ПМХ

ПОЛЕМА

# ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ
## ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ПМХ
ПОЛЕМА

# Серийные порошки для 3D-печати

| Марка** | Аналоги по стандартам | | | | | Диапазоны фракций* | Область применения |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | США | Германия | Китай | Южная Корея | Прочие (производители) | | |
| **Стали** | | | | | | | |
| Нержавеющая конструкционная криогенная сталь ПР-12Х18Н10Т | AISI 321 | DIN 1.4541 | 0Cr18Ni10Ti | STS321 | - | 0-20 мкм<br>20-45 мкм<br>20-63 мкм<br>40-100 мкм | Машиностроение, станкостроение, инструментальная отрасль |
| Сталь конструкционная легированная ПР-09ХН2МД | - | - | - | - | - | | |
| Сталь коррозионно-стойкая жаропрочная ПР-40Х13 | AISI 420 | DIN 1.4031 | 4C13 | - | - | | |
| Нержавеющая сталь ПР-Х16Н4Д4Б | - | DIN 1.4542 | - | - | 17-4PH | | |
| Нержавеющая сталь ПР-07Х18Н12М2 | AISI 316S | - | - | - | - | | |
| Нержавеющая сталь ПР-Х15Н5Д4Б | - | - | - | - | LPW 155 (15-5PH) | | |
| Нержавеющая коррозионно-стойкая сталь ПР-Х18Н9 | AISI 302 | DIN 1.4300 | 1Cr18Ni9 | - | - | | |
| Нержавеющая конструкционная криогенная сталь ПР-03Х17Н14М3 | AISI 316L | DIN 1.4404 | 00Cr17Ni14Mo2 | STS316L | - | | |
| Нержавеющая сталь ПР-03Х17Н12М2 | AISI 316L | DIN 1.4404 | - | - | - | | |
| Нержавеющая сталь ПР-28Х3СНМВФА | - | - | - | - | СП28-Ш | | |
| Нержавеющая сталь ПР-20Х13Н2 | - | - | - | - | - | | |
| Нержавеющая сталь ПР-06Х14Н6Д2МБТ | - | - | - | - | ЭП817 | | |
| Нержавеющая сталь ПР-05Х13Н4М | - | DIN 1.4313 | - | - | - | | |
| Нержавеющая сталь ПР-07Н18К9М5Т | - | - | - | - | - | | |

* Возможен рассев по спецификации заказчика.
** Возможно изготовление порошка по спецификации заказчика.

ПМХ
ПОЛЕМА

# Серийные порошки для 3D-печати

| Марка** | Аналоги по стандартам | | | | | Диапазоны фракций* | Область применения |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | США | Германия | Китай | Южная Корея | Прочие (производители) | | |
| **Жаропрочные сплавы** | | | | | | | |
| Сталь жаропрочная высоколегированная ПР-08Х15Н5ДТ | - | - | - | - | ЭП410 | 0-20 мкм<br>20-45 мкм<br>20-63 мкм<br>40-100 мкм | Авиакосмическая отрасль, машиностроение, станкостроение |
| Жаропрочный сплав ПР-08ХН53БМТЮ | - | - | - | - | Inconel 718 | | |
| Жаропрочный сплав ПР-ХН58МБЮ | - | - | - | - | ЭК171 | | |
| **Бронзовые сплавы** | | | | | | | |
| Бронзовый сплав ПР-БрХ | - | - | - | - | - | 0-20 мкм<br>20-45 мкм<br>20-63 мкм<br>40-100 мкм | Машиностроение, электротехника, энергетика |
| Бронзовый сплав ПР-БрО5Ц5С5 | AISI C83 600 | - | - | - | - | | |
| **Кобальт-хромовый сплав** | | | | | | | |
| ПР-КХ28М6*** | - | - | - | - | LPW CoCr-2LC, UNS 31537, MP1 | 0-20 мкм<br>20-45 мкм<br>20-63 мкм<br>40-100 мкм | Авиакосмическая отрасль, медицина, стоматология |

* Возможен рассев по спецификации заказчика.
** Возможно изготовление порошка по спецификации заказчика.
*** Возможно применение при изготовлении хирургических имплантов и стоматологических изделий.

## Механические свойства 3D-образцов из порошка нержавеющей стали (аналог 316S)

| Испытание на растяжение плоских образцов из стали 07Х18Н12М2 (аналог 316S) | | |
|---|---|---|
| Направление 3D-печати образца | Предел текучести, МПа | Предел прочности, МПа |
| Горизонтальное | 622,9 | 771,35 |
| Вертикальное | 575,3 | 676,49 |

| Испытание на сжатие цилиндрических образцов из стали 07Х18Н12М2 (аналог 316S) | | |
|---|---|---|
| Направление 3D-печати образца | Модуль упругости, МПа | Предел прочности на сжатие, МПа |
| Горизонтальное | 8070 | 3030 |
| Вертикальное | 7700 | 2977 |

| Испытание на растяжение цилиндрических образцов из стали 07Х18Н12М2 (аналог 316S) | | |
|---|---|---|
| Направление 3D-печати образца | Предел текучести, МПа | Относительное растяжение, % |
| Горизонтальное | 510 | 28,5 |
| Вертикальное | 560 | 25 |

### Справочно: Механические свойства образцов из горячекатаной и кованой стали марок AISI 316, AISI 316L

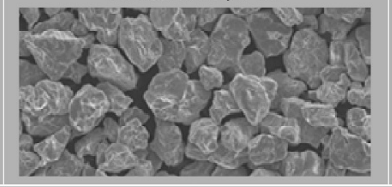
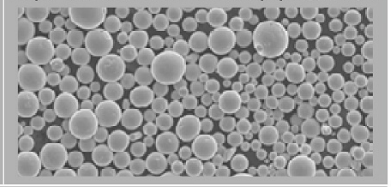
| Предел текучести, МПа |
|---|
| 205-310 |
| **Предел прочности, МПа** |
| 500-700 |
| **Относительное растяжение, %** |
| 40-55 |

# Серийные порошки для 3D-печати
# Химический состав

| Марка | Массовая доля элементов, % | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fe | Co | Cr | Ni | Cu | Mo | Наличие дополнительных легирующих элементов | O, ppm |
| **Стали** | | | | | | | | |
| ПР-12Х18Н10Т | основа | - | 16,00-20,00 | 9,00-12,00 | - | - | + | <300 |
| ПР-09ХН2МД | основа | - | 0,30-1,00 | 1,80-2,20 | 0,40-1,00 | 0,20-0,40 | + | <500 |
| ПР-40Х13 | основа | - | 12,00-14,00 | <0,60 | <0,30 | - | + | <500 |
| ПР-Х16Н4Д4Б | основа | - | 15,00-17,50 | 3,00-5,00 | 3,00-5,00 | < 0,50 | + | <300 |
| ПР-07Х18Н12М2 | основа | - | 16,00-18,00 | 10,00-14,00 | - | 2,00-3,00 | - | <300 |
| ПР-Х15Н5Д4Б | основа | - | 14,00-15,50 | 3,50-5,50 | 2,50-4,50 | < 0,50 | + | <300 |
| ПР-Х18Н9 | основа | - | 16,00-20,00 | 8,00-11,00 | - | - | - | <300 |
| ПР-03Х17Н14М3 | основа | - | 16,80-18,30 | 13,50-15,00 | - | 2,20-2,80 | + | <300 |
| ПР-03Х17Н12М2 | основа | - | 16,00-18,00 | 10,00-14,00 | - | 2,00-3,00 | + | <300 |
| ПР-28Х3СНМВФА | основа | - | 2,80-3,20 | 0,90-1,20 | - | 0,35-0,50 | + | <300 |
| ПР-20Х13Н2 | основа | - | 12,00-14,00 | 1,80-2,60 | - | - | + | <500 |
| ПР-06Х14Н6Д2МБТ | основа | - | 13,50-15,00 | 5,40-6,20 | 1,80-2,20 | 1,40-1,70 | + | <300 |
| ПР-05Х13Н4М | основа | - | 12,00-14,00 | 3,50-4,50 | - | 0,30-0,70 | - | <300 |
| ПР-07Н18К9М5Т | основа | 7,00-10,00 | - | 17,00-19,00 | - | 4,50-5,20 | + | <500 |
| **Жаропрочные сплавы** | | | | | | | | |
| ПР-08Х15Н5ДТ | основа | - | 14,00-16,00 | 4,00-6,00 | 1,00-2,00 | - | + | <300 |
| ПР-08ХН53БМТЮ | ост. | < 1,00 | 17,00-21,00 | 50,00-55,00 | < 0,30 | 2,80-3,30 | + | <300 |
| ПР-ХН58МБЮ | < 3,00 | - | 26,00-28,00 | основа | - | 7,00-8,00 | + | <300 |
| **Бронзовые сплавы** | | | | | | | | |
| ПР-БрХ | < 0,35 | - | 0,70-0,95 | < 0,05 | основа | - | - | - |
| ПР-БрО5Ц5С5 | < 0,40 | - | - | < 1,00 | основа | - | + | - |
| **Кобальт-хромовый сплав** | | | | | | | | |
| ПР-КХ28М6 | <0,75 | основа | 26,00-30,00 | <0,10 | - | 5,00-7,00 | - | <300 |

* Сферичность для всех марок не менее 80%.

# Сферичные порошки тугоплавких металлов

| Показатель | Исходный порошок  | | Порошок после плазменной сфероидизации  | |
|---|---|---|---|---|
| **Текучесть, с** | | | | |
| | Mo | Не течет | Mo | 10,4 |
| | W | 25 | W | 7,3 |
| | Cr | 29,6 | Cr | 16,3 |
| **Насыпная плотность, г/см³** | | | | |
| | Mo | 3,96 | Mo | 6,4 |
| | W | 9,38 | W | 9,9 |
| | Cr | 3,12 | Cr | 4,19 |
| **Плотность утряски, г/см³** | | | | |
| | Mo | 5,3 | Mo | 7,14 |
| | W | 11,8 | W | 11,8 |
| | Cr | 3,46 | Cr | 4,65 |

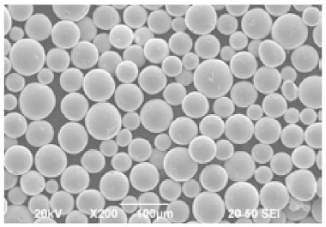
## Результат сфероидизации:

- Повышение текучести;
- Повышение насыпной плотности;
- Снижение содержания кислорода.

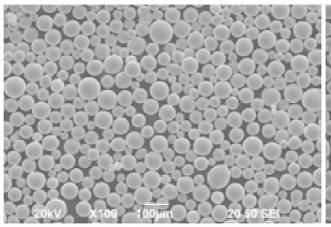
## Применение:

- 3D;
- MIM;
- Наплавка;
- Напыление.

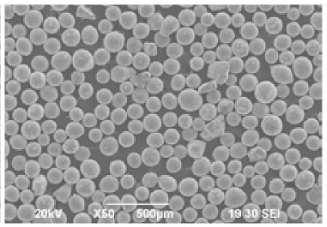
### Сферичный порошок вольфрама




### Сферичный порошок молибдена




### Сферичный порошок хрома



# Серийные порошки для MIM-технологии

| Марка** | Аналоги по стандартам | | | | | Диапазоны фракций* | Область применения |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | США | Германия | Китай | Южная Корея | Прочие (производители) | | |
| **Стали** | | | | | | | |
| Нержавеющая конструкционная криогенная сталь ПР-12Х18Н10Т | AISI 321 | DIN 1.4541 | 0Cr18Ni10Ti | STS321 | - | 0-20 мкм | Электроника, машиностроение, медицина, инструментальная отрасль |
| Нержавеющая сталь ПР-25Х15КА | - | - | - | - | - | | |
| Нержавеющая коррозионно-стойкая жаропрочная сталь ПР-30Х13 | AISI 420S | DIN 1.4028 | 3Cr13 | - | - | | |
| Нержавеющая сталь ПР-Х15Н5Д4Б | - | - | - | - | LPW 155 (15-5PH) | | |
| Нержавеющая сталь ПР-Х18Н9 | AISI 302 | DIN 1.4300 | - | - | - | | |
| **Жаропрочные сплавы** | | | | | | | |
| Жаропрочный сплав ПР-81Н3М | - | - | - | - | - | 0-20 мкм | Авиакосмическая отрасль, машиностроение, станкостроение |
| **Бронзовые сплавы** | | | | | | | |
| Бронзовый сплав ПР-БрХ | - | - | - | - | - | 0-20 мкм | Машиностроение, электротехника, энергетика |

* Возможен рассев по спецификации заказчика.
** Возможно изготовление порошка по спецификации заказчика.

# Серийные порошки для MIM-технологии Химический состав

| Марка | Массовая доля элементов, % | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fe | Co | Cr | Ni | Cu | Mo | Наличие дополнительных легирующих элементов |
| **Стали** | | | | | | | |
| ПР-12Х18Н10Т | основа | - | 16,00-20,00 | 9,00-12,00 | - | - | + |
| ПР-Х15Н5Д4Б | основа | - | 14,00-15,50 | 3,50-5,50 | 2,50-4,50 | < 0,50 | + |
| ПР-Х18Н9 | основа | - | 16,00-20,00 | 8,00-11,00 | - | - | - |
| ПР-25Х15КА | основа | 14,00-16,00 | 24,00-26,00 | - | - | - | + |
| ПР-30Х13 | основа | - | 12,00-14,00 | <0,60 | <0,30 | - | + |
| **Жаропрочные сплавы** | | | | | | | |
| ПР-81Н3М | ост. | - | - | 80,5-82,0 | - | 2,3-2,9 | + |
| **Бронзовые сплавы** | | | | | | | |
| ПР-БрХ | < 0,35 | - | 0,7-0,95 | < 0,05 | основа | - | - |

* Сферичность для всех марок не менее 80%.

# Разработки для 3D-технологий Новые материалы

## Порошок CompoNiAl-M5-3

**Применение:** 3D-печать элементов турбин различного типа.

| Марка | Массовая доля элементов, % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ni | Al | Cr | Co | Fe | Наличие легирующих элементов |
| CompoNiAl-M5-3 | 53,40 | 25,50 | 12,35 | 7,45 | 0,11 | + |

## Сплавы высокой энтропии

**Применение:** 3D-печать деталей, жаростойкие и жаропрочные покрытия, магнитомягкие пленки для высокочастотной связи, диффузионный барьер для соединений меди в сверхбольших интегральных схемах, сверхпластичные сплавы.

| Марка | Массовая доля элементов, % | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Co | Cr | Fe | Ni |
| KX23H26 | 25,23 | 22,48 | 24,63 | 26,86 |

| Марка | Массовая доля элементов, % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Mo | Nb | Ta | W | Примеси |
| Mo-Nb-Ta-W | 24,00-26,00 | 25,00-26,00 | 23,00-24,00 | 26,00-27,00 | ~1 |

# Разработки для 3D-технологий
# Новые материалы

## Сплавы Super Duplex 25Cr

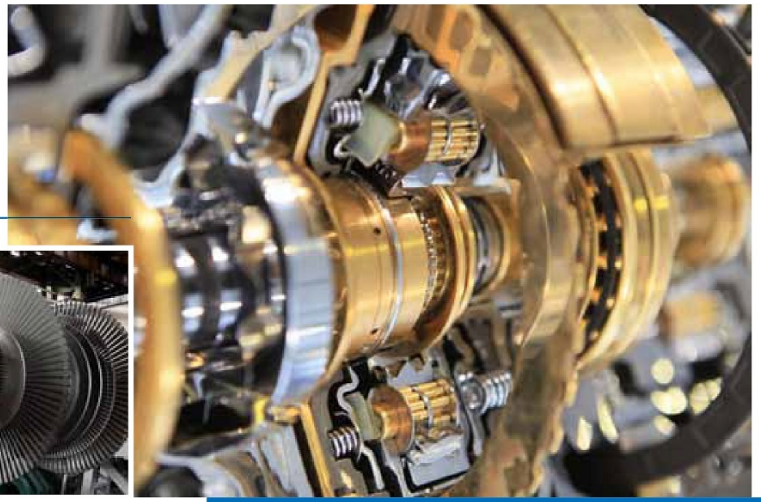
**Применение:** Для производства изделий сложной геометрической и нестандартной формы современными методами в нефтегазовой промышленности (детали трубопроводов для шельфовых месторождений), судостроении, морском строительстве, химической и пищевой отрасли.

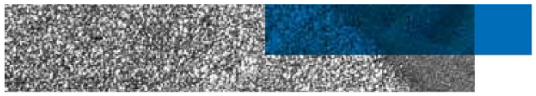
| Марка | Массовая доля элементов, % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fe | Cr | Ni | N | Mo | Наличие легирующих элементов |
| 25Cr или ПР-03Х25Н7АМ4Д | основа | 24,00-26,00 | 6,00-8,00 | 0,24-0,32 | 3,00-5,00 | + |

## Суперинварные сплавы

**Применение:** Компоненты оборудования и узлы, работающие при экстремальных температурах, в том числе изготовленные с использованием аддитивных технологий.

| Марка | Массовая доля элементов, % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fe | Ni | Co | Mo | Nb | Наличие легирующих элементов |
| 32НКМБЛ | основа | 31,5-33,0 | 8,1-9,3 | 0,15-0,3 | 0,25-0,5 | + |





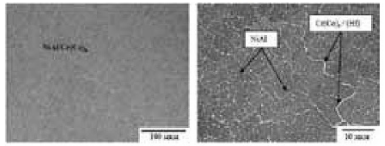
# Механические свойства 3D-изделий из порошка Compo-Ni-Al

## Механические свойства образцов

| Сплав | $\sigma_в$, МПа | $\sigma_{0.2}$, МПа | ε, % |
|---|---|---|---|
| CompoNiAl-M5-3 (+ТО) | 1081 | - | 1,4 |
| CompoNiAl-M5-3 (+ТО+ГИП) | 1386 | - | 2,4 |
| 33Ni-29Al-28Cr–6Mo-4Ti (+ТО) | 634 | - | 0,85 |

ТО – термообработка;
ГИП – горячее изостатическое прессование.

## Микроструктура исследовательских образцов



## Ключевые преимущества

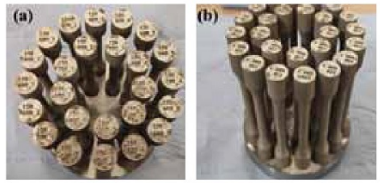
- Жаропрочность;
- Предел прочности на сжатие 2500-3000 МПа.

# Механические свойства сплавов высокой энтропии

## Механические свойства образцов при разных температурах

| Сплав | Т, °С | $\sigma_в$, МПа | $\sigma_{0.2}$, МПа | ε, % |
|---|---|---|---|---|
| ПР-КХ23Н26 (3D-печать) | -150 | 960 | 750 | 54 |
| | 23 | 690 | 600 | 38 |
| | 300 | 550 | 470 | 34 |
| ПР-КХ23Н26 (3D-печать + отжиг) | -150 | 920 | 640 | 43 |
| | 23 | 660 | 500 | 42 |
| | 300 | 530 | 390 | 37 |

## Образцы для проведения механических испытаний




## Ключевые преимущества

- Высокое удлинение при критических температурах;
- Высокая прочность при критических температурах;
- Не меняет химический состав при наплавке и 3D-печати.

# Результаты испытаний газостатированных образцов из порошка Super Duplex 25Cr

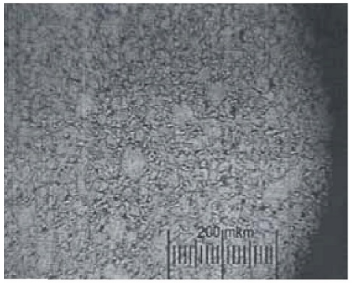
## Результаты механических испытаний

| Сплав | Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа | Относительное удлинение, % |
|---|---|---|
| ПР-03Х25Н7АМ4Д (+ГИП) | 845 | 30,2 |
| ПР-03Х25Н7АМ4Д (+ГИП +ТО) | 860 | 32,7 |
| Требуемые характеристики | 750-895 | Не менее 25 |

## Результаты испытаний на стойкость к питтинговой коррозии ASTM G48 A

| Сплав | Т,°С | Д×Ш×В образца, мм | Потеря массы образца, мг/см² | Примечание |
|---|---|---|---|---|
| ПР-03Х25Н7АМ4Д (+ГИП +ТО) | +50 | 50,3×25,2×3,3 | 0,08 - 0,20 | Питтинги отсутствуют |

### Микроструктура образца стали ПР-03Х25Н7АМ4Д после ГИП и травления



# Для заметок

ПМХ

ПОЛЕМА

# Преимущества АО «ПОЛЕМА»

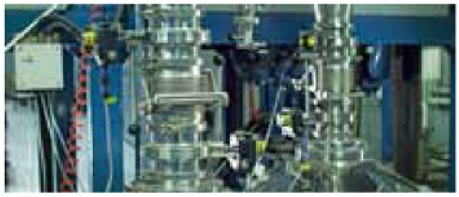
- **Отечественный производитель** металлических порошков для 3D-печати, MIM, напыления и наплавки, сертифицированный Российским экспортным центром.

СДЕЛАНО В РОССИИ

MADE IN RUSSIA

- Компетенции предприятия: **58-летний опыт** производства металлических порошков.

- Технологическая и производственная база: **5 технологий получения** металлического порошка, новейшее и уникальное для России оборудование – **промышленная установка сфероидизации**.



- Собственная исследовательская лаборатория: **гарантия** новейших передовых разработок и возможности **импортозамещения**.

- **Государственная поддержка** проектов.

при поддержке

фрп РЦК


Россия

300016, г. Тула
ул. Пржевальского, д. 3

т.: +7 (4872) 25-06-70
ф.: +7 (4872) 25-06-78

sales@polema.net

www.polema.net
www.polema-rus.com