

Международная научно-практическая конференция
«Материаловедение, формообразующие технологии и оборудование 2026»
(ICMSSTE 2026)



**пермский
политех**

КЕРАМЕТ

Композиционные порошковые материалы
- насосное производство



**САМАРСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ METAL BINDER JETTING И SELECTIVE LASER MELTING ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ МАЛЫХ ТУРБОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ САМОЛЕТНОГО ТИПА

Докладчик: Киселев Павел Аркадьевич, учредитель ООО «НПО «Керамет»

Авторы: Киселев П.А., Оглезнева С.А., Поздеева Т.Ю., Алексеев В. П., Смелов В.Г.



26-29 мая 2026 г. Ялта

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

На сегодняшний день при производстве деталей горячей части МТРД наиболее распространенной является технология селективного лазерного сплавления - Selective Laser Melting (SLM) в виду ее высокой степени освоения и внедрения в производственные процессы с начала 21 века.

В качестве конкурентной альтернативы набирает популярность технология струйного нанесения связующего - Metal Binder Jetting (MBJ). Это не прямой метод производства, разделяющий этапы формования и спекания, предлагая преимущества в скорости производства, но при этом предъявляя дополнительные требования к постобработке, в то время как SLM применяет лазер, позволяя одновременно вести процесс формирования изделий и их сплавления. Каждая из технологий имеет ряд преимуществ и недостатков в таких критериях как скорость печати, точность, стоимость сырья и др.

Ключевые критерии сравнения аддитивных технологий SLM и MBJ между собой

	Скорость построения, см ³ /час	Требуются ли поддержки при печати	Точность печати (разрешение), мм	Наличие источника тепловой энергии	Атмосфера печати	Стоимость принтера, тыс. руб.
SLM	до 25	Ручное удаление	±0,2	Лазер	Инертный газ	10 000 - 60 000
MBJ	до 1500	-	±0,2	-	Воздух	10 000 - 60 000

MBJ- струйное нанесение связующего;

SLM - послойное лазерное плавление металлического порошка;

Цель исследования: сравнение MBJ и SLM по ключевым параметрам, влияющим на стоимость и качество конечных деталей МТРД.

Задачи исследования:

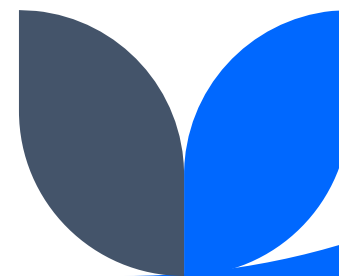
1. Провести анализ и сравнение стоимости порошкового сырья и оборудования, всех этапов производственных процессов MBJ и SLM ;
2. Изготовить заготовки аппарата соплового и рабочего колеса турбины МТРД методами MBJ и SLM;
3. Измерить пористость и шероховатость получаемых изделий.

Используемое оборудование и методы:

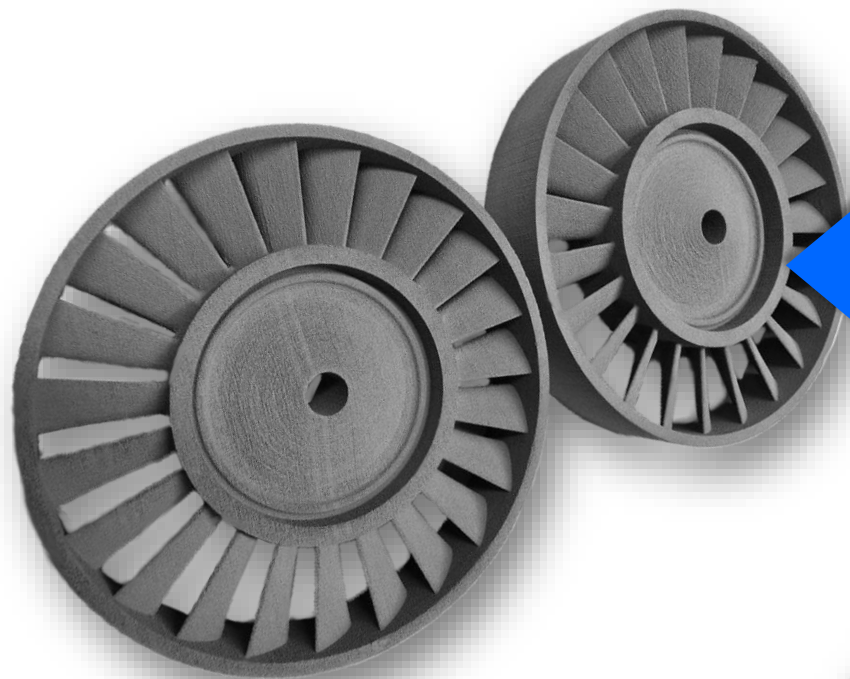
MBJ: 3D – принтер *Easy MFG 500 Max (Китай)*, вакуумный сушильный шкаф (100 – 160 °С) проходная печь толкательного типа (1250 °С, защитная атмосфера).

SLM: аддитивная установка *SLM 280HL (SLM Solutions (Германия))*.

- ❖ Плотность и пористость изучали гидростатическим взвешиванием методом Архимеда по ГОСТ 20018–74 с использованием весов аналитических с точностью взвешивания до 0,001 г.
- ❖ Шероховатость поверхности (Ra) спеченных изделий измеряли на портативном профилометре *Mahr MarSurf PS10 (Китай)*.



СРАВНЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ МВЖ И SLM



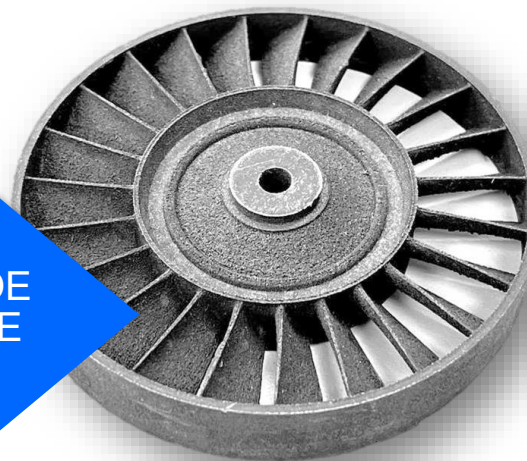
МВЖ

Ra: 0,5-2,5

П: 2-5%

НАЧАЛО
ОСВОЕНИЯ

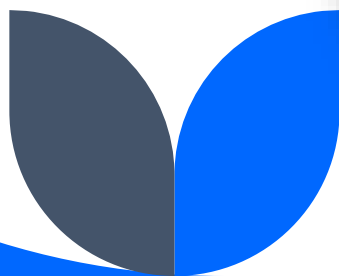
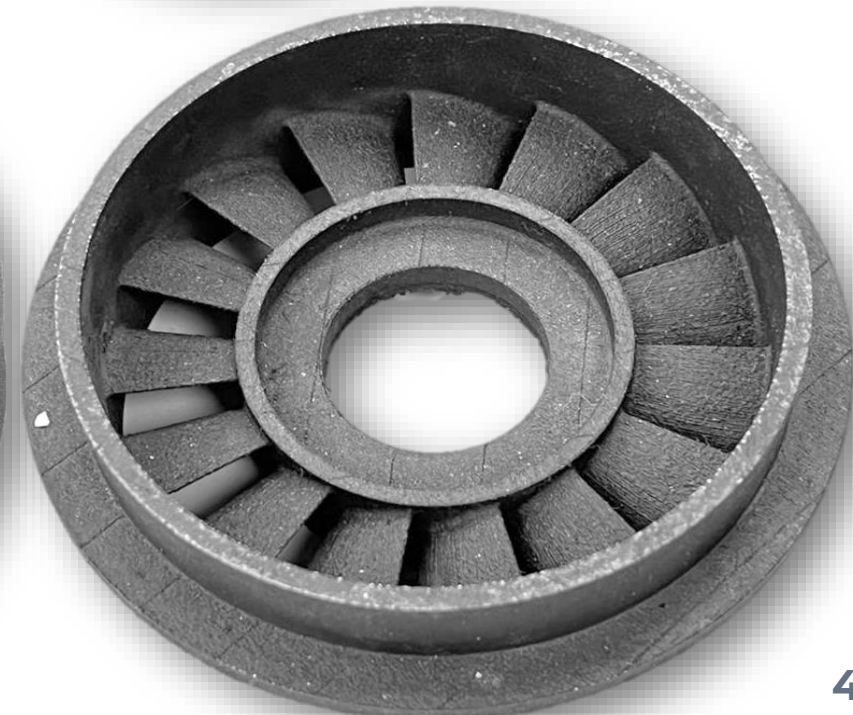
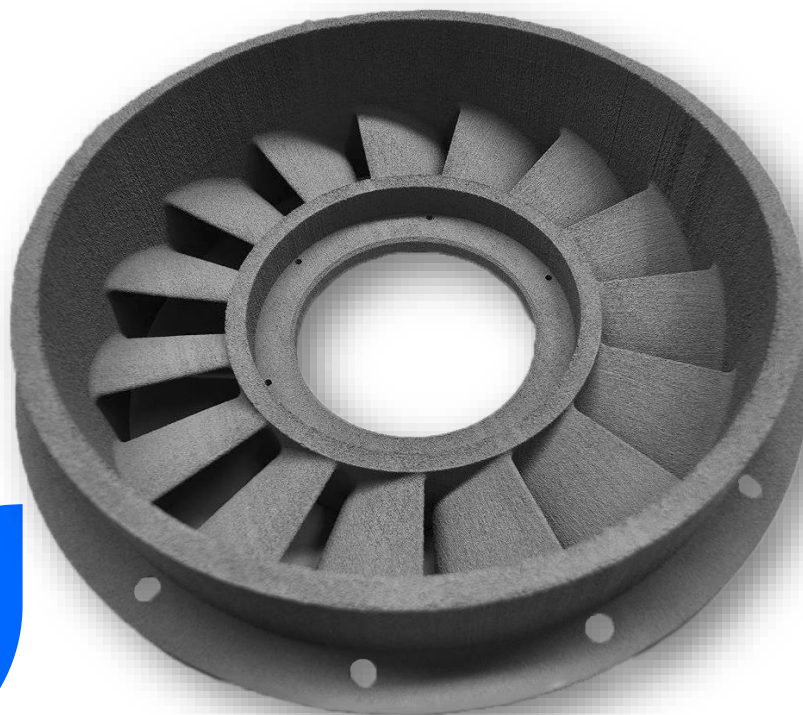
ПОВСЕМЕСТНОЕ
ИЗГОТОВЛЕНИЕ



SLM

Ra: 6,3-10

П: ≤ 0,1 %



СРАВНЕНИЕ ЭКОНОМИКИ МВЖ И SLM

Опытные сплавы/стоимость изделия	Рабочее колесо турбины МВЖ/SLM, руб	Сопловой аппарат МВЖ/SLM, руб	Итого стоимость ступени МВЖ/SLM, руб
ВЖ-159	10 980/ 21 000	11 650/36 000	22 630/57 000
ASTM F75	10 870/-	11 500/-	22 370/-
Inconel 625	10 920/18 000	11 375/ 31 000	22 295/49 000
Inconel 713C	11 915/-	14 670/-	26 585/-
Inconel 718	10 965/20 000	11 435/35 000	22 400/55 000

Турбинное колесо двигателя турбины, внешний диаметр Inconel 713C 54 мм/66 мм/70 мм/91,5 мм для W54/KJ66/GR180, большая настройка количества

★★★★★ 5,0 5 отзывов 14 купили

[Характеристики](#) [Описание](#)

Цвет: OD 70mm



Название бренда Jea.Love

Происхождение Китай

Материал Металл

15 737 ₹

~~16 741 ₹~~ -6%

Осталось 98 шт.

Цена за 1 штуку

В корзину

2-6 февраля в пункт

7-24 февраля почтой

20-26 февраля курьером

Вернём деньги, если не получите заказ через 75 дней после отправки.



Упорный турбореактивный двигатель 18 кг, материал NGV, инконоль 718, турбинное колесо GR180, детали для радиоуправления «сделай сам»

1 купили [Характеристики](#) [Описание](#)

Цвет: NGV



Название бренда Jea.Love

Происхождение Китай

Материал Композитный материал

Сертификация Eurotest (CE)

17 799 ₹

~~19 776 ₹~~ -10%

Осталось 19 шт.

Цена за 1 штуку

В корзину

Купить сейчас

20-26 февраля курьером

648 ₹

4-21 февраля почтой

859 ₹

Вернём деньги, если не получите заказ через 75 дней после отправки.

СРАВНЕНИЕ ЭКОНОМИКИ МВЖ И SLM

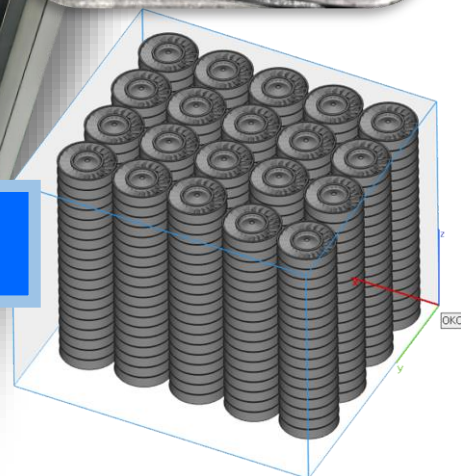
Стоимость порошков, руб/кг	МВЖ (25 мкм)	SLM (20-63 мкм)
ВЖ-159	4230	20 000
ASTM F75	3950	-
Inconel 625	2450	15 000
Inconel 713C	5000	-
Inconel 718	2560	12 000
ТРУДОЕМКОСТЬ		
Механическая обработка (эрозия, токарная, пескоструй)	3815-4450 (нормо-час 2500 руб)	4500
Затрачиваемое время на 1 изделие	110 мин	90 мин
Кол-во деталей в садке (рабочее колесо)	380 (принтер) 6 (в лодке печи)	16
Время печати, ч	Рабочее колесо (6 шт) Сопловой аппарат (6 шт)	Рабочее колесо (6 шт) -16 ч Сопловой аппарат (6 шт) -21 ч
Спекания (МВЖ)	8 ч (печать)+15 ч (спекание)	

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

МВJ

Вместимость бункера принтера:
Колесо рабочее турбины – **380 шт**
Сопловой аппарат – **160 шт**

Спекание в проходных печах
сопротивления:
Температура: 1350°C
Шаг: 20 мин. или 35 кг/ч



SLM



Заключение

- ❖ MBJ и SLM имеют свои уникальные преимущества и могут эффективно использоваться для производства деталей МТРД;
- ❖ Выбор технологии должен основываться на конкретных требованиях к изделиям, включая механические свойства, стоимость и объем производства;
- ❖ Необходимо дальнейшее совершенствование технологий и их адаптации под специфические нужды авиационной промышленности.

Финансирование:

Грант ФСИ «Развитие НТИ-2025 (очередь 9)» по проекту «Разработка технологии изготовления крыльчаток малогабаритных турбореактивных двигателей (МТРД) для БПЛА самолётного типа»



БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!



Фонд Развития
Промышленности



+7(342) 241-84-60

keramet-perm@mail.ru

г. Пермь, Восточный обход, 80

КЕРАМЕТ
Композиционные порошковые материалы
- насосное производство



Алексеев Вячеслав



+7 917 952 86 51

alekseev.vp@ssau.ru

г. Самара, Лукачева 47



САМАРСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

