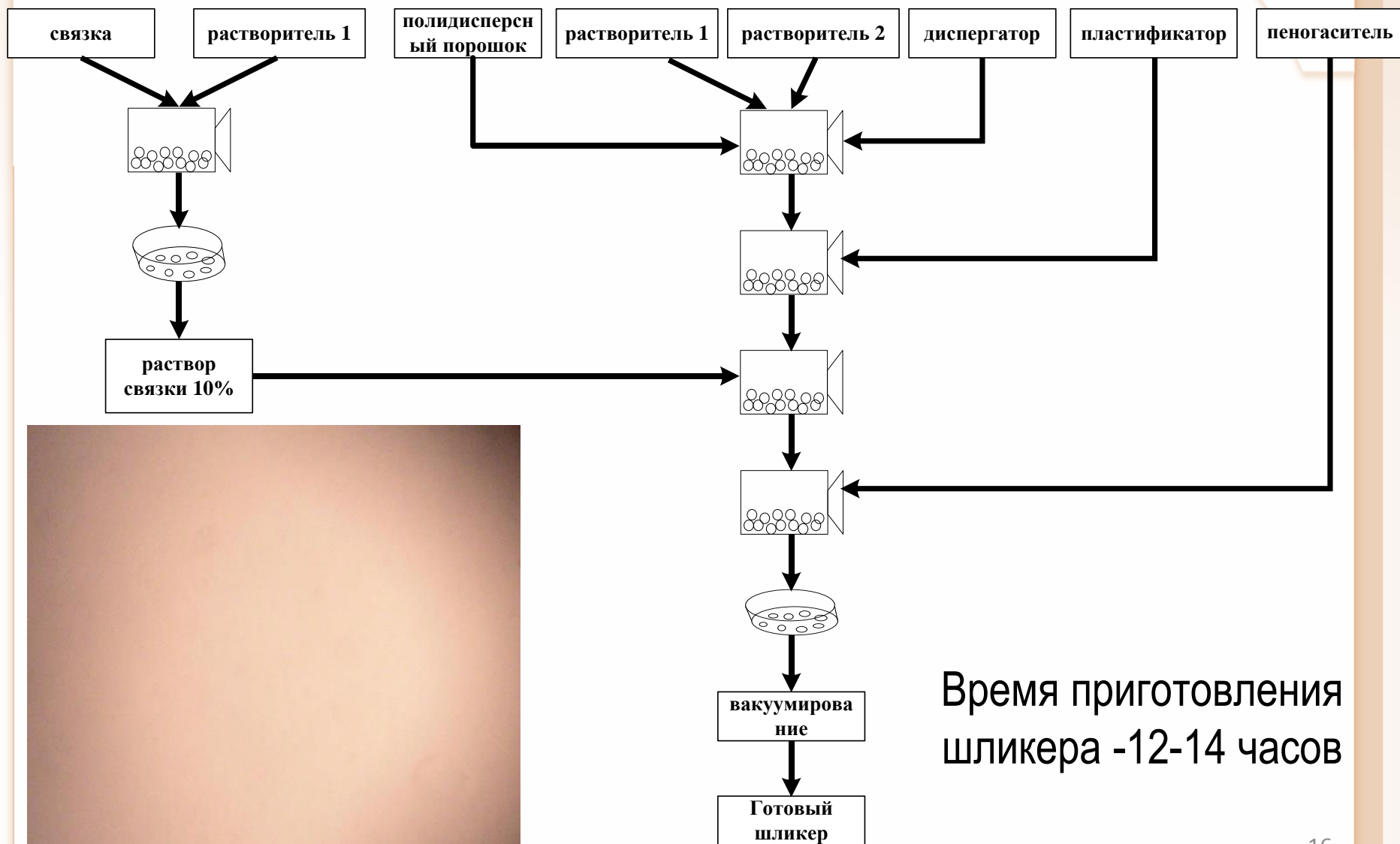


(c)

# Выбор материалов



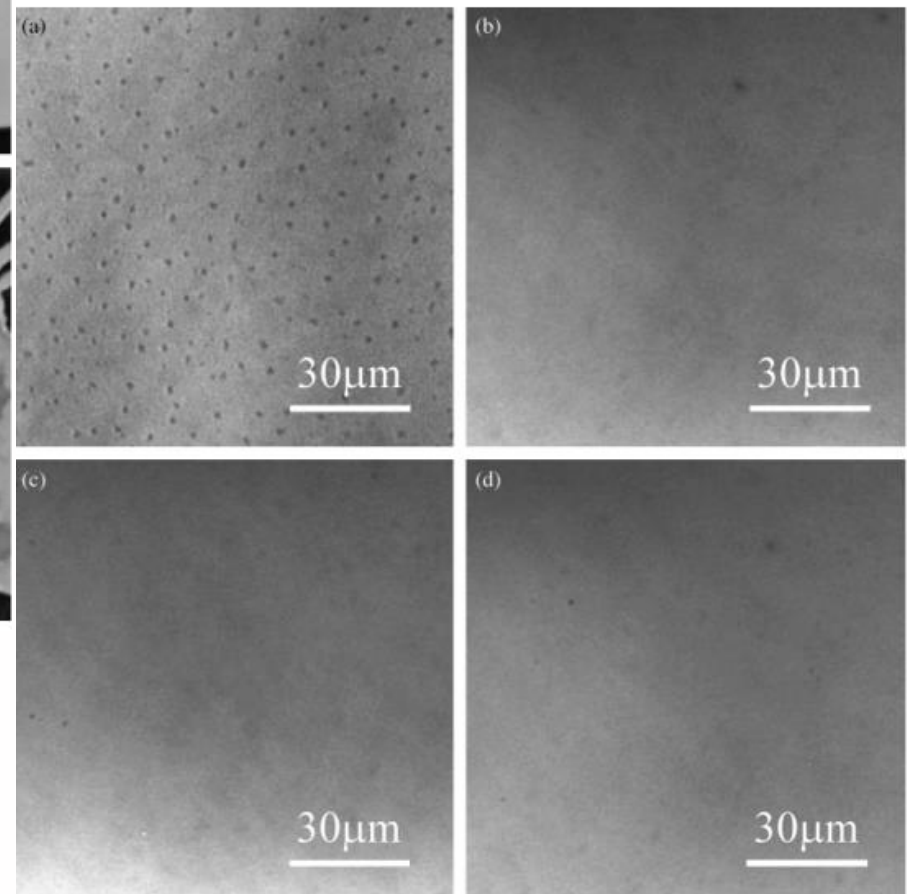
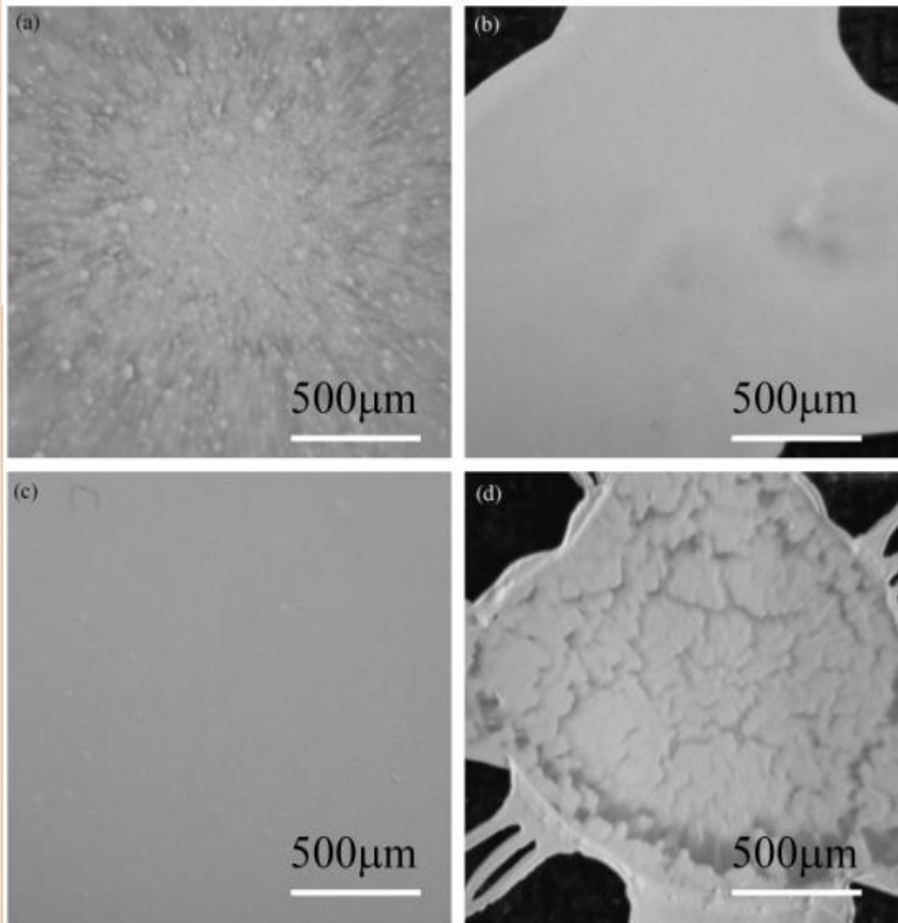
# Приготовление шликера для литья



Время приготовления шликера - 12-14 часов



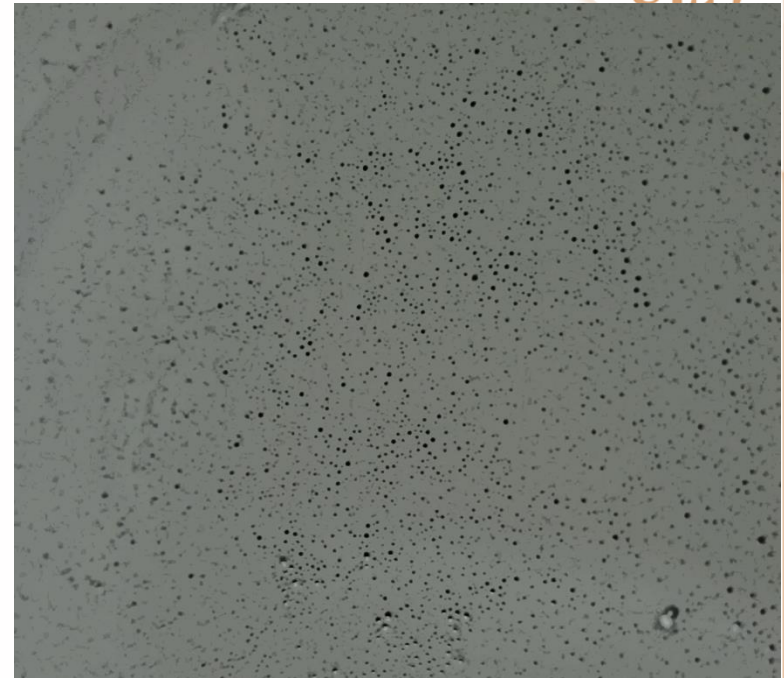
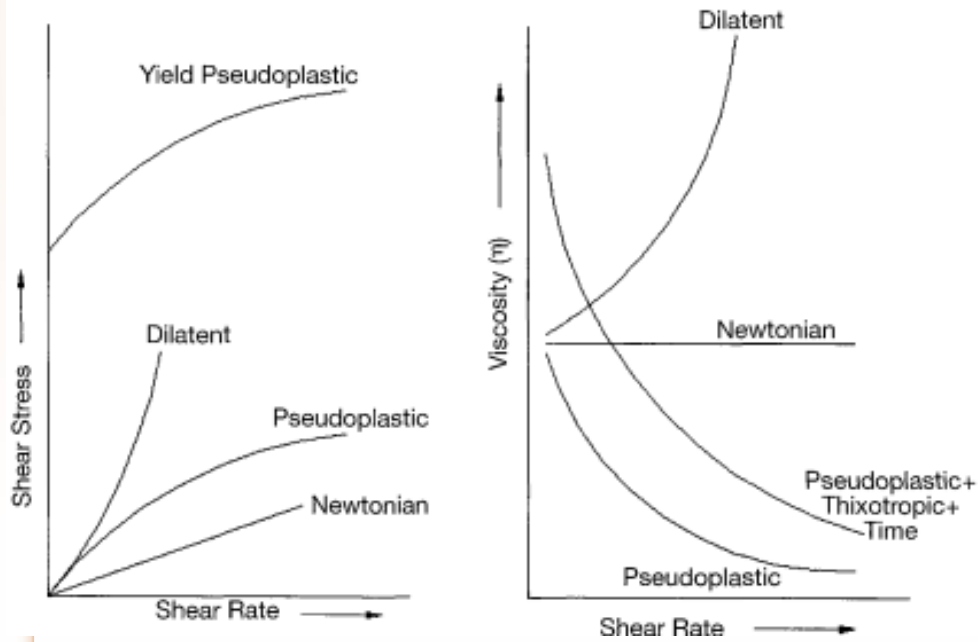
# Виды брака при приготовление шликера для литья



## Виды брака при литье ленты вызваны:

- неправильным подбором растворителя;
- неправильной последовательностью введения;
- неправильным режимом удаления газовых включений

# Шликер для литья

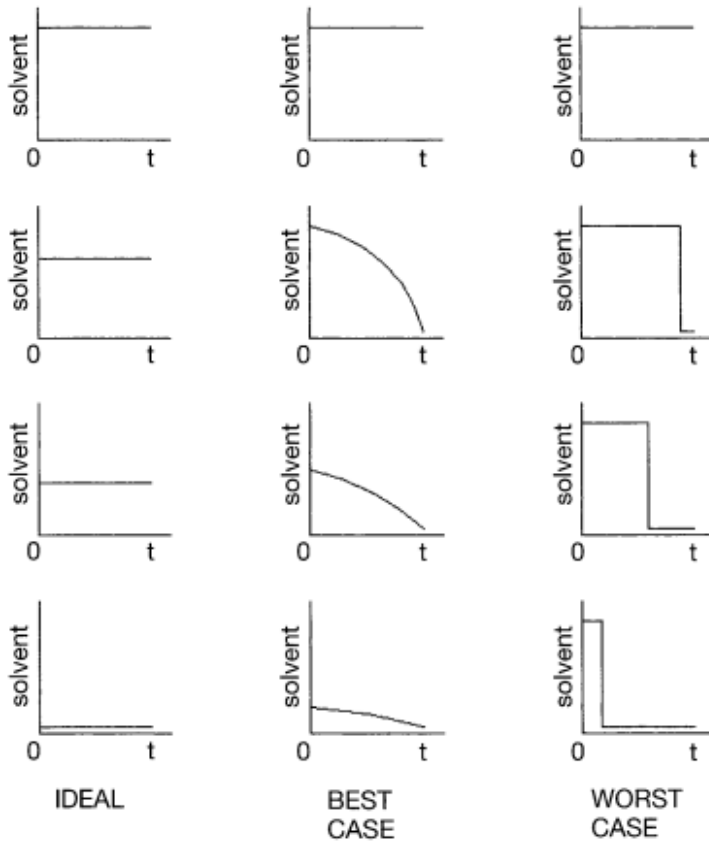


**До дегазации**

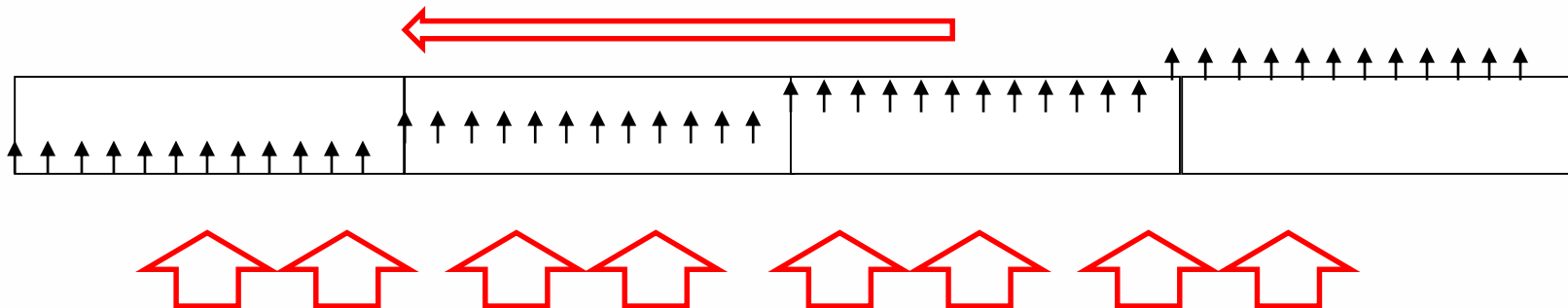


**После дегазации**

# Сушка отливой ленты



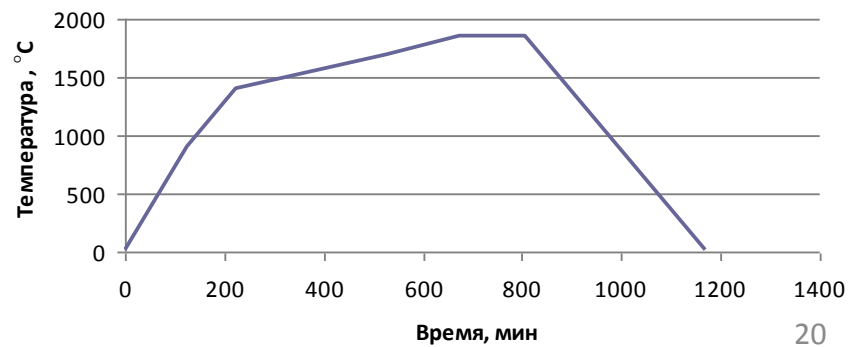
- Диффузия растворителя к поверхности (Влагопроводность, градиент температур)
- Удаление растворителя с поверхности (давления паров, индивидуальные свойства растворителя, влажность воздуха)

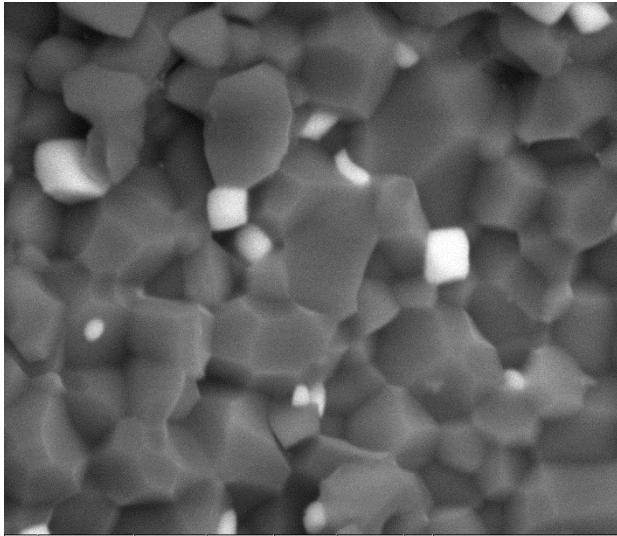


Спекание проводили в  
высокотемпературной печи  
при 1850 °С,  
атмосфера – азот

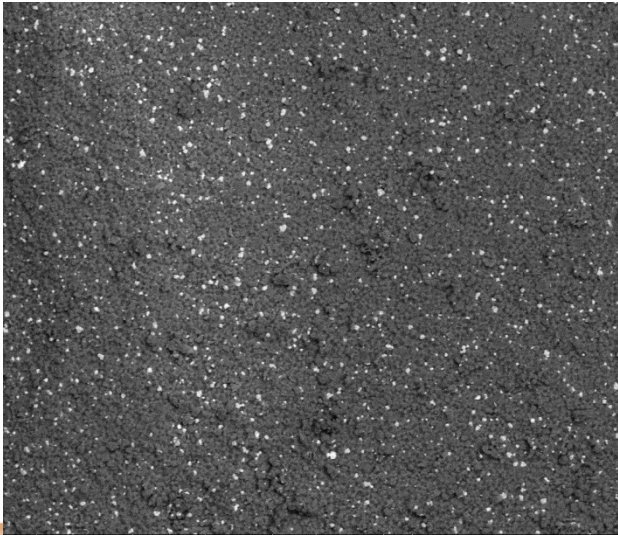


**Температурный график печи**



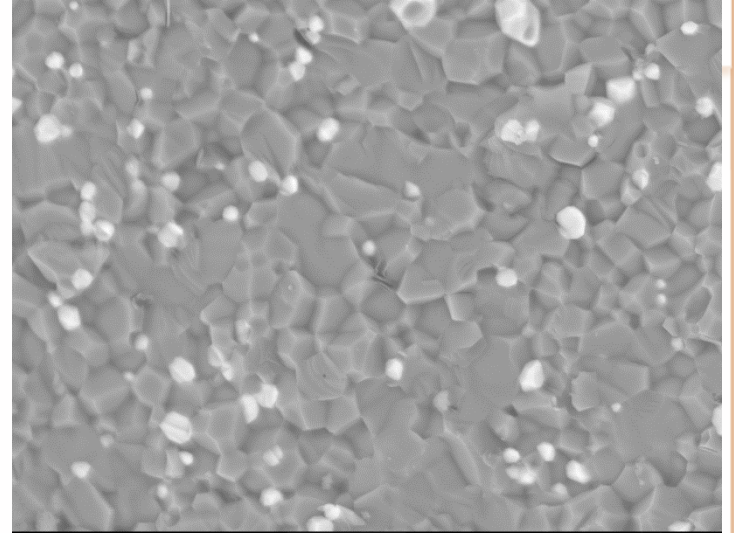


10/6/2011	det	HV	mag	WD	tilt	5 µm
10:29:01 AM	DualBSD	20.00 kV	12000 x	15.7 mm	0 °	Al-N Jom

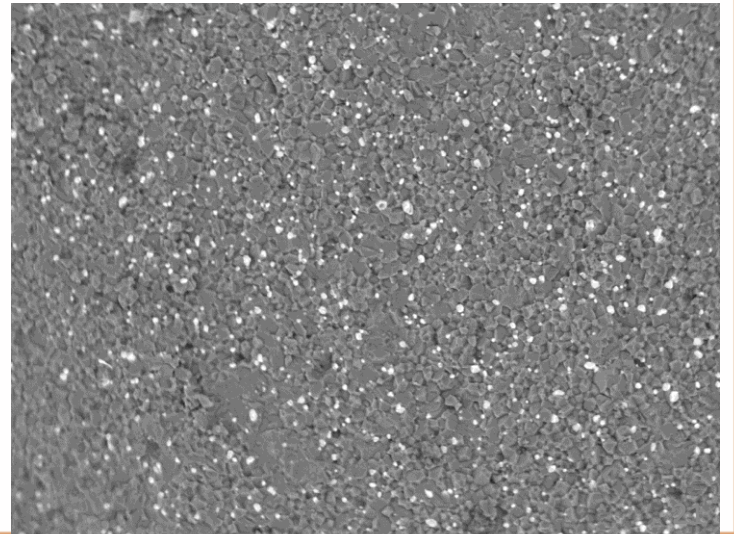


10/6/2011	det	HV	mag	WD	tilt	100 µm
10:31:58 AM	DualBSD	20.00 kV	800 x	15.7 mm	0 °	Al-N Jom

Наша керамика

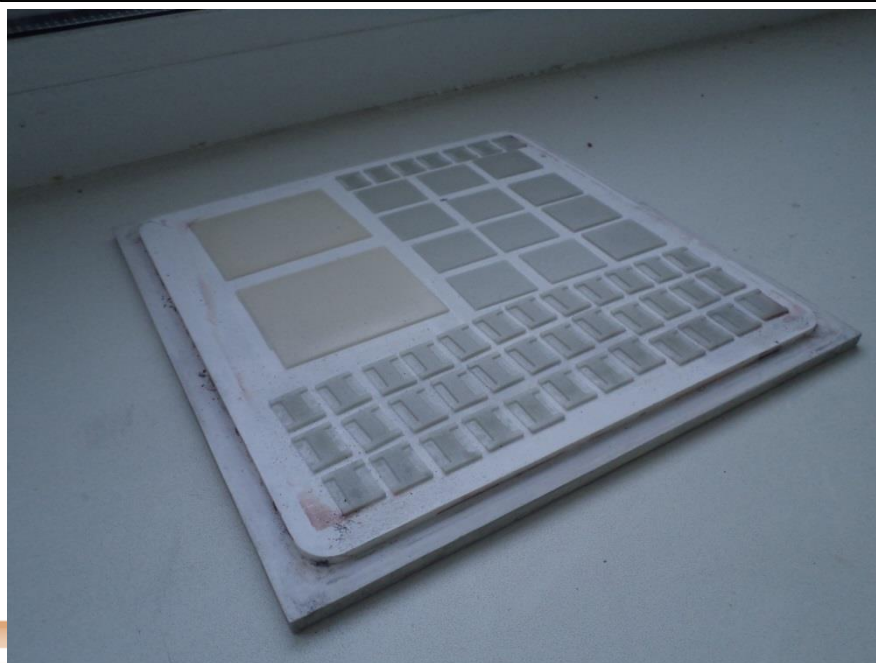
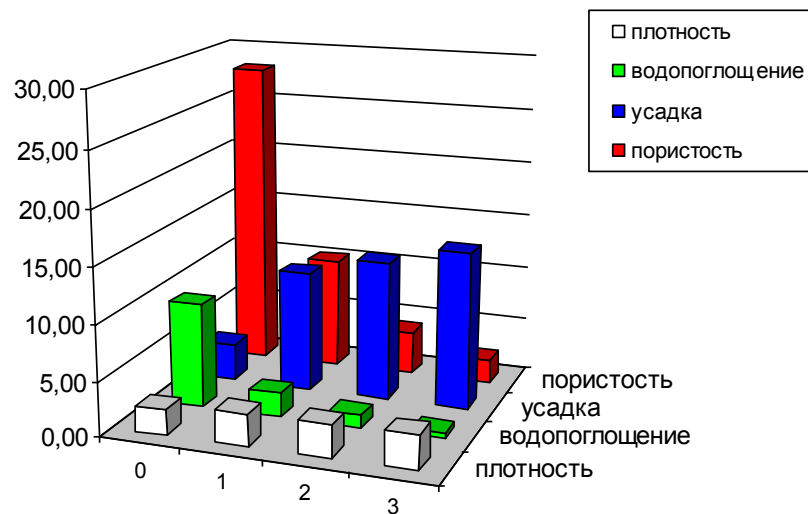


10 µm	TPUnanoC	10/4/2012
X 2,000	15.0kV COMPO SEM	WD 8.1mm 6:00:14



10 µm	TPUnanoC	10/4/2012
X 500	15.0kV COMPO SEM	WD 8.1mm 6:01:34

### Спекание при 1850 °С





Спасибо за внимание

Доцент кафедры ТСН ИФВТ НИТПУ

к.т.н. Александр Дитц

[ditts@tpu.ru](mailto:ditts@tpu.ru)