

## **Новые разработки Лаборатории легких материалов и конструкций для производства изделий из алюминиевых сплавов**

**Наумов Антон**, к.т.н., в.н.с. Лаборатории легких материалов и конструкций, Центр промышленной робототехники

Институт машиностроения, материалов и транспорта, СПбПУ

Конференция «НОВОЕ В СВАРКЕ, РЕЗКЕ, НАПЛАВКЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЯ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ»

Москва

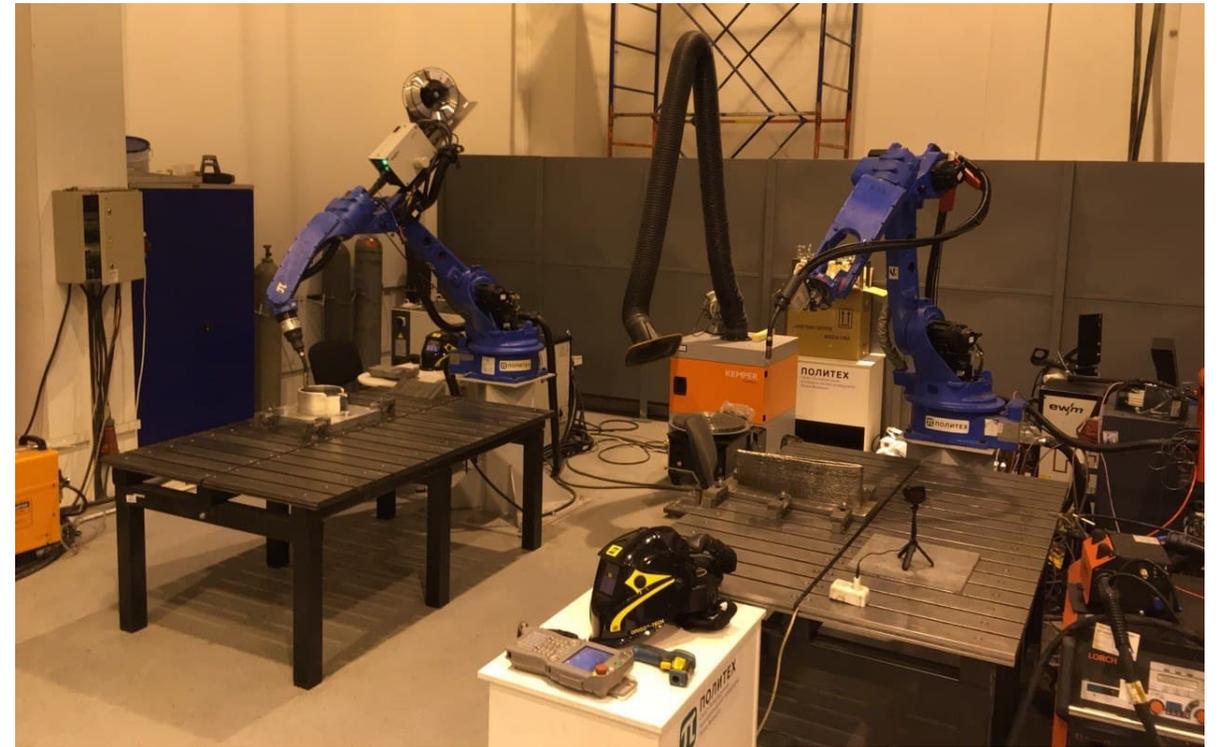
09 октября 2024 года



# Лаборатория легких материалов и конструкций



Сварка трением с перемешиванием



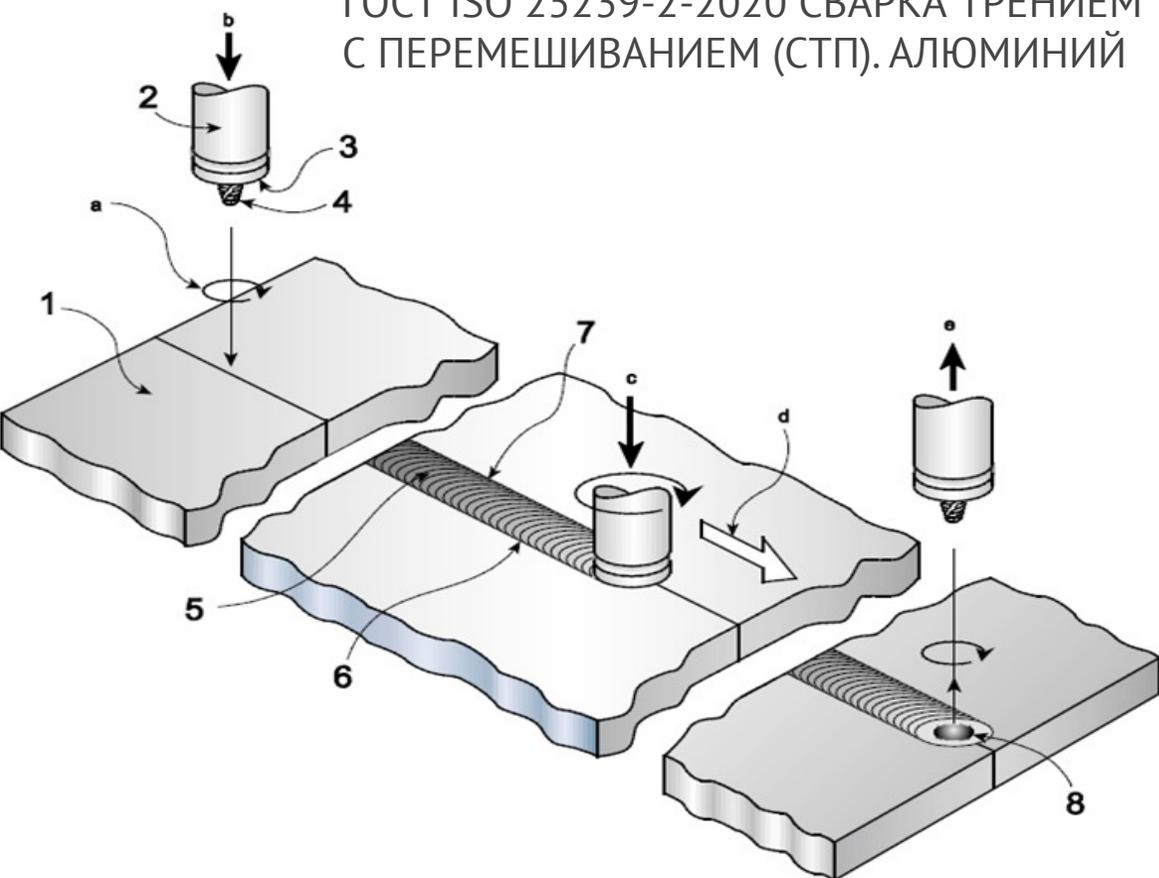
Электродуговые процессы

<https://www.youtube.com/channel/UCjSoTOr1YseVfC7MUAkC5gg>



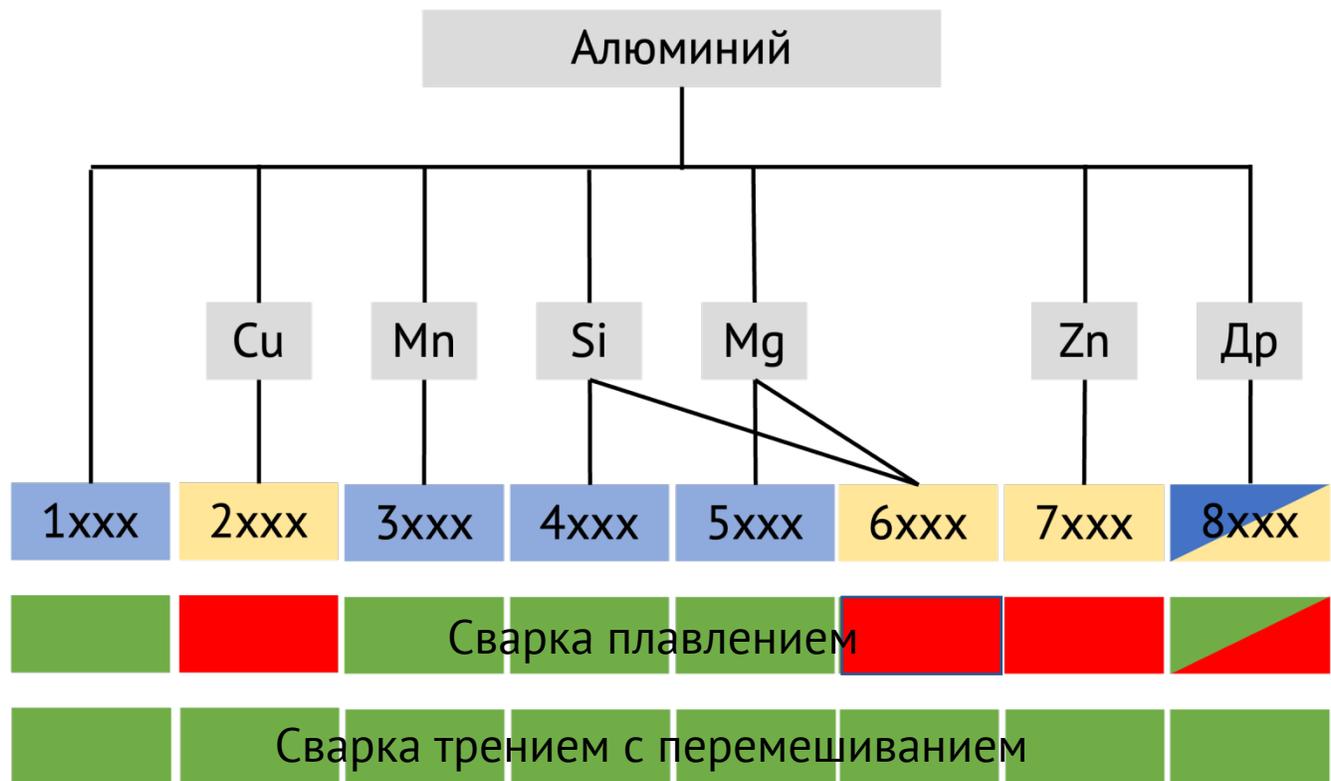
# Сварка трением с перемешиванием

ГОСТ ISO 25239-2-2020 СВАРКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ (СТП). АЛЮМИНИЙ



1 – свариваемые листы; 2 – инструмент; 3 – заплечик; 4 – наконечник; 5 – сварной шов; 6 – сторона отставания; 7 – сторона набегания; 8 – выходное отверстие;  
 а – направление вращения инструмента; б – погружение инструмента; с – осевое усилие; d – направление движения инструмента; е – извлечение инструмента

## Свариваемость алюминиевых сплавов

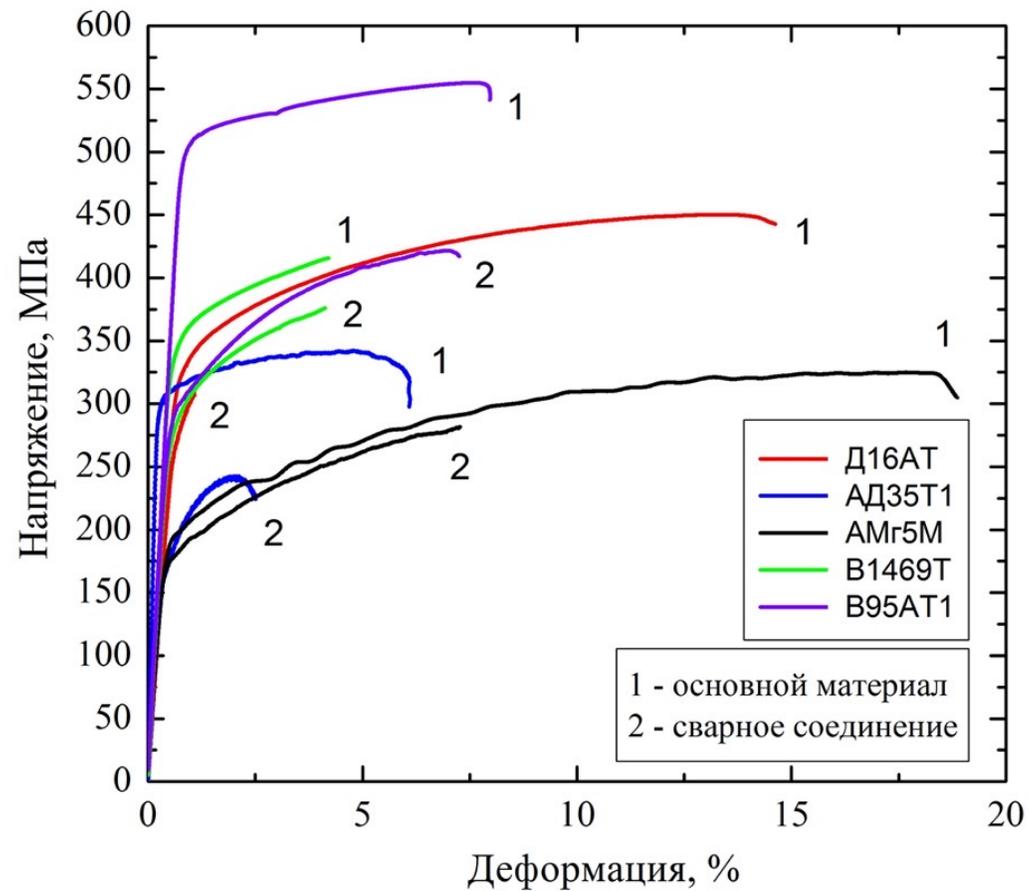
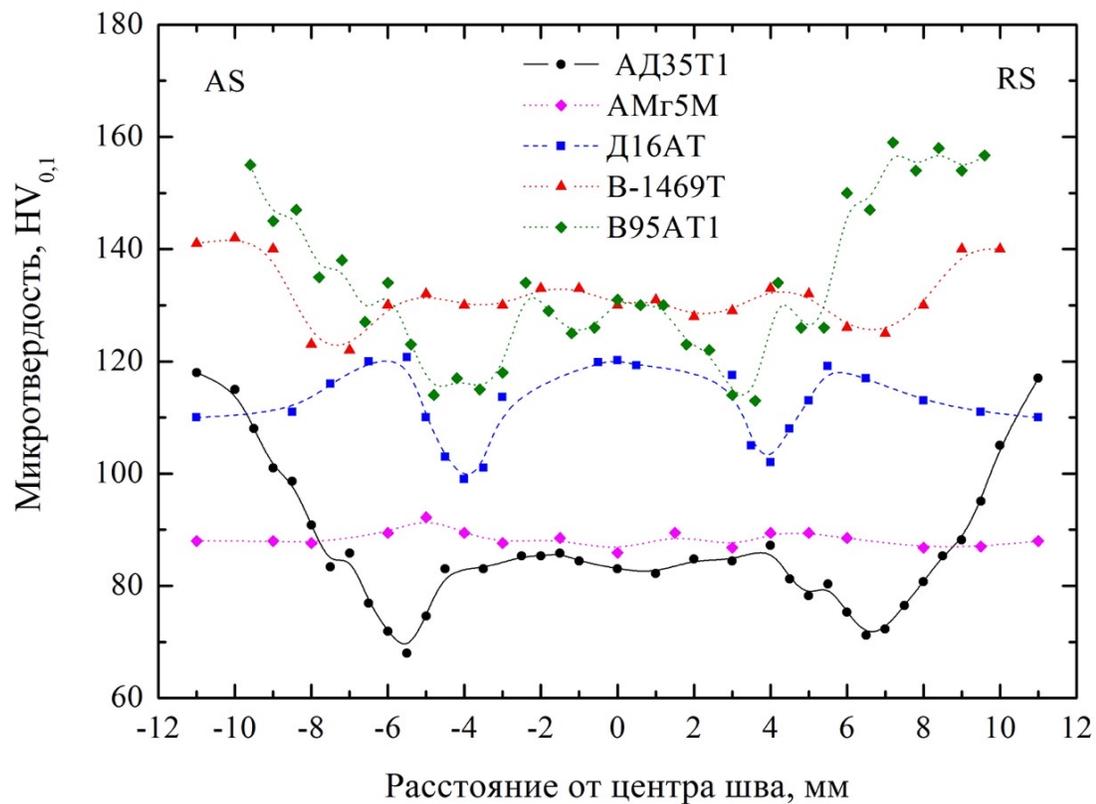


	Не упрочняемые ТО		Упрочняемые ТО
	Свариваемые		Не свариваемые

# СТП тонкого листа (1,5 – 2 мм)



1. АМг5М
2. Д16АТ
3. АД35Т1
4. В95АТ1
5. В1469Т



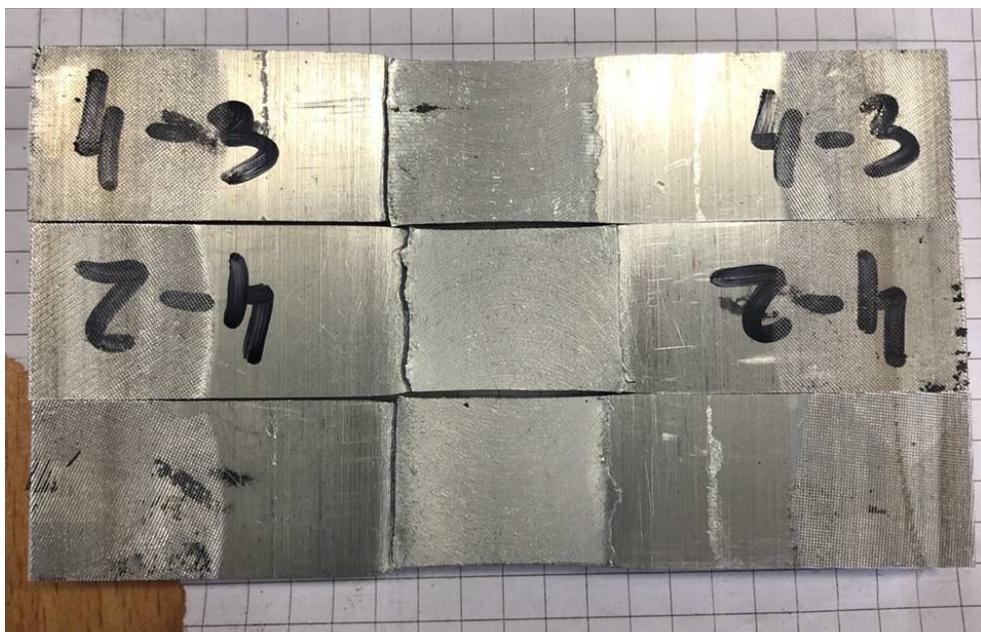
# СТП толстого листа



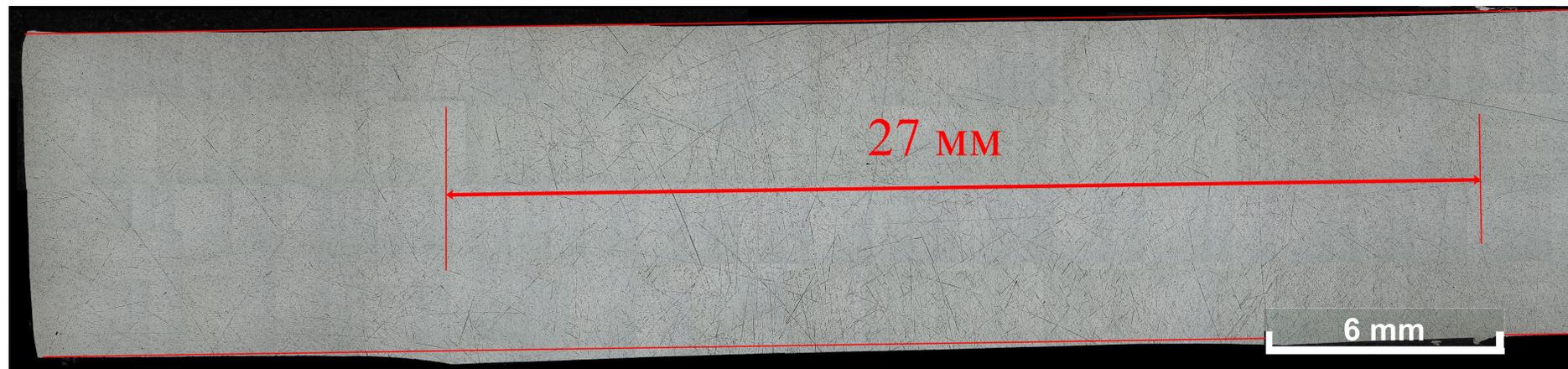
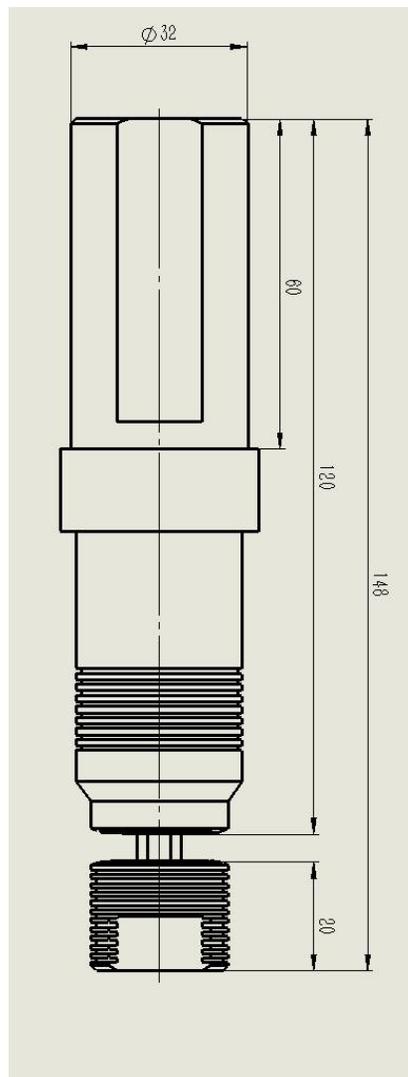
1. 1939Т1 – 10 мм
2. АД35чТ1 – 8 мм
3. 1915чМ – 16 мм
4. АБТ101 – 10 мм

1939Т1 – 10 мм    СТП 0,96 от основного материала  
АД35чТ1 – 8 мм    СТП 0,76 от основного материала

MIG 0,86 от основного материала  
MIG 0,76 от основного материала



# «Bobbin tool»



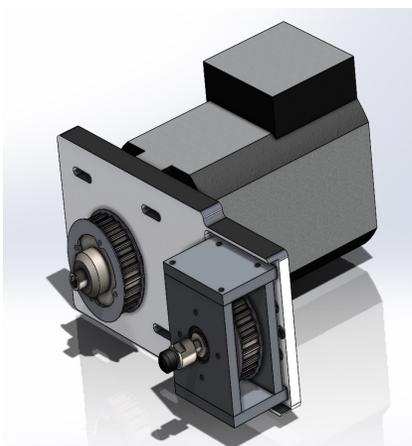
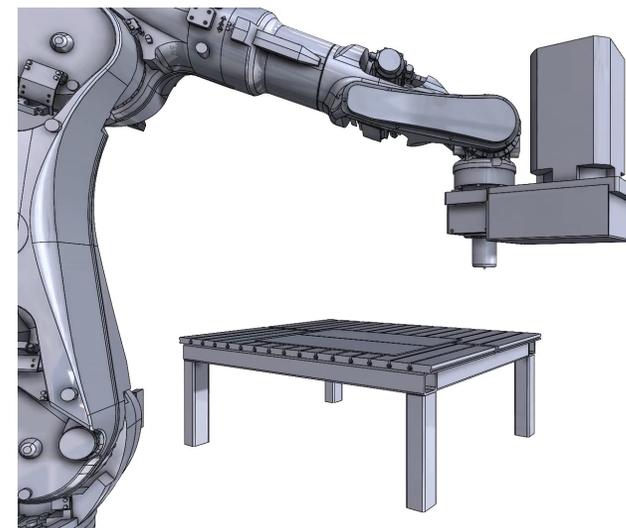
Материал – АА 5083 Н111 8 мм  
Скорость вращения инструмента –  
600 об/мин  
Скорость перемещения инструмента  
– 90 мм/мин



# СТП и ТСТП на работе

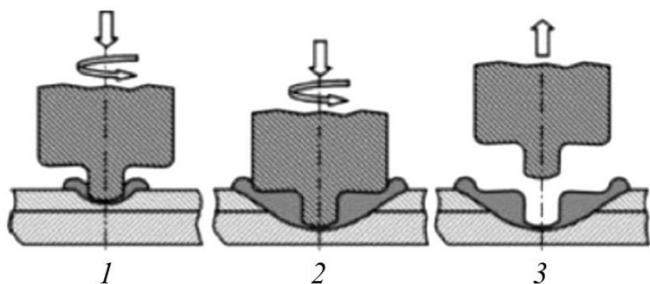


Манипулятор  
Kawasaki  
BX210L



Разработанная  
рабочая  
«голова»  
робота

# Точечная СТП алюминиевых сплавов



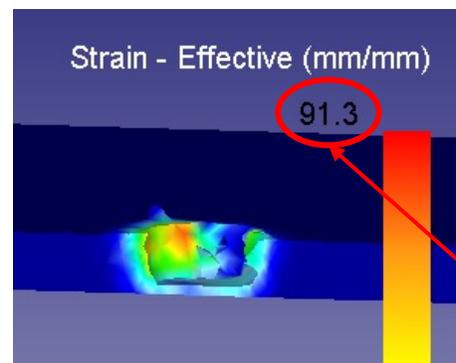
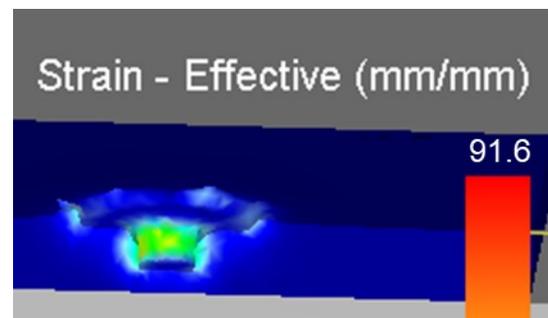
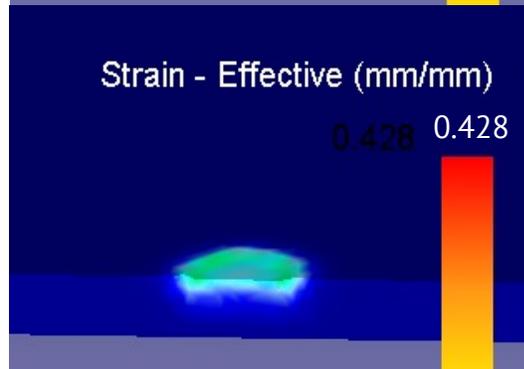
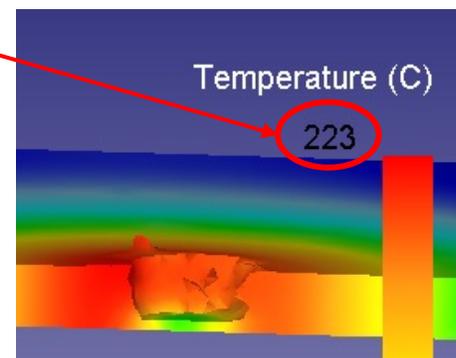
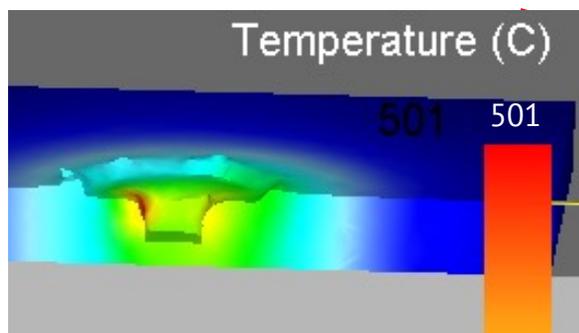
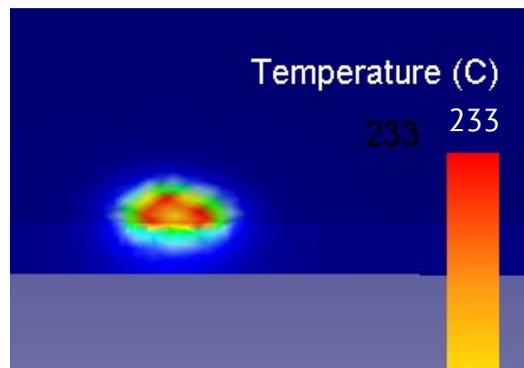
Соединение – 2+2 мм  
 Осевое усилие на инструмент – 4 кН  
 Глубина погружения инструмента – 2,7 мм  
 Время выдержки – 10 с

Начало погружения наконечника в материал

Середина процесса. Вращение инструмента в материале

Последний шаг перед извлечением инструмента

Максимальные температуры



Материал	Вращение инструмента, об/мин	Скорость погружения инструмента, мм/мин
АМг5	2000	50
	4000	85
	8000	150
АД35	2000	50
	4000	85
	8000	150
В95	2000	95
	4000	95
	8000	150
Д16АТ	2000	95
	4000	95
	8000	150

Максимальные деформации

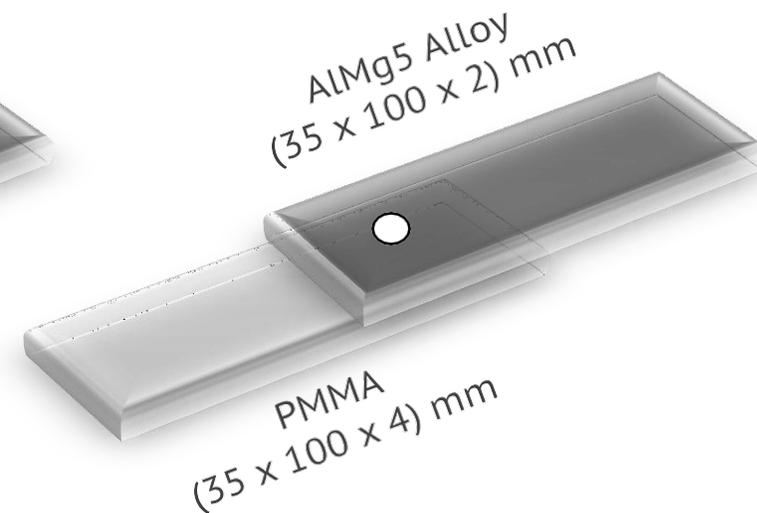
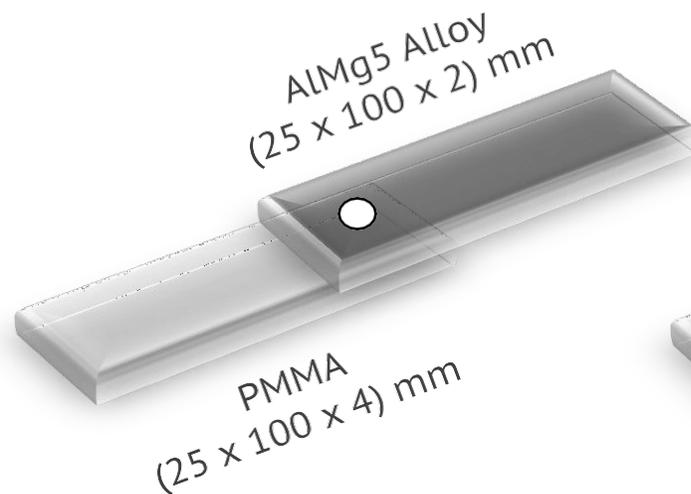


# Точечная СТП разнородных материалов



Свойства	АМг5	ПММА
Плотность (г/см <sup>3</sup> )	2.7	1.18
Температура плавления (°C)	540-640	220-240
Прочность на разрыв(МПа)	280-360	72
Модуль растяжения(ГПа)	68	3.1
Удлинение при разрыве(%)	17	5

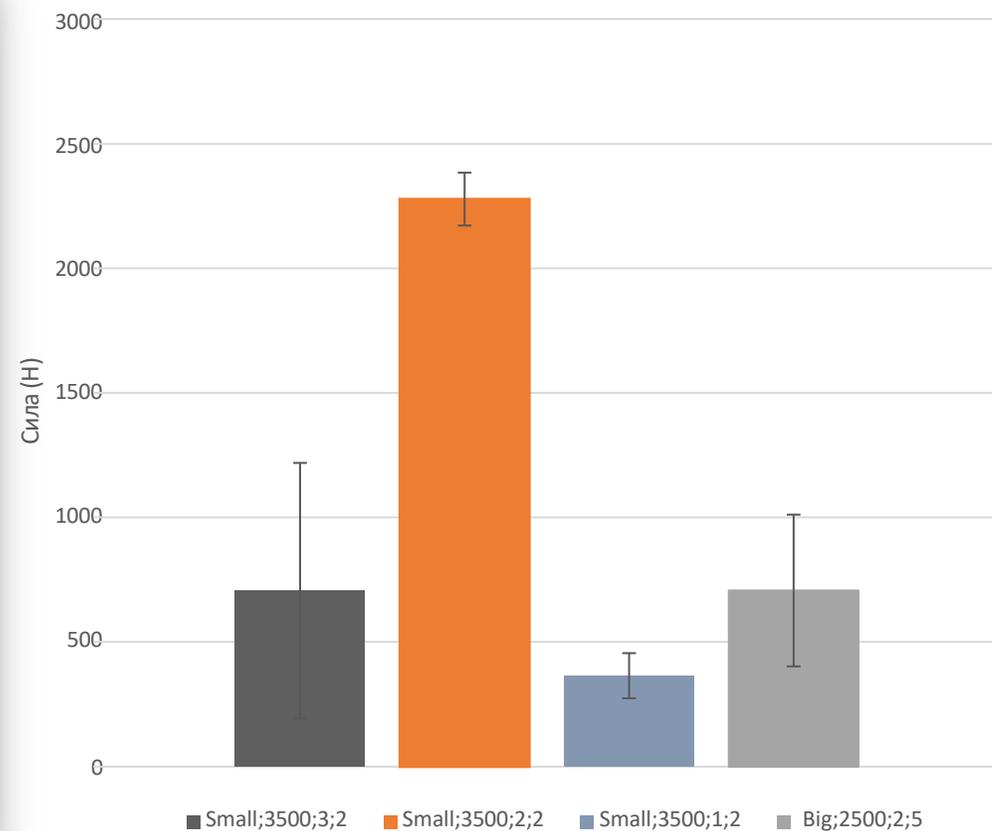
Параметры	
Размеры образцов	25 x 100 и 35 x 100
Осевое усилие	4000 Н
Скорость вращения	1000 – 4200 об/мин
Глубина погружения	0.25 – 4.5 мм
Скорость погружения	0.5 – 5 мм/мин
Время выдержки	0 – 30 с
Тип наконечника и его диаметр	Конический – 3 мм и Винтовой – 5 мм
Диаметр заплечика	12(коническая) и 18(винтовая) мм



# Точечная СТП разнородных материалов



Размер образца (мм)	Скорость вращения (об/мин)	Тип наконечника, диаметр; тип заплечика, диаметр.	Скорость погружения (мм/мин)	Время выдержки (с)	Нагрузка (Н)
25 x 100	3500	Конический, 3 мм; Плоский, 12 мм.	3	2	706 ± 513
25 x 100	3500	Конический, 3 мм; Плоский, 12 мм..	2	2	2278 ± 106
25 x 100	3500	Конический, 3 мм; Плоский, 12 мм.	1	2	365 ± 90
25 x 100	3500	Конический, 3 мм; Плоский, 12 мм.	2	10	Разрушился в процессе закрепления на установку
35 x 100	2500	Винтовой, 5 мм; Винтовой, 18 мм.	2	5	707 ± 304



# Точечная СТП разнородных материалов

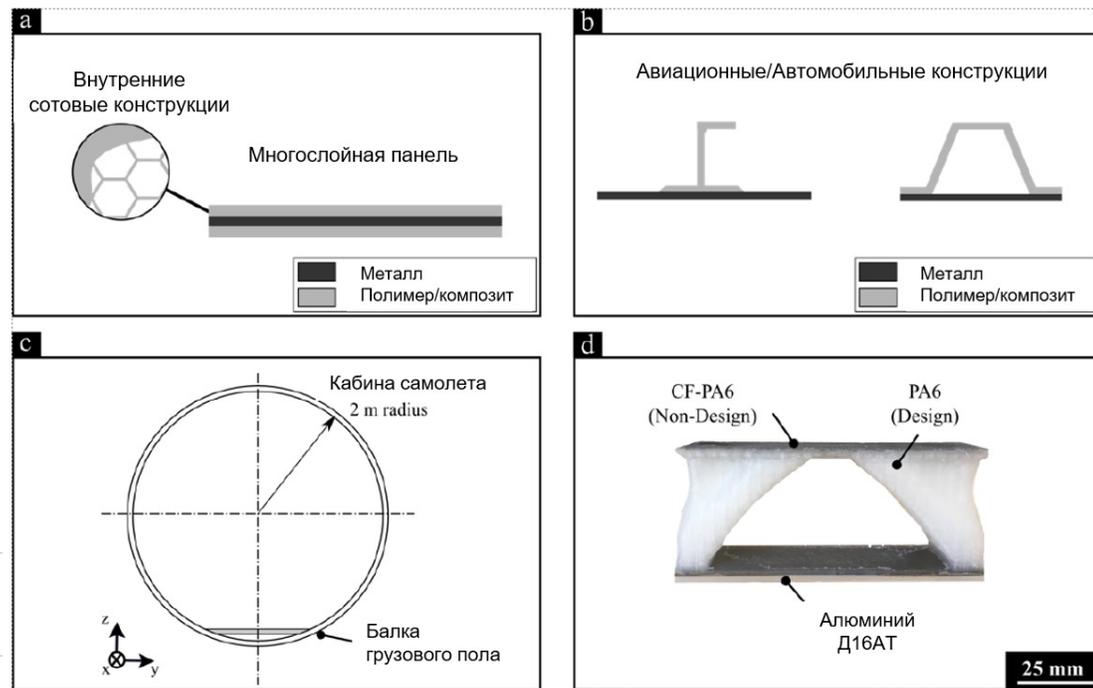
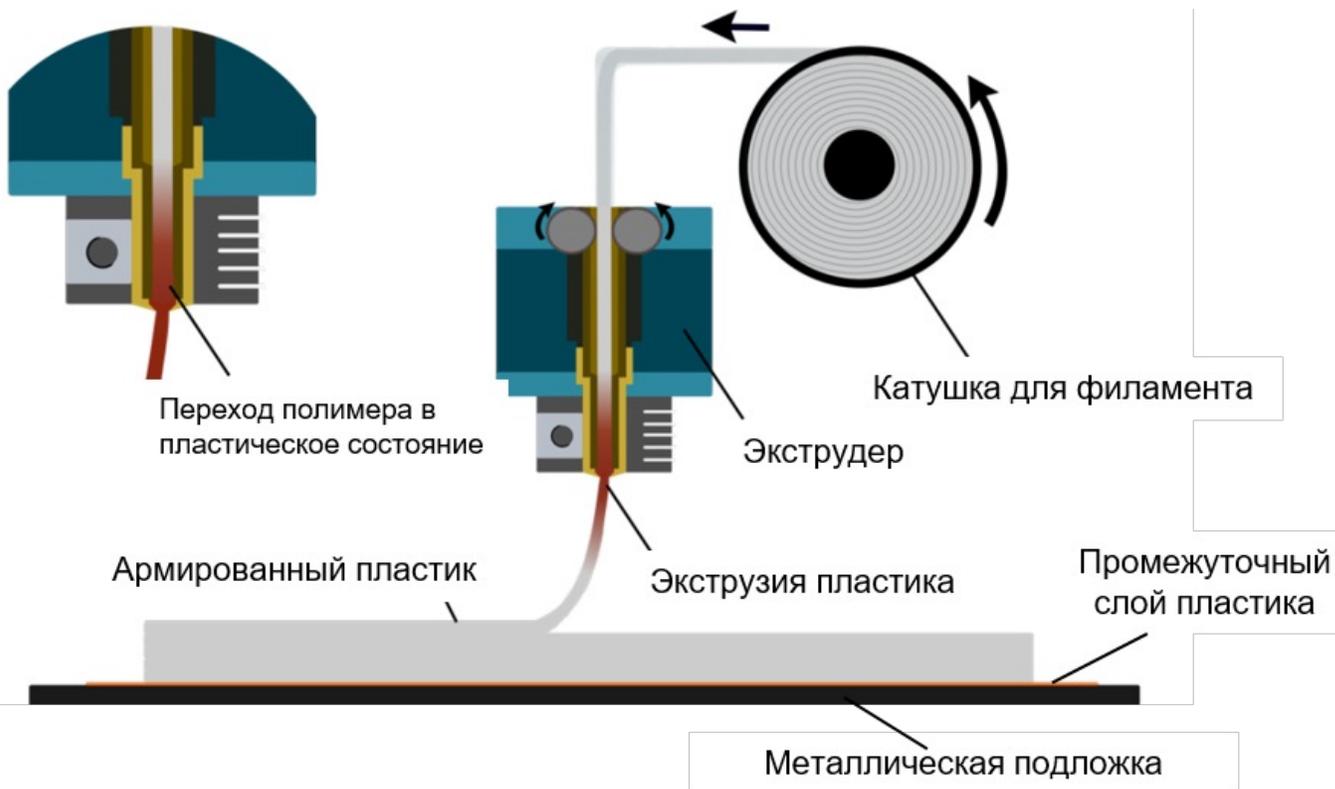


Размер образцов	Материалы	Метод	Тип наконечника; Тип заплечика	Параметры	Прочность на растяжение	Ссылки
40 x 100 x 3	AMr5/ ПЭТ	ТСТП, соединение е внахлест	Конический, Плоский	СВ: 3000 мм/с, ГП: 0.4 – 0.7 мм, ВВ: 2с	350-950 Н	[ <i>Yusof F u др.</i> 2016] [11]
25.4 x 100	Д16/CF - PPS	ТСТП, соединение е внахлест	Наконечник, Заплечик	СВ: 1000- 2900 мм/с, ГП: 0.5-0.8 мм, ВС: 4-6.8 с, СС: 6.8 – 13.8 кН	15-43 МПа	[ <i>Goushiger S.M u др.</i> 2014] [13]
25.4 x 100	AZ31 – PPS/CF - PPS	ТСТП, соединение е внахлест	Наконечник, Заплечик	СВ: 900- 3000 мм/с, ГП: 0.25-0.35 мм, ВС: 4-8 с, СС: 2.4 – 3 бар	22 МПа	[ <i>Amancio-Filho S.T. u др.</i> 2011] [14]
20 x 100	Медь/ ПММА	ТСТП, соединение е внахлест	Конический, Плоский	СВ:1000- 2000 мм/с, ГП: 2 – 4 мм, ВВ: 4-8 с	234 – 489 Н	[ <i>Pandey A.K. u др.</i> 2019] [12]

Размер образцов	Параметры	Наконечник	Прочность	Прочность(на -конечник)	Прочность (заплечик)
25 x 100	3500 об/мин, 2 мм/мин, 2 с	Конический (3 мм); 12 мм заплечик	2352 Н	83 МПа	5 МПа

# Технология AddJoining

Новая технология соединения металл/пластик и создания слоистых материалов



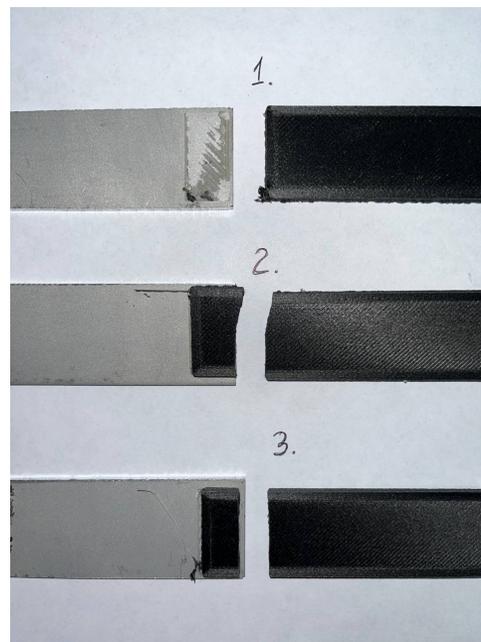
Примеры потенциального применения AddJoining: (a) многослойная панель с внутренними сотовыми заполнителями, (b) обшивка-стрингер или V-стойка для авиационных и автомобильных конструкций. Кроме того, (c) схематический вид фюзеляжа самолета с (d) оптимизированной балкой грузового пола, напечатанной на 3D-принтере.

# Технология AddJoining

Поверхность металлической пластины обрабатывается пескоструем до определенной шероховатости, далее печатается первый слой методом FDM на 3-Д принтере с использованием полимера ПА11, после печати первого слоя пластина нагревается до температуры плавления полимера (примерно 270 С), после схватывания полимерного слоя с металлической пластиной печать детали продолжается с использованием карбонового полимера PA12-CF. Нагрев пластины возможен прямо во время печати



Стрингер. Соединение металл (пластина Д16АТ) и углепластик (РА12-СF) с промежуточным слоем из РА11 методом прямой печати



Номер образца	Материалы	Размеры	Предельная нагрузка
1.	Д16АТ/ РА12-СF и РА11	Толщина алюминиевой пластины – 2 мм Толщина полимерной пластины - 3 мм Соединение: 25x12 мм	Разрушилась полимерная часть 3255,1 Н 43 МПа
2.	Д16АТ/ РА12-СF и РА11	Толщина алюминиевой пластины – 2 мм Толщина полимерной пластины - 3 мм Соединение: 25x12 мм	Разрушилась полимерная часть 3386,5 Н 44 МПа
3.	Д16АТ/ РА12-СF и РА11	Толщина алюминиевой пластины – 2 мм Толщина полимерной пластины - 3 мм Соединение: 25x12 мм	10,8 МПа 3309,1 Н



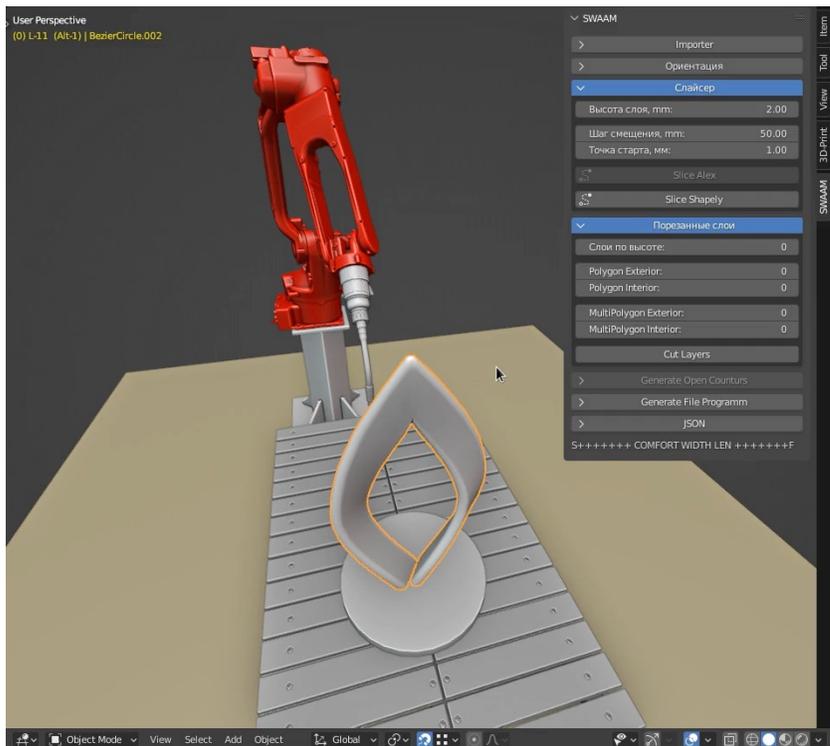
- Полимер PA11
- Полимер PA12-CF
- Алюминий Д16АТ



# Электродуговое выращивание



Для реализации технологии используется разработанное нами оборудование для электродугового выращивания. В настоящее время у нас 5 установок, 3 в разработке для конечного потребителя. Мы также разработали собственное программное обеспечение для подготовки кода управляющих программ из CAD моделей

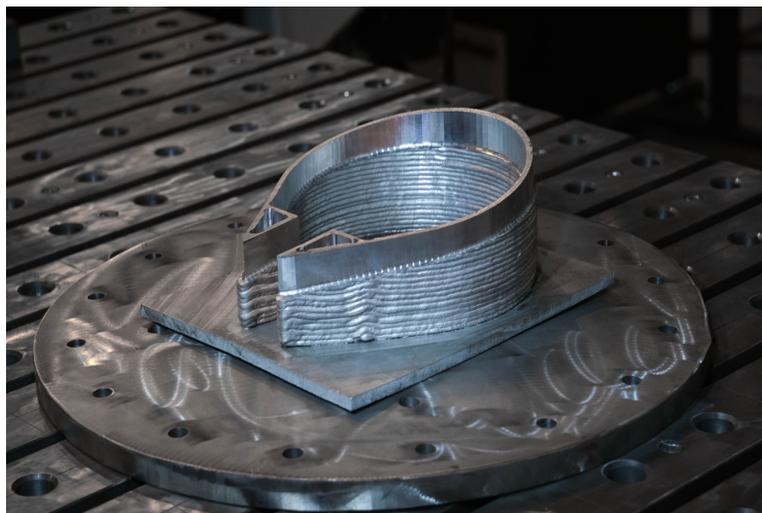


# Электродуговое выращивание



Сочленение  
робота

Топ мачты



Корпуса редукторов



Крыльчатка

Корпус батареи



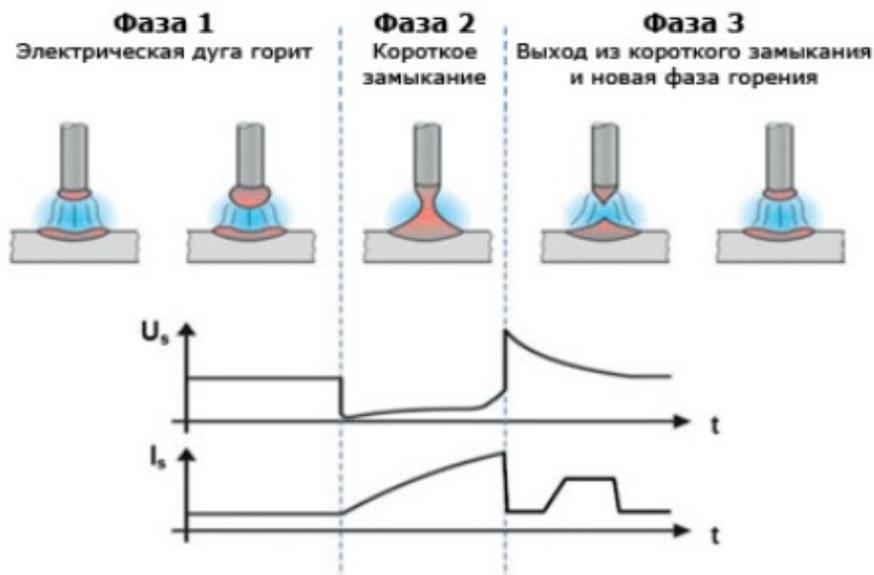
Обода колесных дисков

# Электродуговая сварка тонких листов



Для тонких листов были разработаны специальные типы переноса металла при сварке плавящимся электродом: Fronius – CMT, EWM – ColdArc; Lorch – SpeedCold, Panasonic – ActiveWire и др. Они все базируются на короткозамкнутом переносе и импульсной подаче мощности именно в момент наличия промежутка между проволокой и свариваемой заготовкой. Перенос расплавленного материала проволоки осуществляется за счет поверхностного натяжения. Технология позволяет осуществлять сварку тонких листовых заготовок, а также электродуговую пайку.

## Специальный тип переноса материала



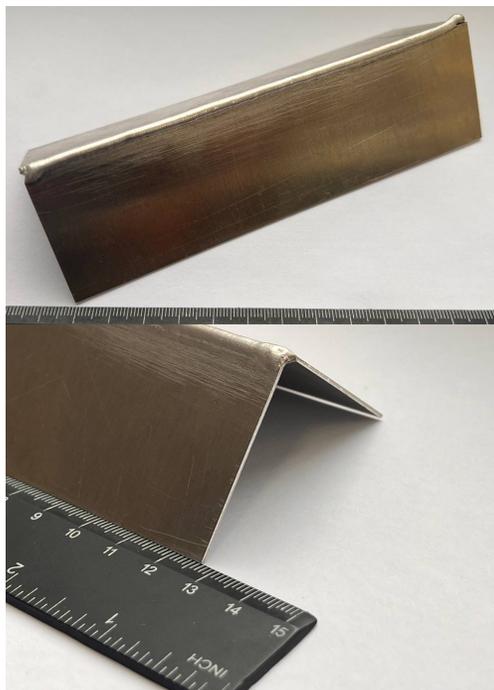
Перенос материала



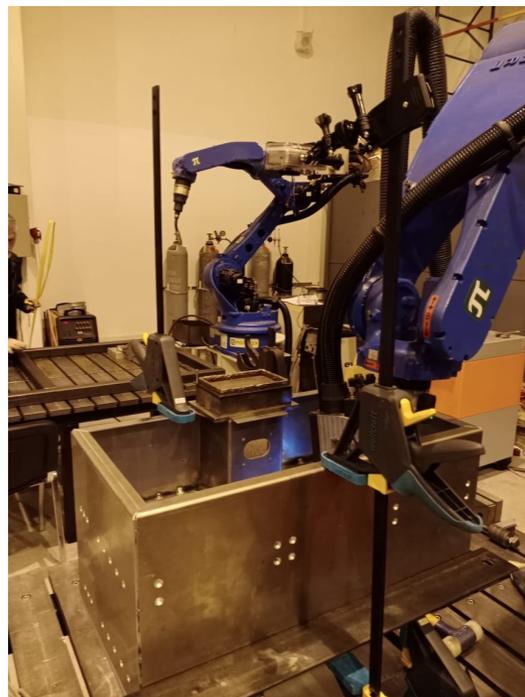
# Автоматизация процесса сварки



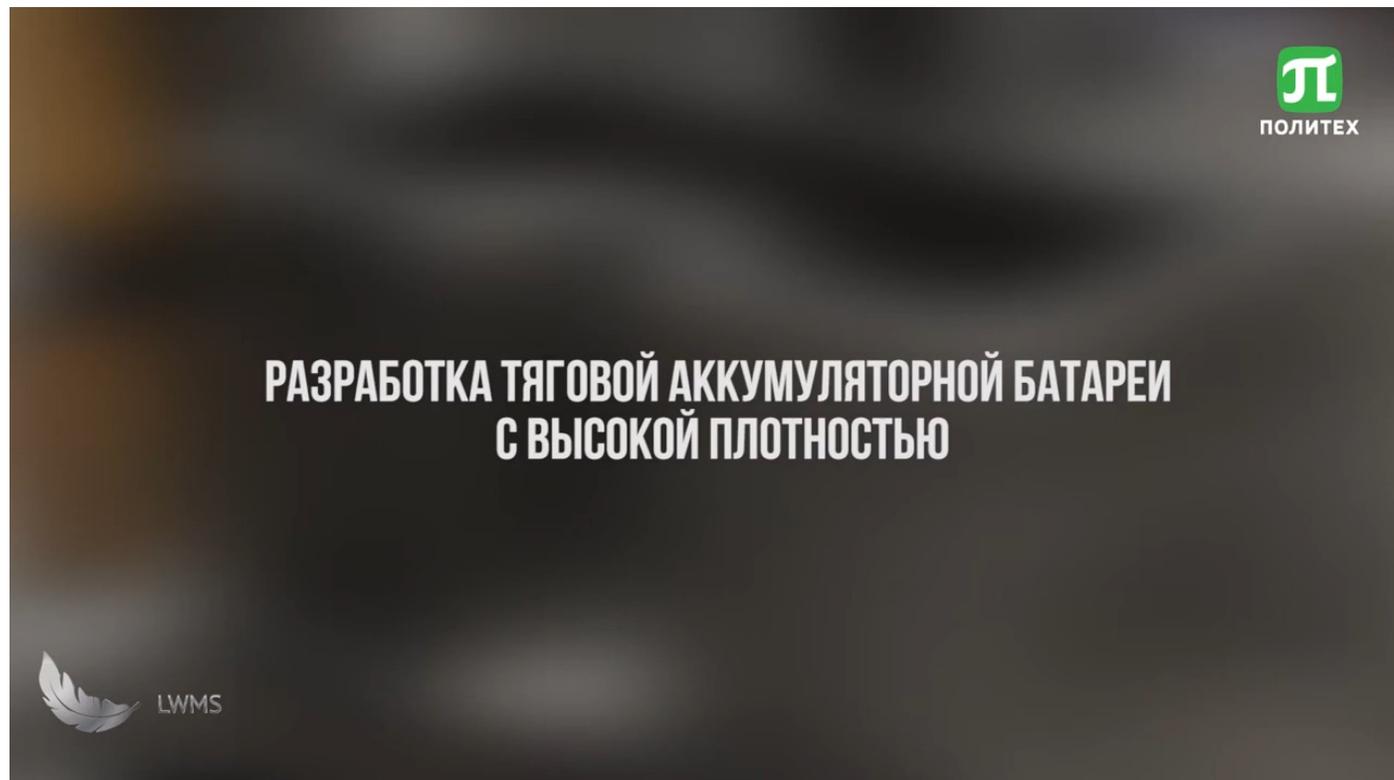
Технологический концепт подобного переноса материала делает его сложно реализуемым для ручной сварки, требуется автоматизация – использование роботизированных систем. В нашем оснащении есть 2 роботизированные системы реализующие CMT и ColdArc процессы.

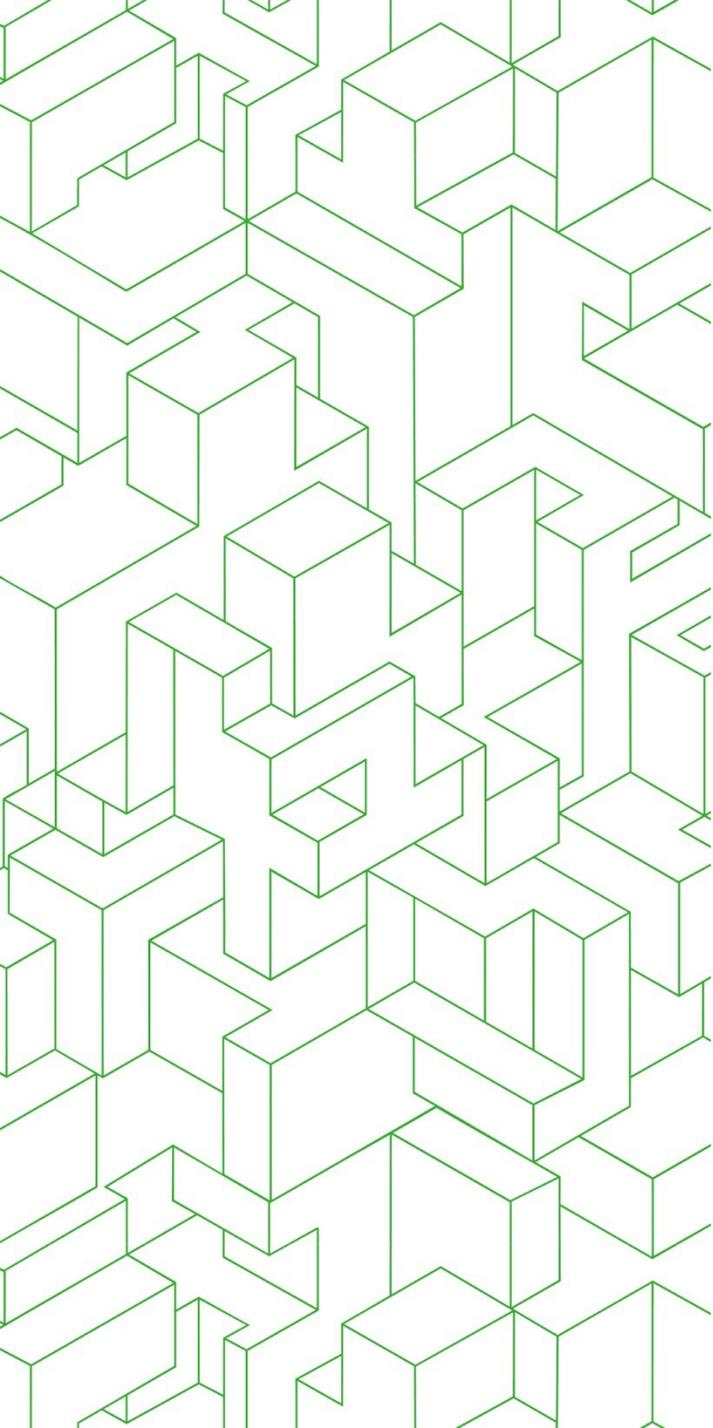


Пример дуговой сварки CMT AMg5 толщина 1 мм



Пример дуговой сварки AMg5 толщина 1 - 2 мм при изготовлении корпуса батареи





946 86 99  
+7(921)418 73 94

[panchenko\\_ov@spbstu.tu](mailto:panchenko_ov@spbstu.tu)  
[anton.naumov@spbstu.ru](mailto:anton.naumov@spbstu.ru)

[lwms.spbstu.ru](http://lwms.spbstu.ru)