



Легкие материалы и конструкции

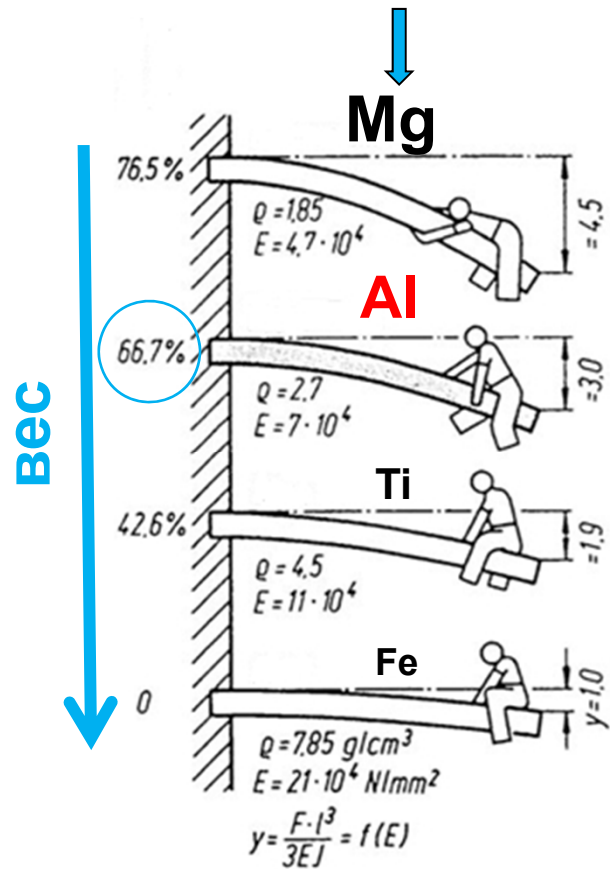
«Сэндвичи с алюминиевой пеной»

В. Г. Михайлов, С.В. Ганин

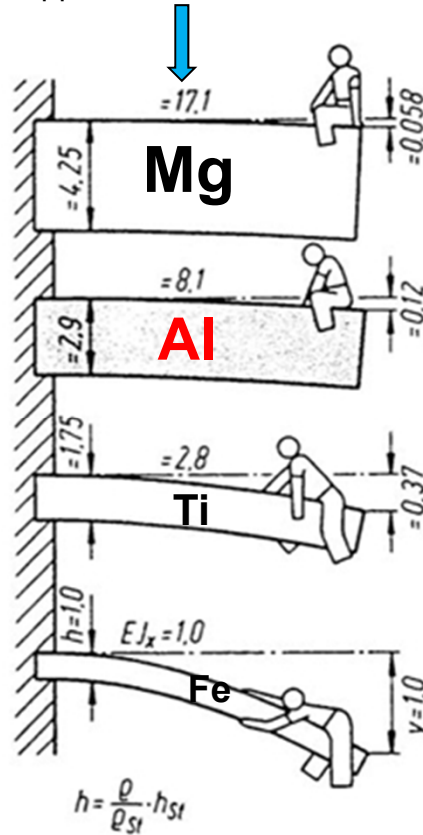
18 июля, Москва
МАКС 2017

Уменьшение веса применением легких материалов

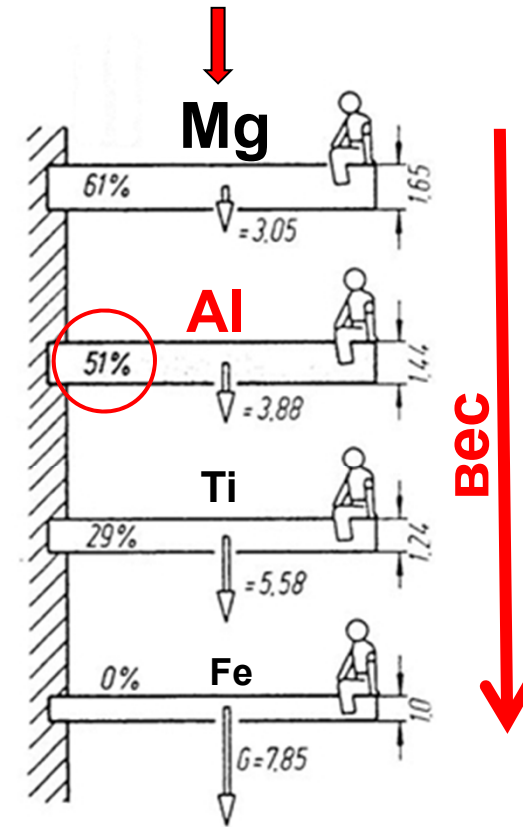
Одно и то же сечение/форма !



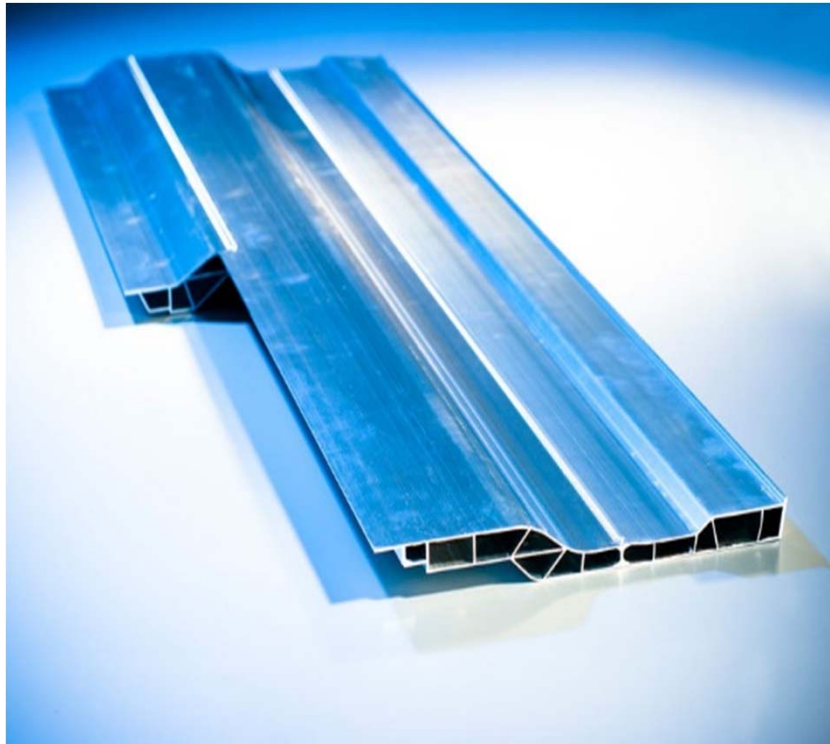
Одна и та же масса !



Одна и та же жесткость!



Уменьшение веса увеличением жесткости



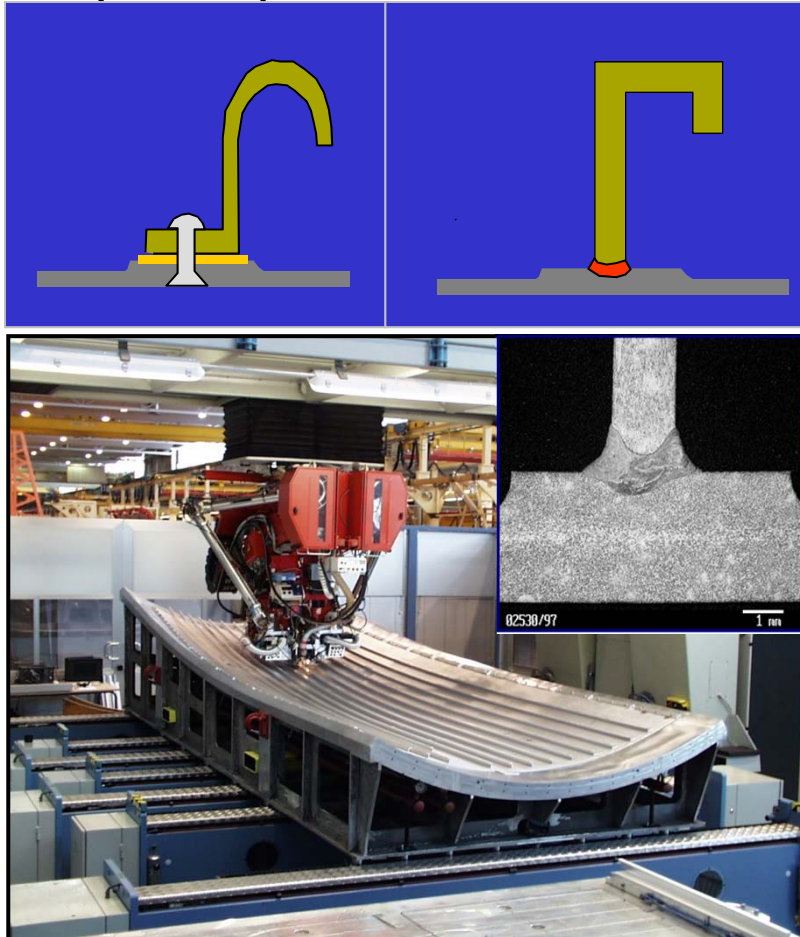
Audi R8

Дно автомобиля



Интегральные сварные конструкции

Лазерная сварка



Сварка трением с перемешиванием (СТП)

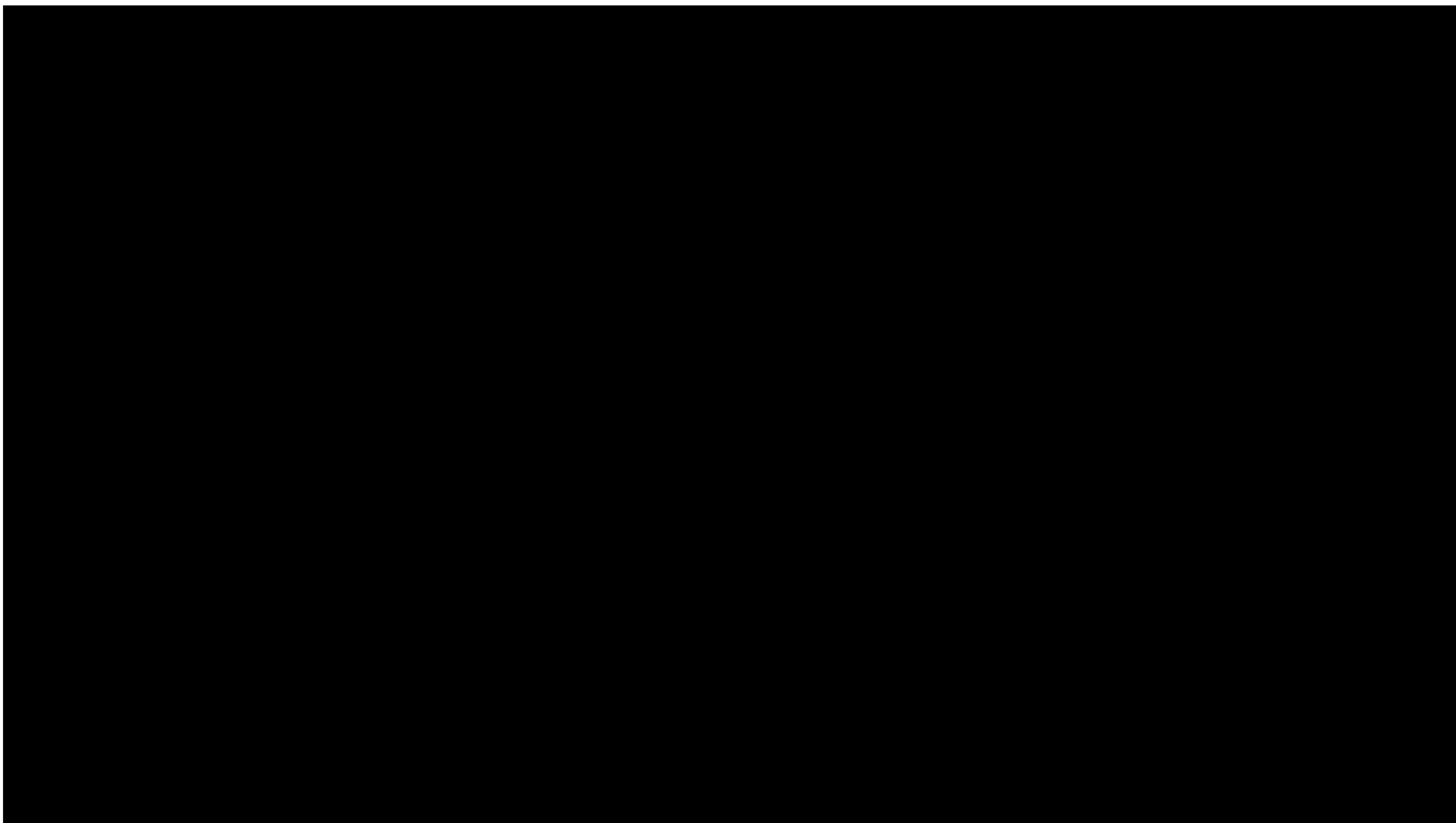


Сварка с уменьшенным тепловложением



„Холодный“ перенос металла/CMT®

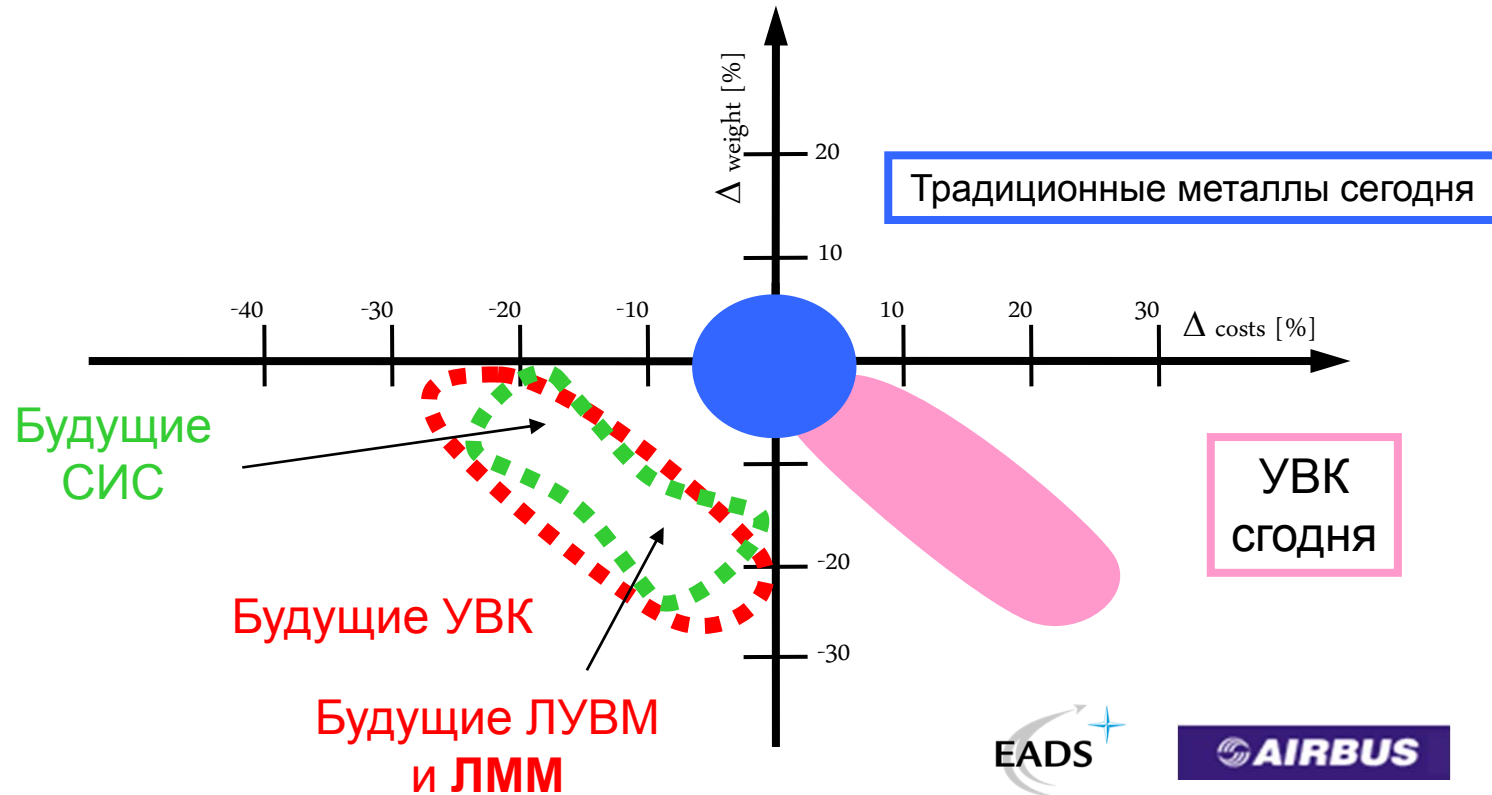
Импульсная сварка трением с перемешиванием (ИСТП)



Потенциал легких материалов в конструкциях

Например, в авиации в соревновании будут находиться разные технологии и материалы

- Сварные интегральные структуры (СИС)
- Углеродно-волоконистые композиты (УВК) и ламинаты, волокно-метал (ЛУВМ) и металл-метал (ЛММ)



Сэндвич с алюминиевой пеной (САП)

- САП: внешний слой ► деформируемый сплав
внутренний слой ► алюминиевая пена
- Производство:
 - перемешивание порошка
 - компактирование порошковой смеси / производство листовых заготовок
 - вспенивание при 670 - 700 °С
- Преимущества САП:
 - Низкая плотность, 0,5-0,9 г/см³
 - Высокая демпфирующая способность
 - Высокая жесткость при изгибе и кручении
 - Хорошие противопожарные свойства
 - Возможность деформирования и сварки перед вспениванием и сварки в вспененном состоянии

САП	Внешн. слой	Внутр. слой
12 [мм]	1+1	10



Сэндвич с алюминиевой пеной в поперечном сечении, сверху - невспененное, снизу - вспененное состояние

Области применения САП



Транспорт и энергетические установки

- повышает энергоэффективность
- перерабатываем



Машиностроение и строительство

- поглощает вибрации



Защита

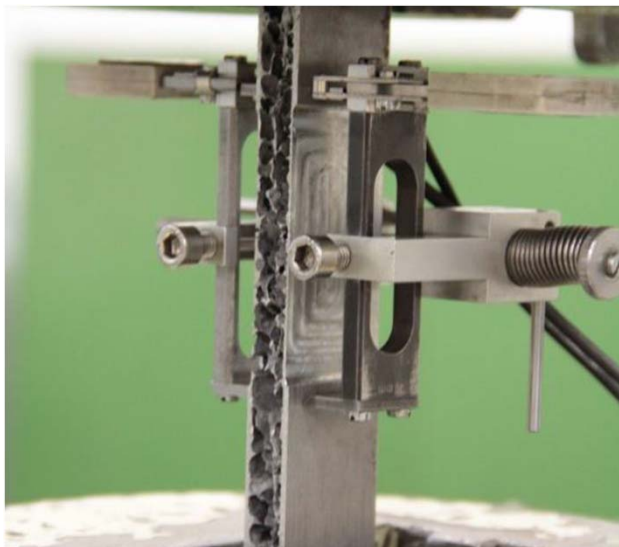
- поглощает энергию удара
- поглощает шум
- огнестойкий



Свойства основного материала, испытания на растяжение



- Испытания на растяжение для определения свойств отдельных компонентов сэндвича (внешний лист/пена)



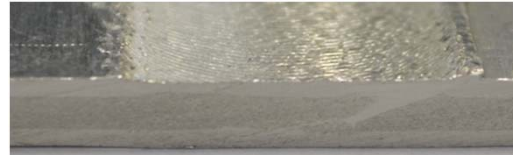
Материал	Толщина, мм	Ширина, мм	Напряжение, МПа
Сэндвич	12,39 - 12,44	29,94 - 30,15	26 - 29
Внутренний слой - Пена, AlMg3Si6	10,31 - 10,54	29,97 - 30,03	2 - 5
Внешние листы, AlMgSi1	0,9 - 1,4	29,94 - 29,96	173 - 184

Сварка в невспененном состоянии

Сварка трением с перемешиванием (СТП):

- фрезеровка кромок перед сваркой является достаточной обработкой
- Односторонняя сварка САП
=> разработка специальной формы наконечника для уменьшения вертикального перемещения материала

Односторонняя сварка



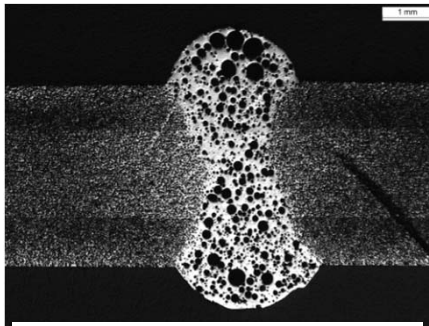
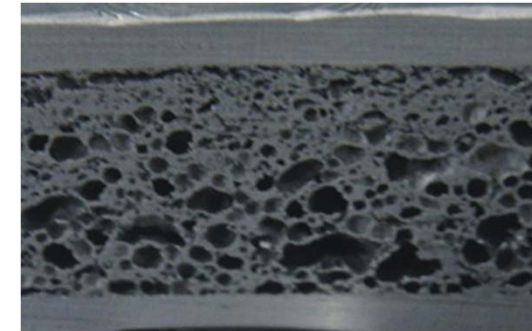
Двусторонняя сварка



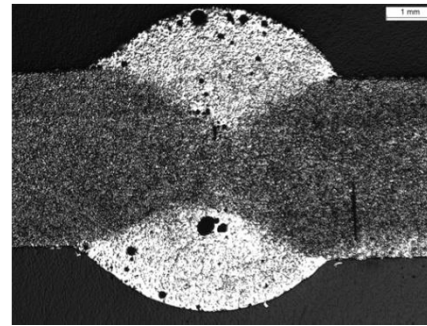
Сварка плавлением:

- вспенивание сварного шва при плавлении внутреннего слоя (1);
- при проваре только внешнего слоя низкая пористость (2);
- затруднения из-за неравномерной толщины внешнего слоя (3).

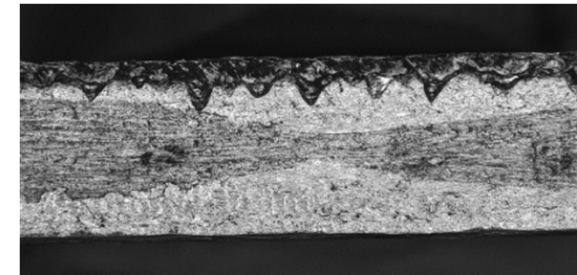
После
вспенивания



(1) Поры в сварном шве



(2) Сварка внешнего слоя

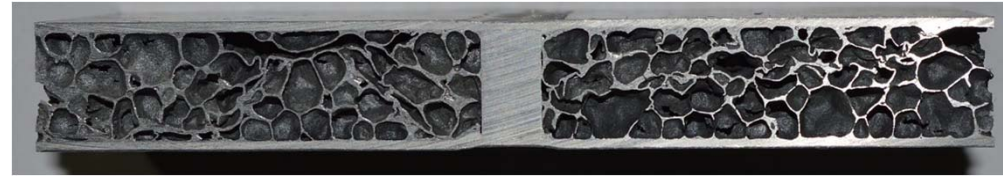


(3) Продольный шлиф, переменная толщина внешнего слоя

Сварка в вспененном состоянии

Сварка трением с перемешиванием:

- доработка пены в области сварного шва
- использование вставки (алюминиевый профиль)
- двусторонняя сварка САП
- глубина погружения наконечника 2 мм



СТП сэндвича с использованием вставки

Сварка короткой «холодной» СМТ® дугой:

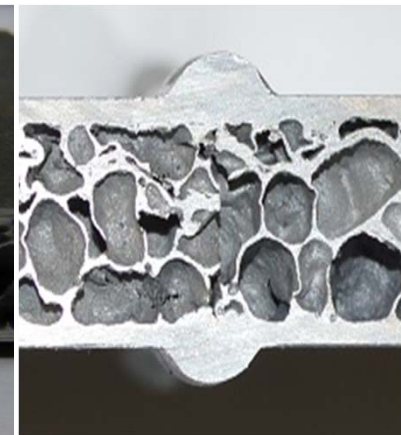
- проволока AlMg4,5Mn, диаметром 1,2 мм



Общий вид таврового узла



Общий вид стыкового узла



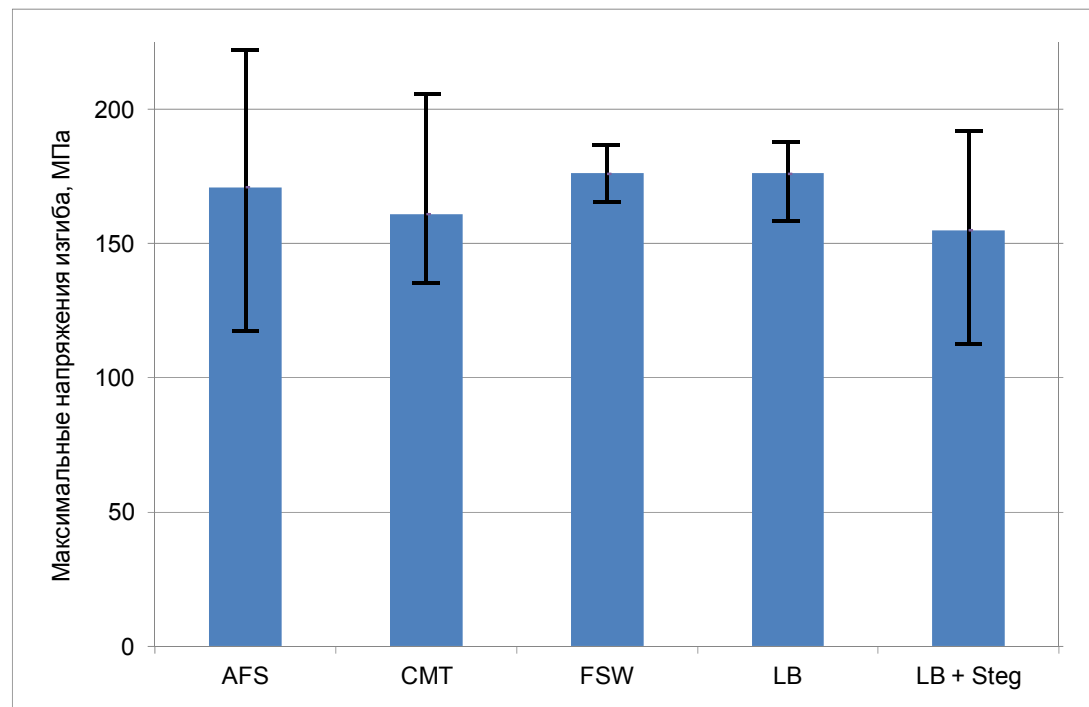
Поперечное сечение стыкового узла

Свойства САП и сварных узлов, испытания на четырехточечный изгиб



- Испытания на четырехточечный изгиб с замером прогиба

- Свойства сварных стыковых узлов на уровне основного материала САП



Испытания на консольный изгиб тавровых узлов



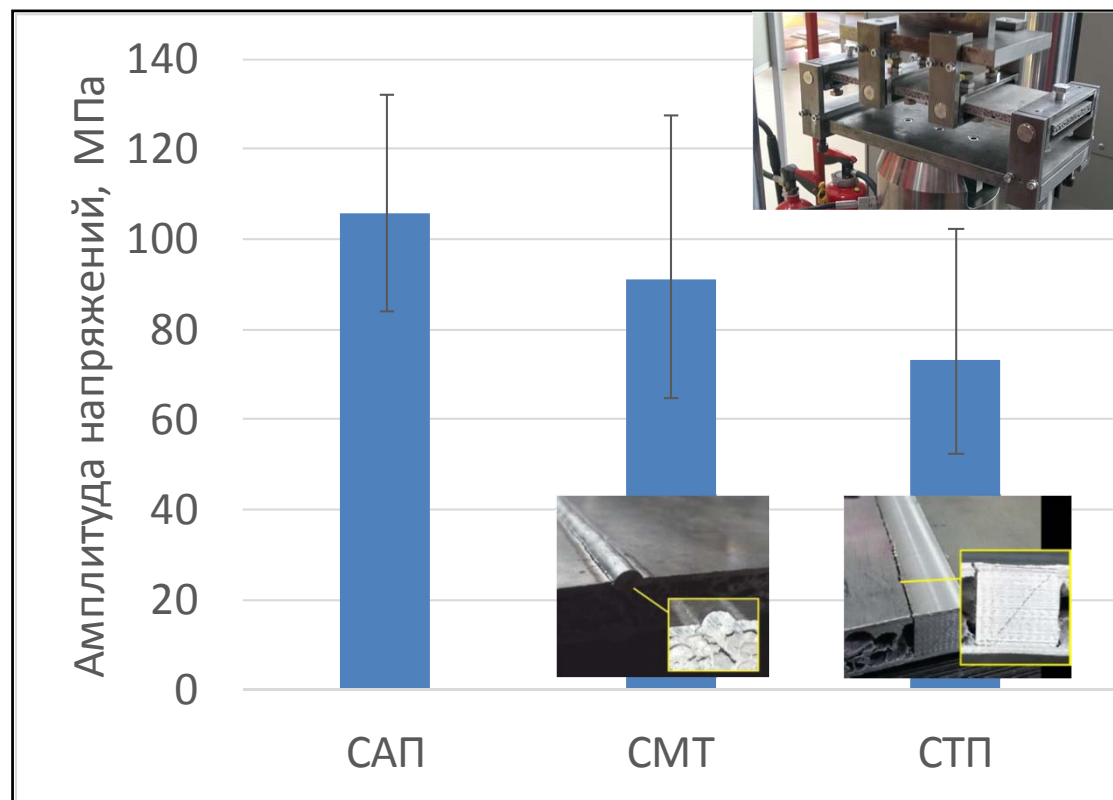
Испытания Т- образных сварных узлов на консольный изгиб показывают:

- Разрушение образца начинается в вспененном слое, при сравнимых с полученными при испытании на растяжении напряжениями в пене около **5 МПа**
- При нарастания нагрузки, разрушение может перейти во внешний слой

- Упрочнение вспененного Al наноструктурами !

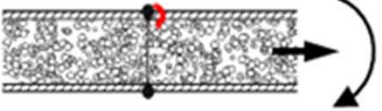
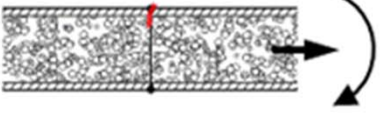
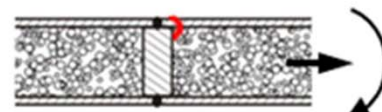
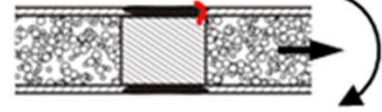
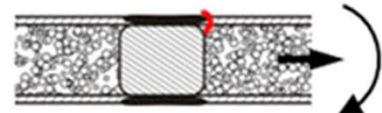
Результаты циклических испытаний САП

- Циклическая прочность при 10^5 циклов, $R = -1$, $P = 2,5\%$, $P = 50\%$ и $P = 97,5\%$



- Циклическая прочность сварных узлов, изготовленных короткой дугой (СМТ®) приближается к уровню прочности основного материала.

Каталог узлов

№	Сварной узел	Описание	FAT	Подготовка кромок	Сварка
213 (212)		Поперечно нагруженный стыковой шов; Положение сварки нижнее; Трещина на переходе к основному металлу; Угол усиления шва > 50°	25 (36)	Фрезеровка	Короткой дугой - СМТ Присадка - AlMg4,5Mn, 1,2 мм; Сварочный ток - 74 А; Напряжение - 8,2 В; Скорость сварки - 0,565 м/мин
217		Поперечно нагруженный с неполным проваром внешних слоев стыковой шов; Положение сварки нижнее; Трещина в шве	12	Фрезеровка, без зазора и смещения кромок	Лазерная, импульсная (волоконный лазер) Присадка - AlMg4,5Mn, 0,8 мм; Мощность - 3850 W; Время импульса - 7ms; Время паузы - 10 ms; Скорость сварки - 1,98 м/мин
225 (215)		Поперечно нагруженный стыковой шов с вставкой-трехлистовой шов; Положение сварки нижнее; Трещина на переходе к основному металлу	22 (25)	Фрезеровка, однородная вставка шириной 4 мм	Лазерная, импульсная (волоконный лазер) Присадка - AlMg4,5Mn, 0,8 мм; Мощность - 4700 W; Время импульса - 7 ms; Время паузы - 10 ms; Скорость сварки - 1,98 м/мин
225		Поперечно нагруженный стыковой шов с вставкой-трехлистовой шов; Положение сварки нижнее; Трещина от кромки вставки в верхний лист	22	Фрезеровка, однородная вставка шириной 12 мм	Трен. с перемешив. FSW Диаметр плеча - 12 мм; Высота пина - 1 мм; Скорость вращения - 1000-1500 /min;
225 (215)		Поперечно нагруженный стыковой шов с вставкой-трехлистовой шов; Положение сварки нижнее; Трещина на переходе к основному металлу	22 (25)	Фрезеровка, однородная вставка шириной 12 мм с округленными кромками 1 мм	Скорость сварки - 200-500 м/мин;

Моделирование, испытание и изготовление сварной конструкции

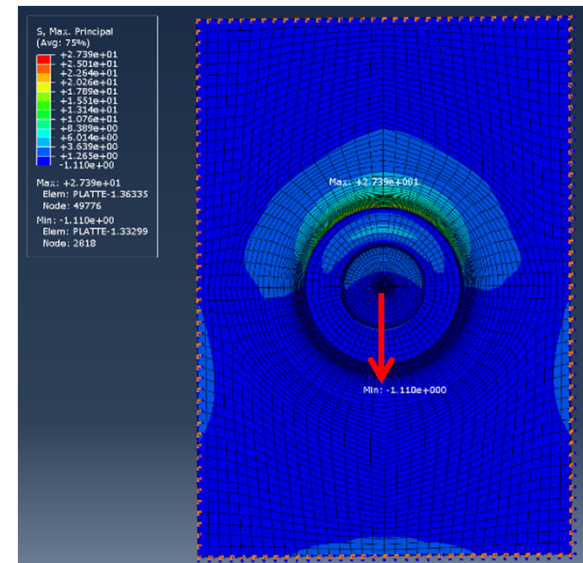
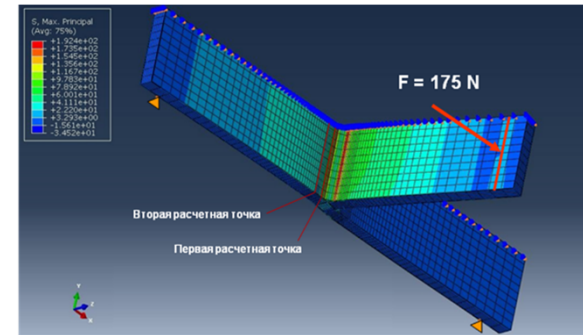


Рабочая платформа немецкой фирмы
Klaas Alu Kranbau

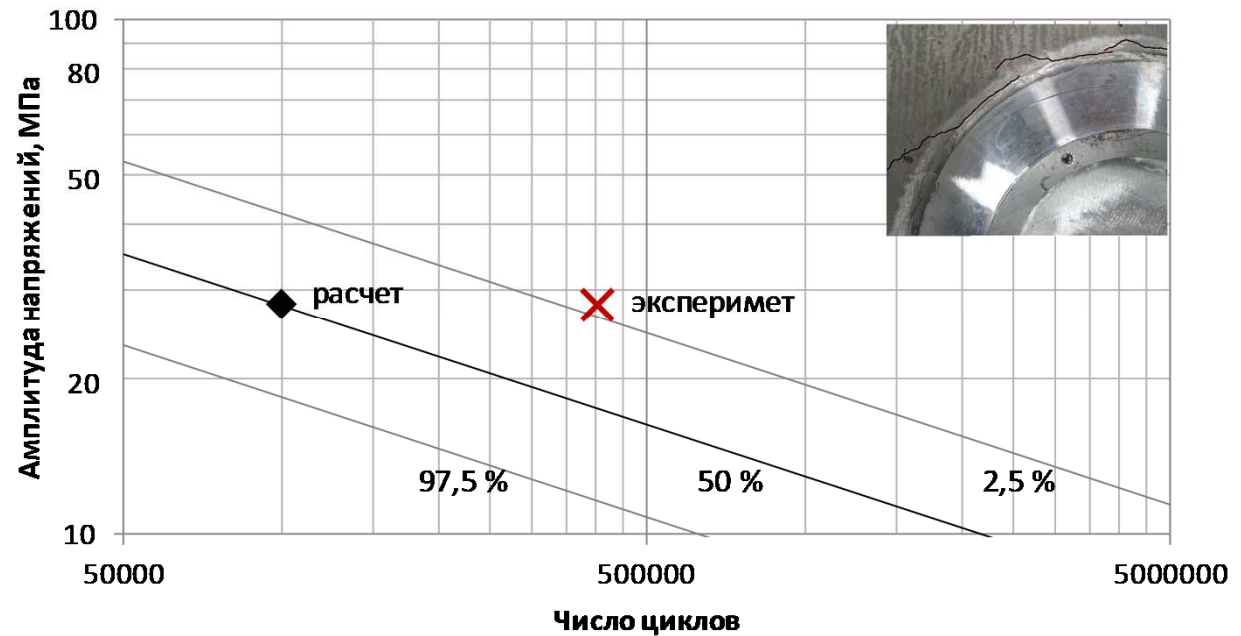


- С использованием МКЭ и концепта структурных напряжений рассчитана максимальная амплитуда напряжений (28 МПа) для многоциклового нагружки (10^5 циклов)

Определена соответствующая максимальная консольная сила (1,7 кН), действующая на диск



Циклические испытания сварных конструкций



- Ожидание: Отказ при числе циклов 10^5 ($P = 50\%$)
- Достигнутое число циклов 4×10^5 , место разрушения: трещина на переходе от углового шва к САП

Состав лаборатории



Ежегодные семинары лаборатории



Плавящийся в воде металл





Приглашаем Вас на семинар 5-6 октября в Санкт Петербурге