



**Инновационные системы лазерной  
сварки, лазерной очистки и  
покраски, автоматизации и  
роботизации производств  
судостроения. Мировая практика.**

**МГТУ «СТАНКИН»  
НИЦ АО «АВК»  
г. Москва | 2024 год**



Количество установленных промышленных роботов в мире 2013-2022г. 2023 г. –прогноз (тыс. ед.)

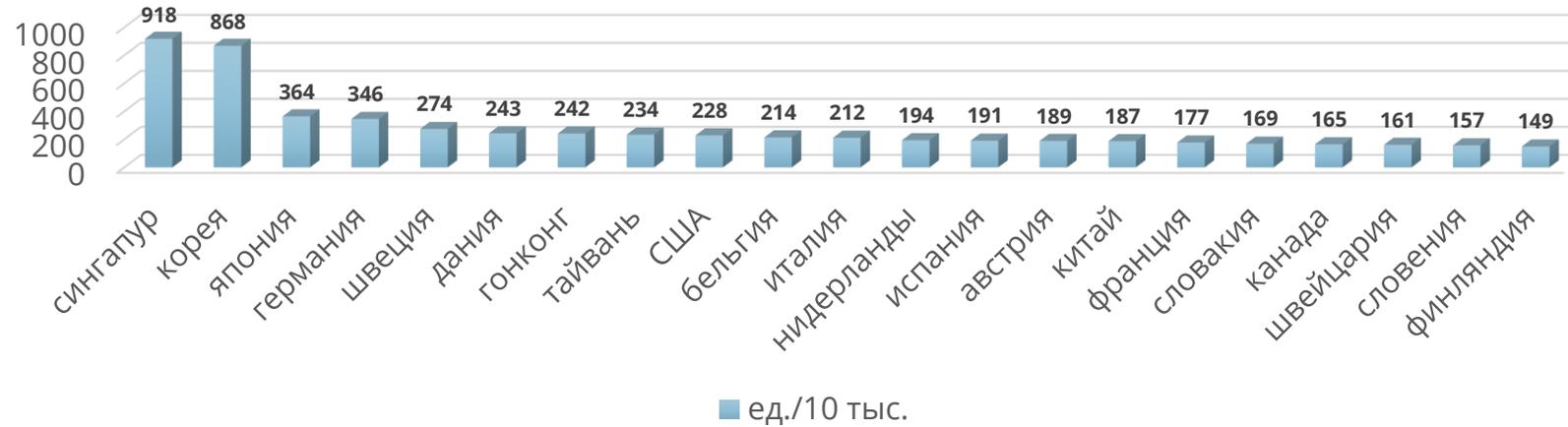


Ежегодная статистика установки промышленных роботов в различных регионах мира 2018-2022 г. 2023 г. - прогноз (тыс. ед.)

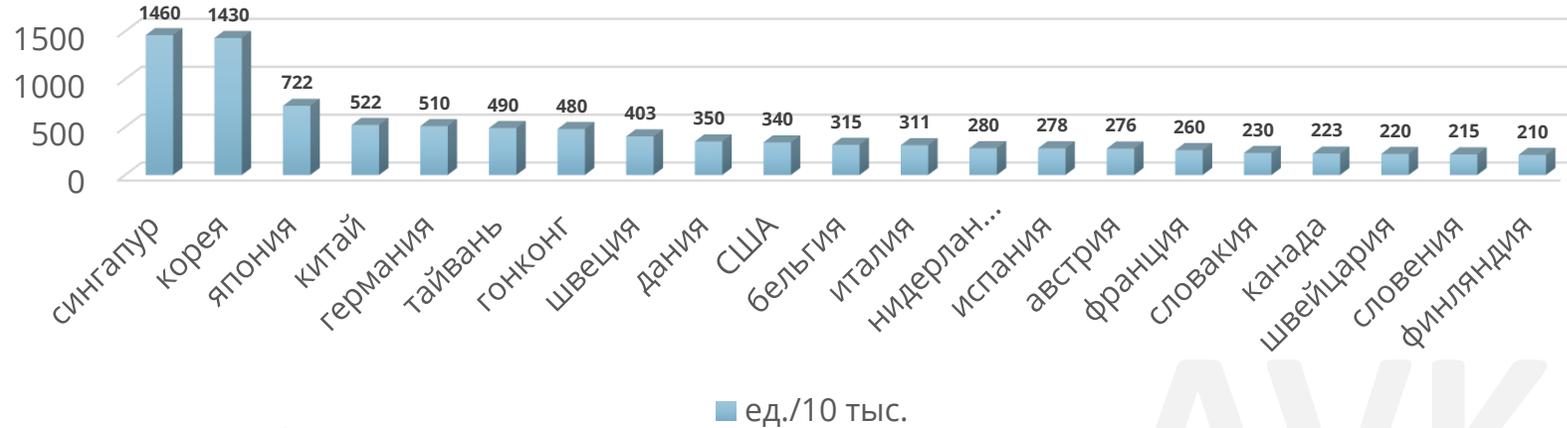


Источник: IFR Press Conference

Плотность роботизации по странам мира в 2019г. (промышленные роботы на 10 тыс. занятых)

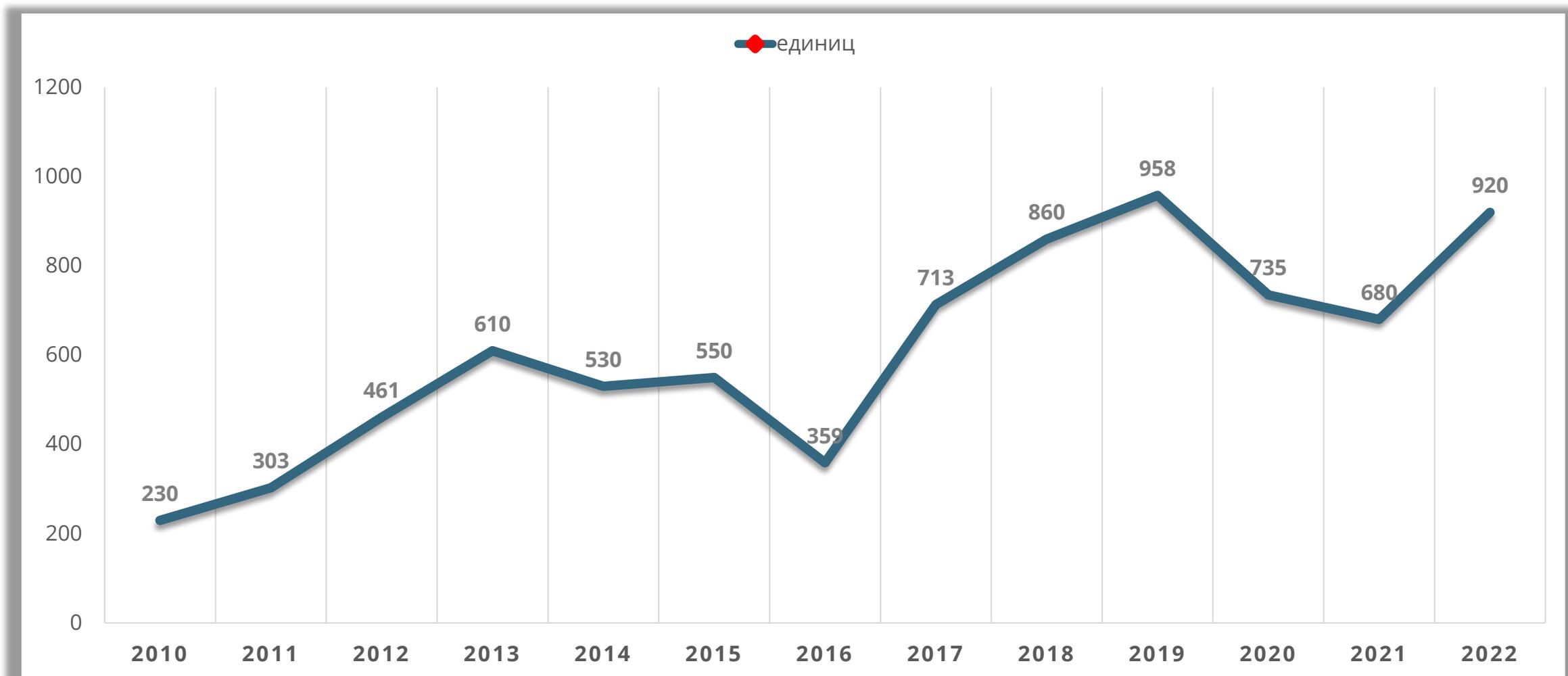


Плотность роботизации по странам мира, прогноз на 2023г. (промышленные роботы на 10 тыс. занятых)

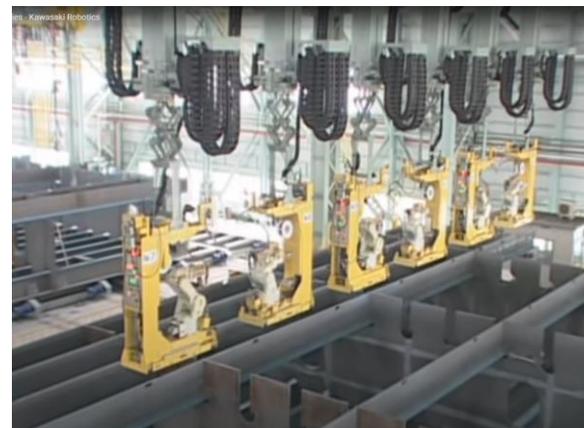


Источник: IFR Press Conference

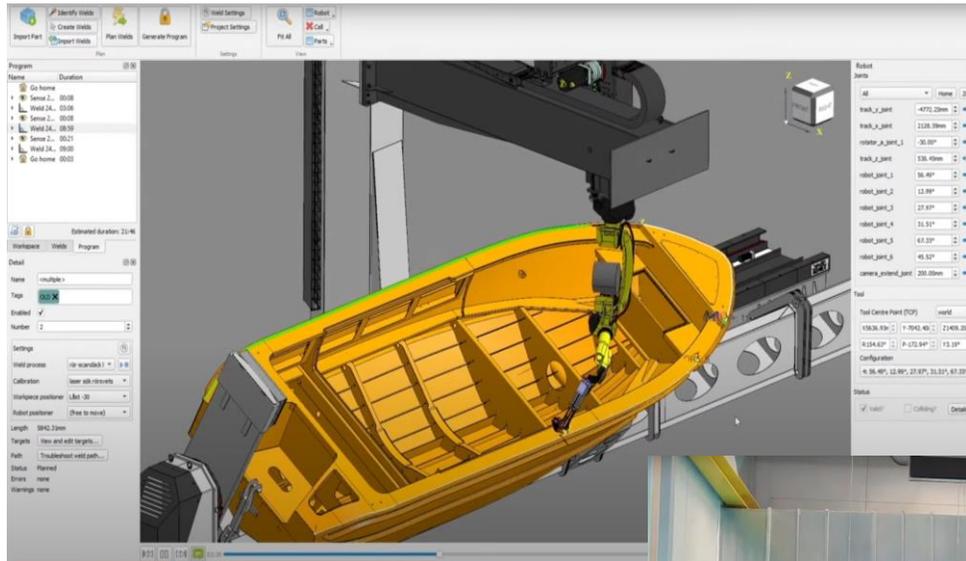
# Динамик продаж промышленных роботов в России, единиц.



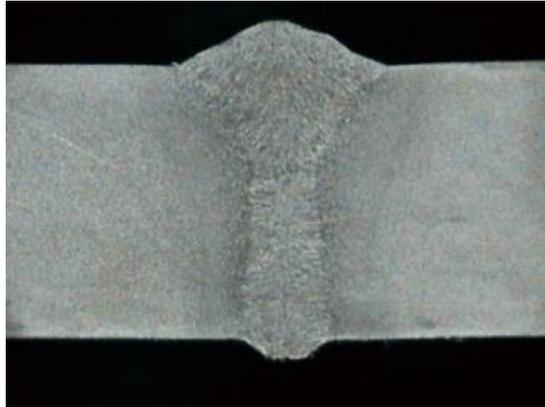
# Примеры роботизации и автоматизации сварки в мировом судостроении



# Примеры роботизации и автоматизации лазерной сварки в алюминиевом судостроении



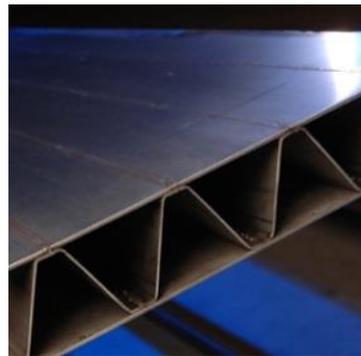
# Пример применения гибридной технологии сварки в Китае



- Высокая скорость сварки (до 1-5 м/мин)
- Сохранение геометрической точности конструкции (плоскостность)
- Прочность сварного шва на уровне основного материала
- Снижены требования к сборке кромок

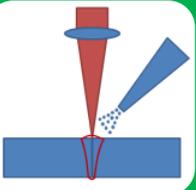
## Преимущество сэндвич-панелей:

- Высокая прочность
- Простота изготовления при помощи лазерных технологий
- Универсальность конструкции
- Модульность
- Экономическая эффективность



Роботизированный стенд на базе волоконного лазера YLS-6000

# Технологии лазерной сварки и оптические ГОЛОВКИ



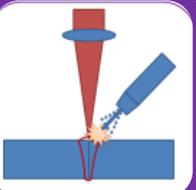
Лазерная сварка



Лазерная сварка с присадочной проволокой



Многопроходная сварка



Гибридная сварка



D30 (Horizontal)



D50 HP



D50 (Vertical)



D85 (Vertical)



HP Scanner



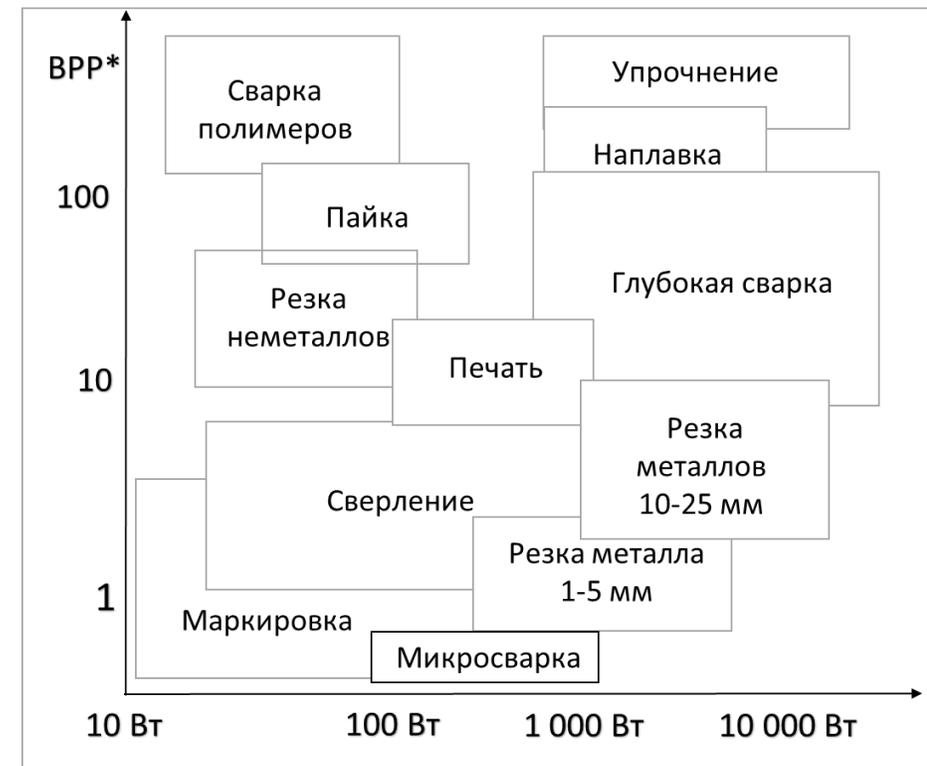
Wobble D30



Wobble D50

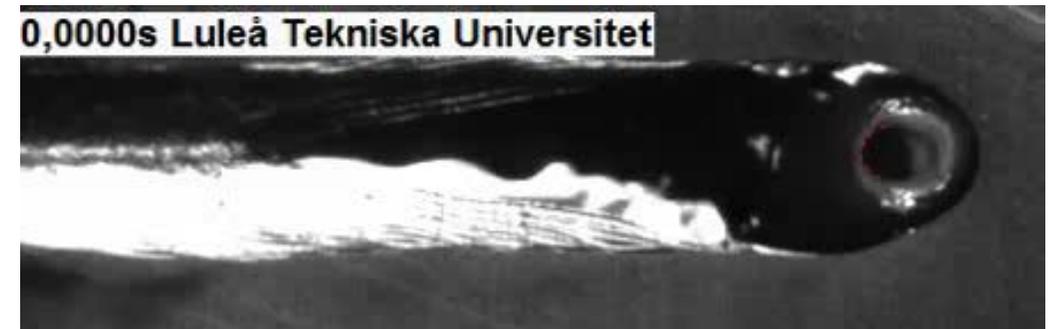
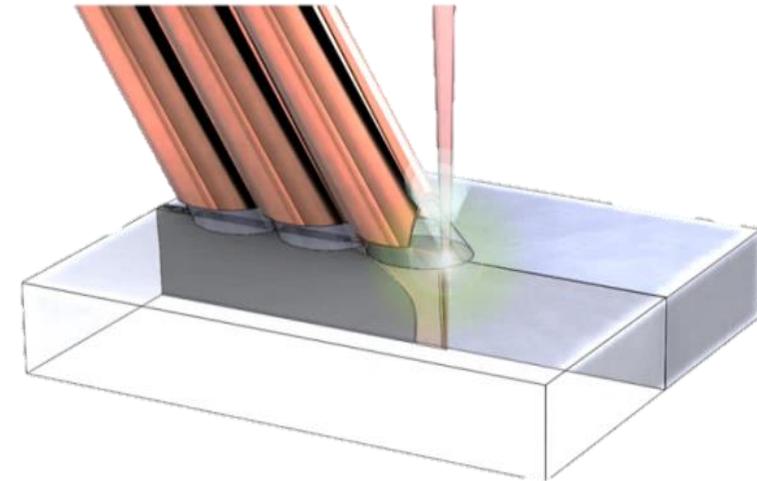


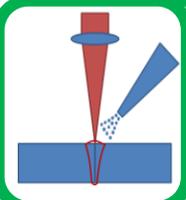
Wobble D85



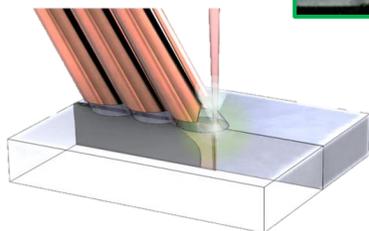
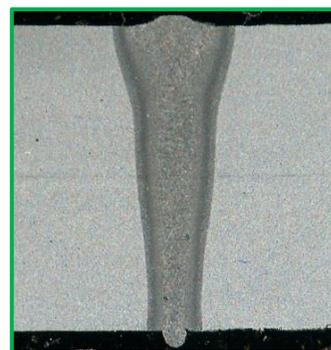
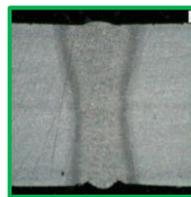
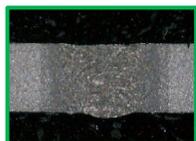
\*BPP - Качество пучка [mm-mrad] =  $\lambda[\mu\text{m}] \cdot M^2 / \pi = \theta_{1/2} \cdot r$

# Преимущества лазерной сварки

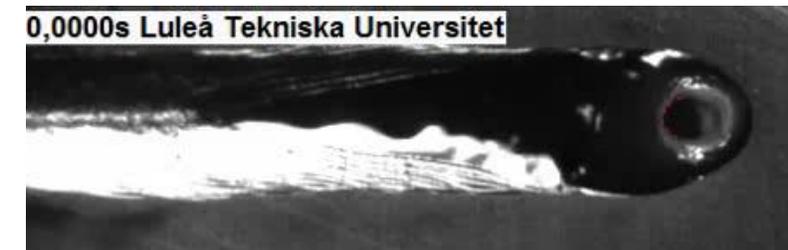


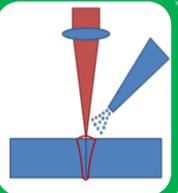


# Лазерная сварка низколегированных сталей

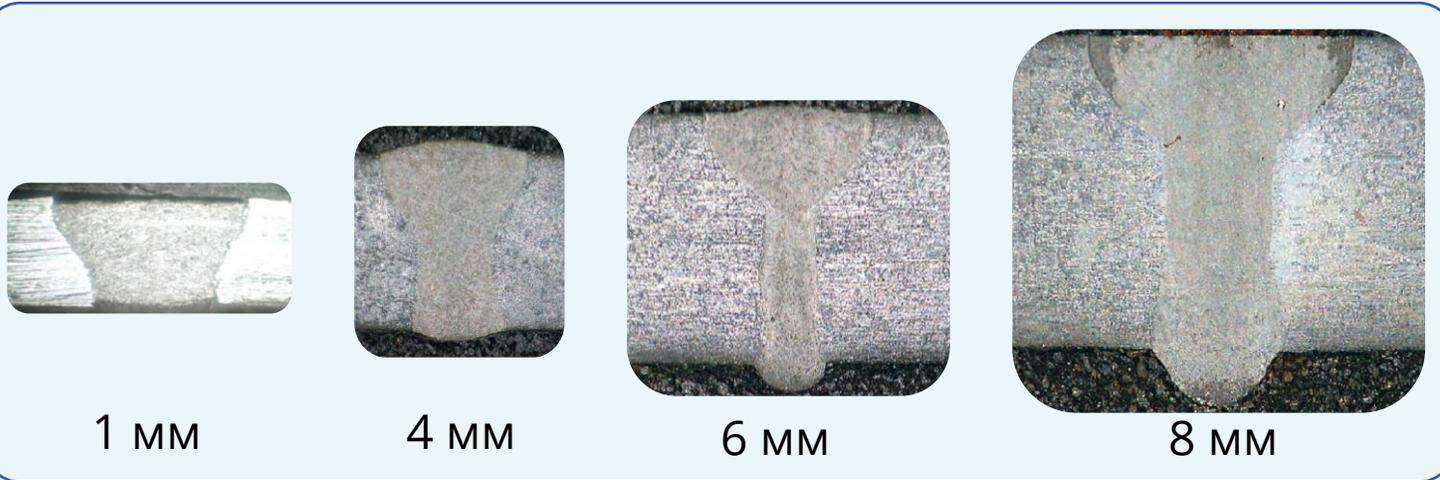


Материал	Толщина, мм	Мощность ЛИ, кВт	Скорость, мм/с	Прочность	Макс. зазор, мм
Низкоуглеродисты стали 08ПС, Ст 3, Ст10, Ст20, 355МС, 09Г2С, 10ХСНД	1	1,3	24	100%	0,1
	4	3,3	27	100%	0,3
	6	3,5	25	100%	0,3
	10	4,1	16	100%	0,5
	12	8	15	100%	0,6

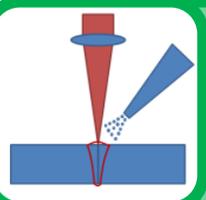




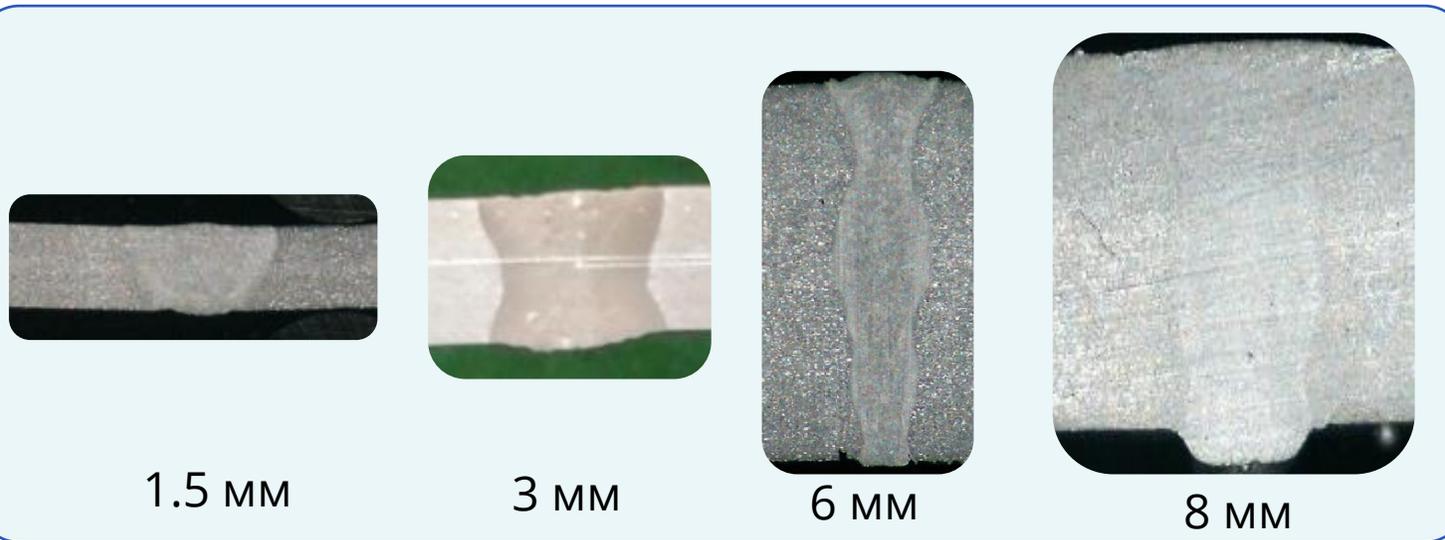
# Лазерная сварка нержавеющей стали



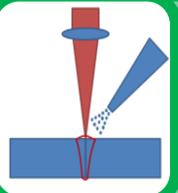
Материал	Толщина, мм	Мощность ЛИ, кВт	Скорость, мм/с	Макс. зазор, мм
Нержавеющие стали: 12X18H10T (AISI304), 12X17H13M2 (316), 08X18H10T (321)....	1	1,2	25	0,1
	4	4,0	17	0,3
	6	6,0	16	0,3
	8	8,0	20	0,5
	10	10,0	17	0,6



# Лазерная сварка алюминиевых сплавов



Материал	Толщина, мм	Мощность ЛИ, кВт	Скорость, мм/с	Макс. зазор, мм
Алюминиевые сплавы: Амц, Амг3, Амг6.....	1,5	3	65	0,1
	3	11,5	100	0,1
	6	4	92	0,4
	8	11	40	0,4



# Лазерная сварка цветных металлов



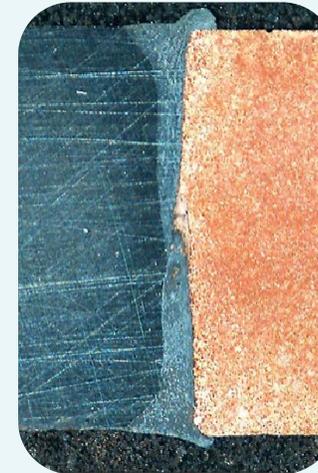
1 мм



3 мм



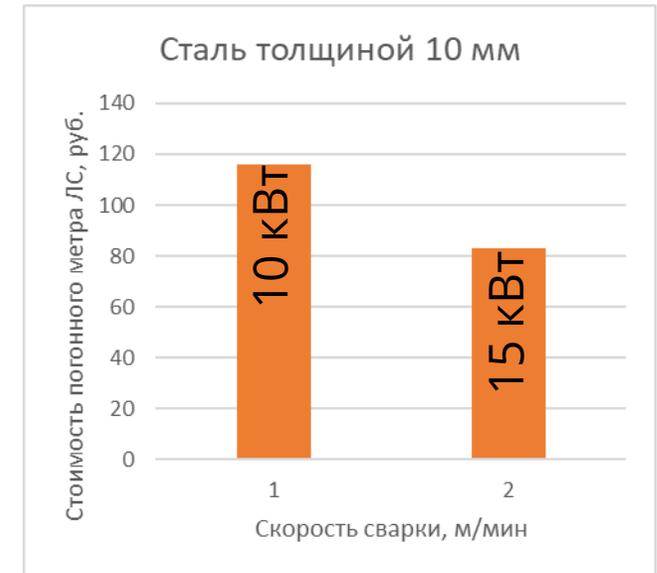
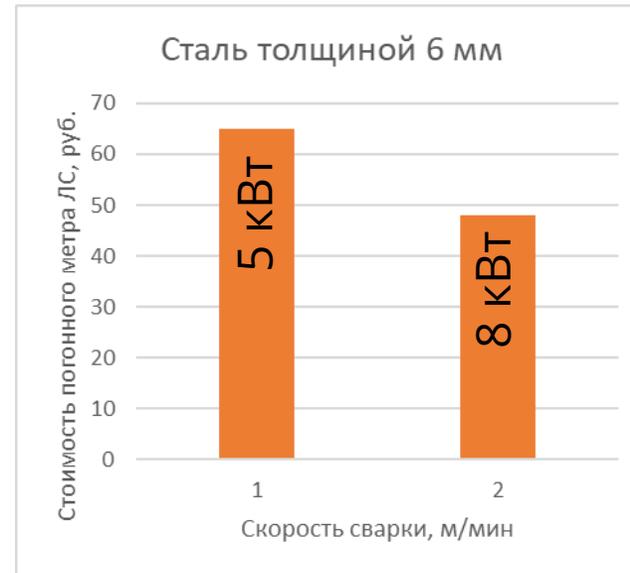
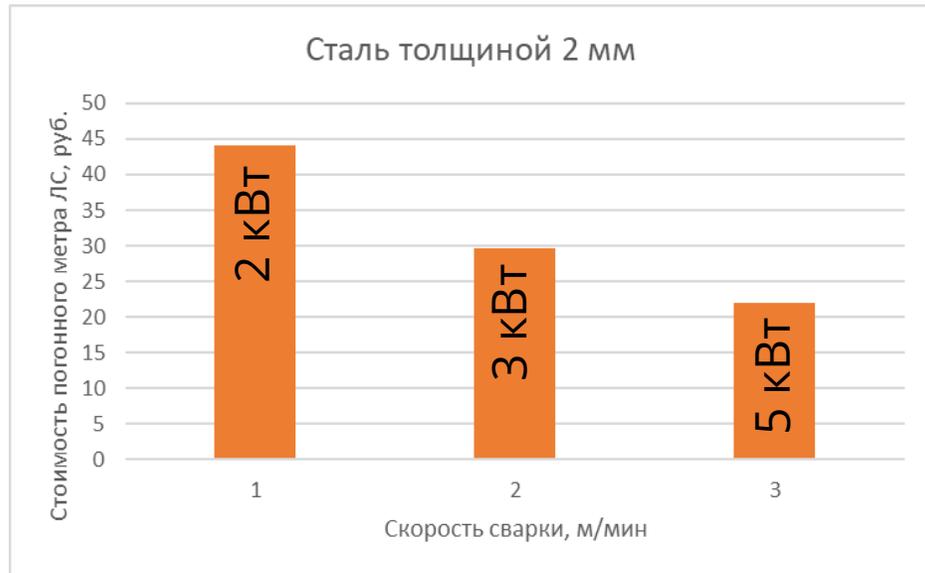
6 мм



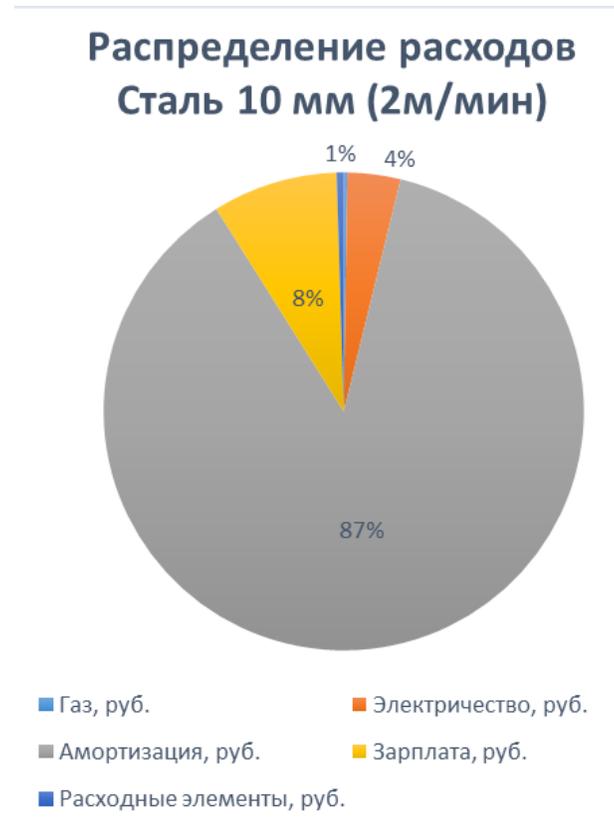
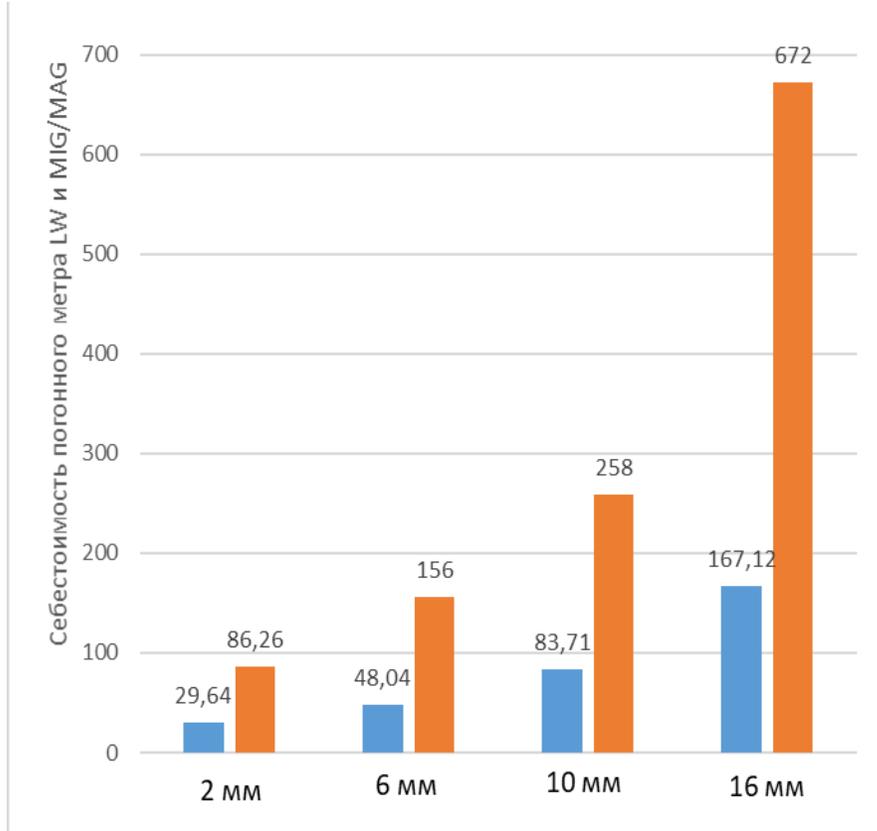
8 мм

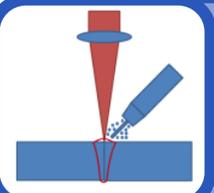
Материал	Толщина, мм	Мощность ЛИ, кВт	Скорость, мм/с	Макс. зазор
Лазерная сварка цветных сплавов Медь, латунь, бронза...	3	12	100	0,1
	6	16	33	0,2

# Себестоимость погонного метра LW



# Сравнение LW с полуавтоматом MIG/MAG





# Лазерная сварка с присадочной проволокой

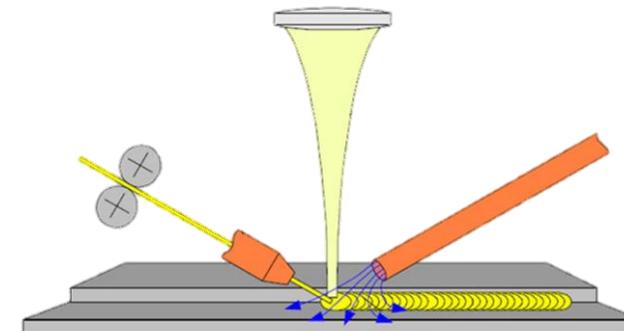
Возможность  
легирования  
сварного шва

Возможность  
выполнения  
облицовочного  
сварного шва

Уменьшения  
требований к  
качеству сборки

Регулирование  
термических циклов  
за счет применения  
подогрева  
присадочной  
проволоки

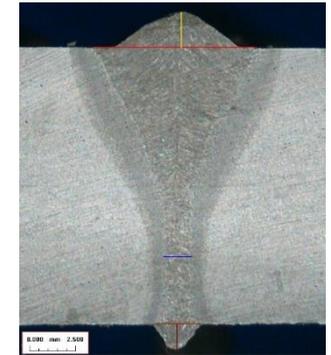
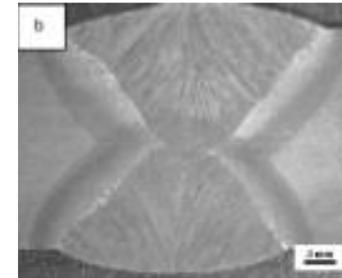
Принцип сварки  
может  
использоваться  
для лазерной  
пайки





# Гибридная лазерная дуговая сварка

Технология	Дуговая сварка под флюсом*	Гибридная лазерно-дуговая сварка*
Скорость	до 1,2 м/мин	до 3,0 м/мин
Толщина**	от 3 до 12 мм	от 3 до 16 мм
Зазор	до 2 мм	0-1,5 мм
Деформация	> 1,5 мм/м	> 0,2 мм/м



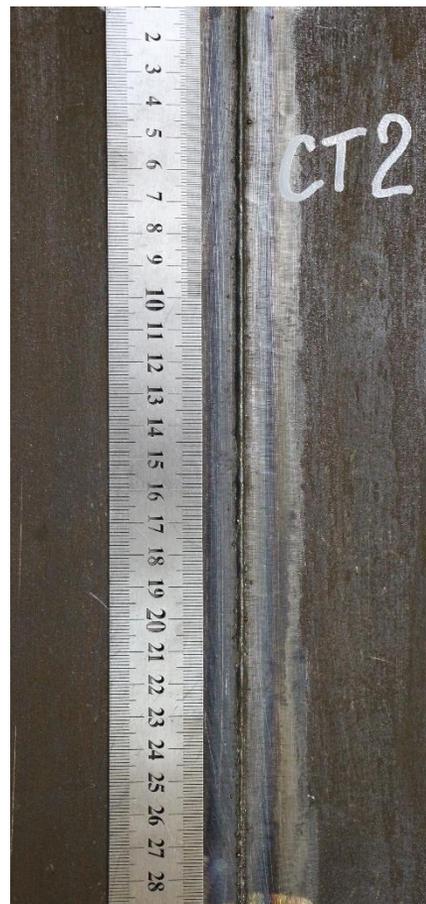
**Главные преимущества лазерных технологий в производстве корабельных панелей:**

- повышение производительности (в 1,5-3,0 раза);
- уменьшение расхода энергии и материала (на 20,0-40,0%);
- минимальные остаточные напряжение и деформация сварных конструкций.

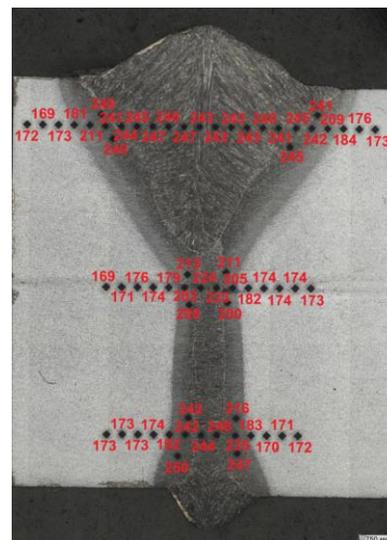
# Гибридная сварка низколегированных сталей толщиной 16 мм



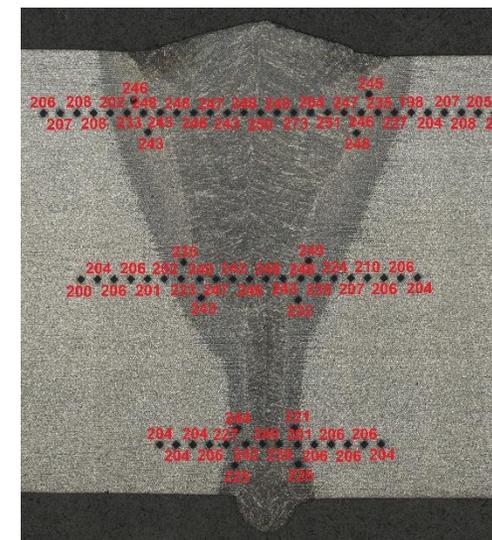
Лицевая сторона шва



Корневая сторона шва



Прямая разделка



V-образная разделка

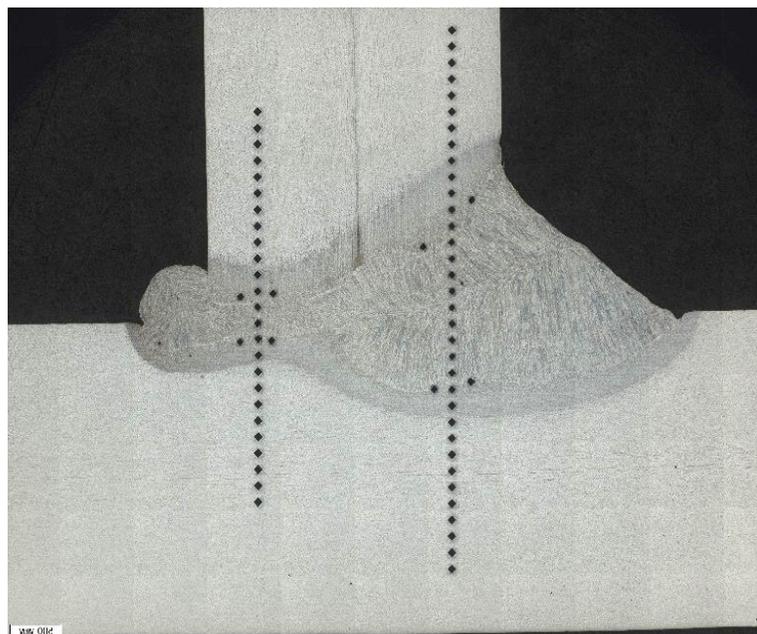
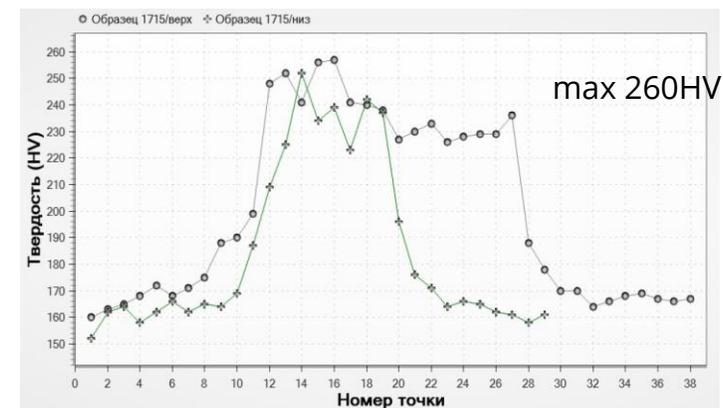


Процесс сварки 16 мм  
 $V_{св} = 1,0$  м/мин,  $P = 10$  кВт

$V_{св} = 1,0$ м/мин	
прямая	У-образная
10,0 кВт	7,0 кВт

16 мм
Скорость сварки до 2 м/мин
Мощность лазера до 17 кВт
Максимальный зазор – 1,5 мм
Максимальная твердость – не более 260 HV

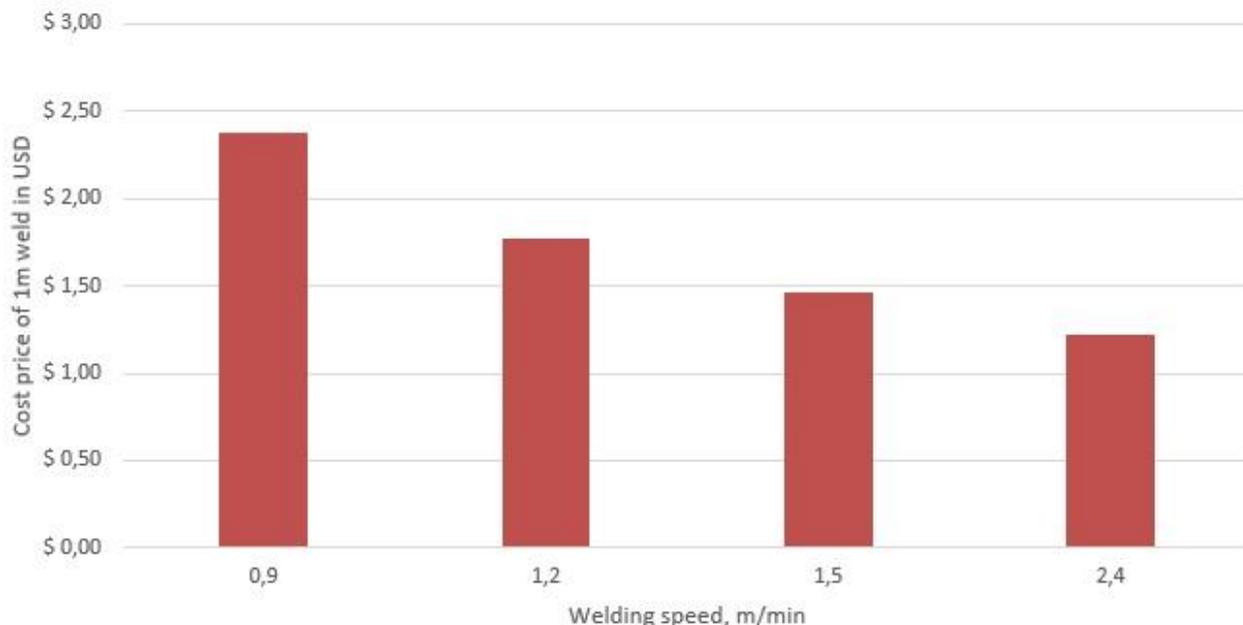
# Технология гибридной сварки тавровых соединений



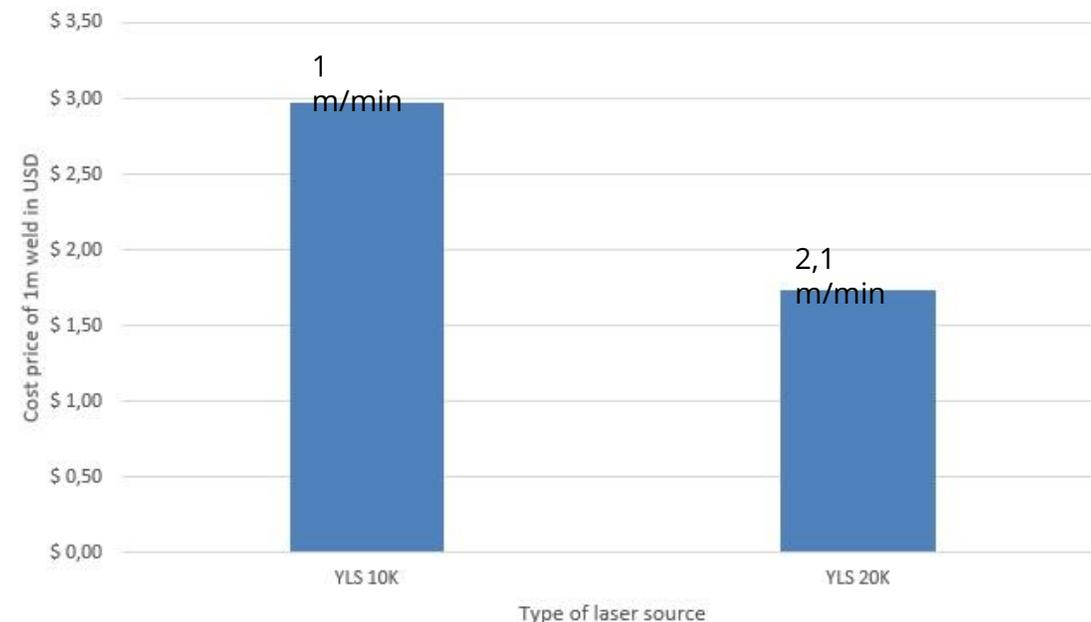
Базовые параметры сварки	
Скорость сварки	от 0,9 до 2,5 м/мин
Мощность лазера	до 15 кВт
Сила тока	до 400 А
Напряжение дуги	до 35 В
Максимальный допустимый зазор	до 1,5 мм
Скорость подачи сварочной проволоки	до 15 м/мин
Диаметр сварочной проволоки	от 1,2 до 1,6 мм
Углы наклона β – лазерного луча α – сварочной горелки	25-30° 40-45° 

# Гибридная лазерная сварка (HLAW): себестоимость 1 метра сварного шва

HLAW of 12 mm thickness



HLAW of 16 mm thickness



Себестоимость 1 м сварного шва снижается при увеличении скорости сварки.

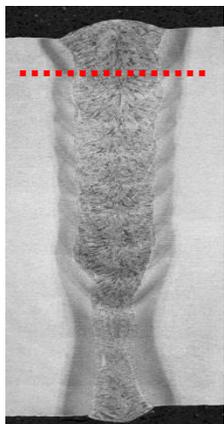
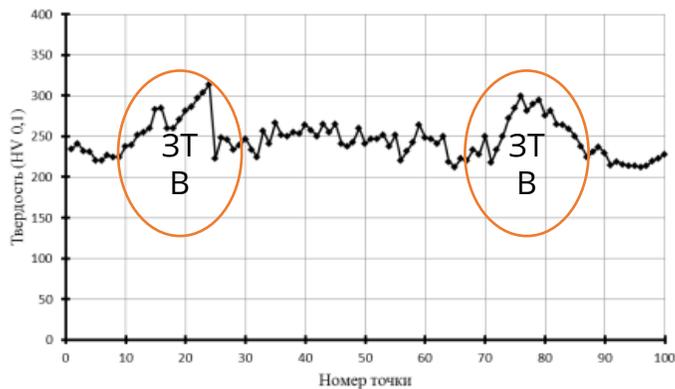
По сравнению с 1 м/мин и 2,5 м/мин мы имеем снижение себестоимости в 2 раза. Скорость сварки в процессе HLAW должна быть  $> 1,5$  м / мин, в этом случае мы имеем высокую экономическую эффективность.

В случае HLAW толщиной 16 мм YLS 20K мы снижаем себестоимость, так как скорость сварки в 2 раза больше, чем в HLAW с YLS 10K.

\* 1\$=76  
₽



# Многопроходная сварка



Измерение микротвердости

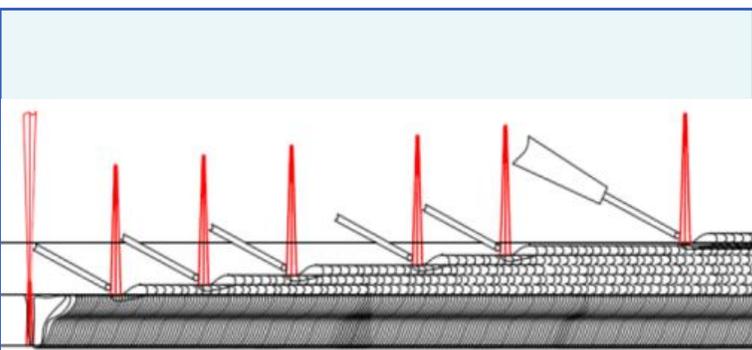
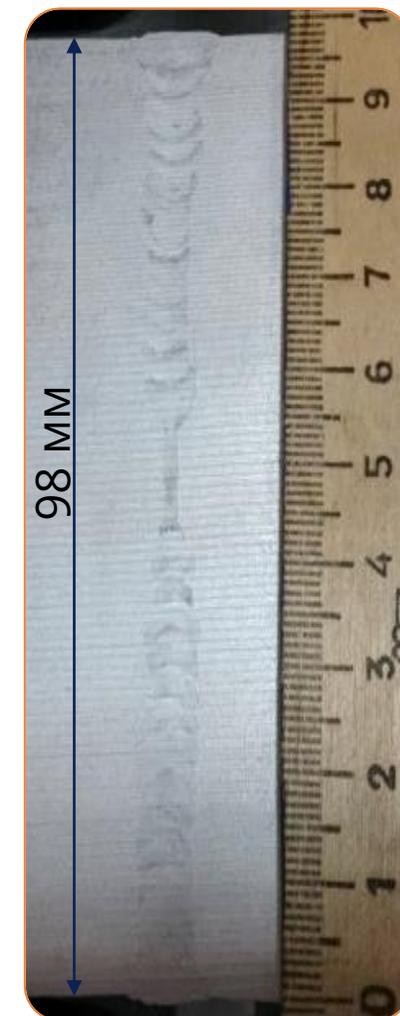
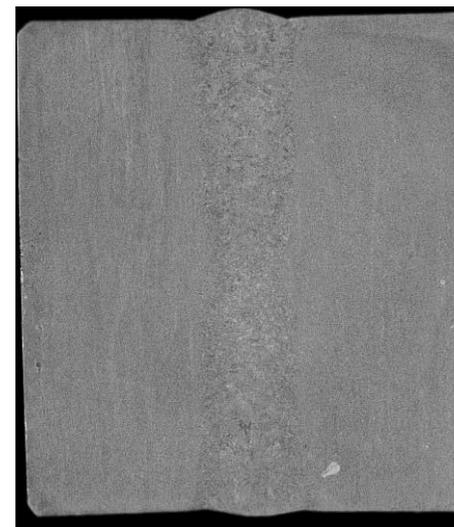


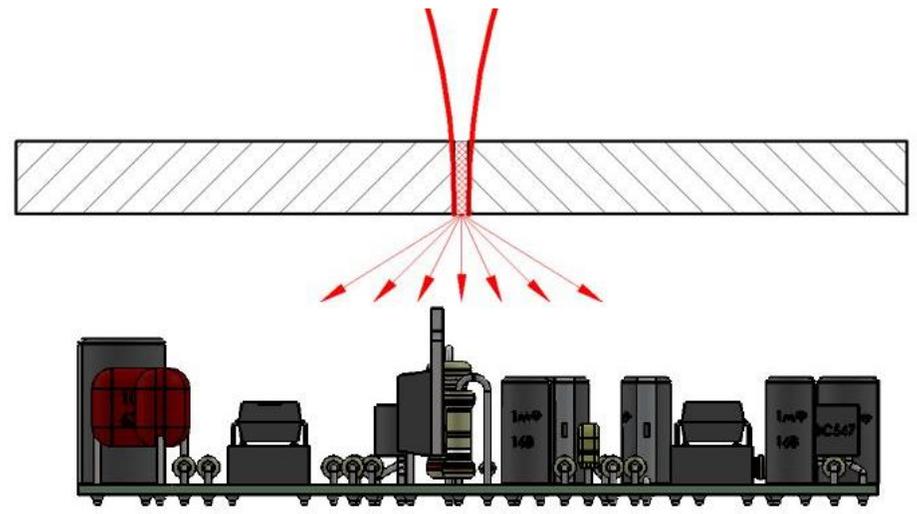
Схема многопроходной лазерной сварки



Поперечный и продольный макрошлиф сварного соединения пластин толщиной 24 мм

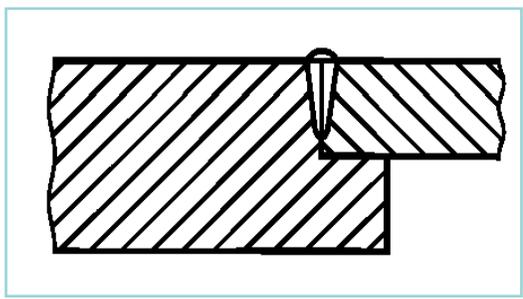
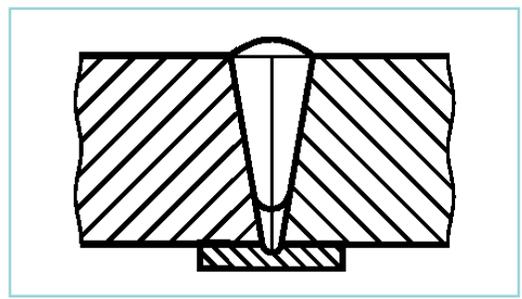
# Особенности конструирования и сборки

## Защита изделия внутри при сквозном проплавлении



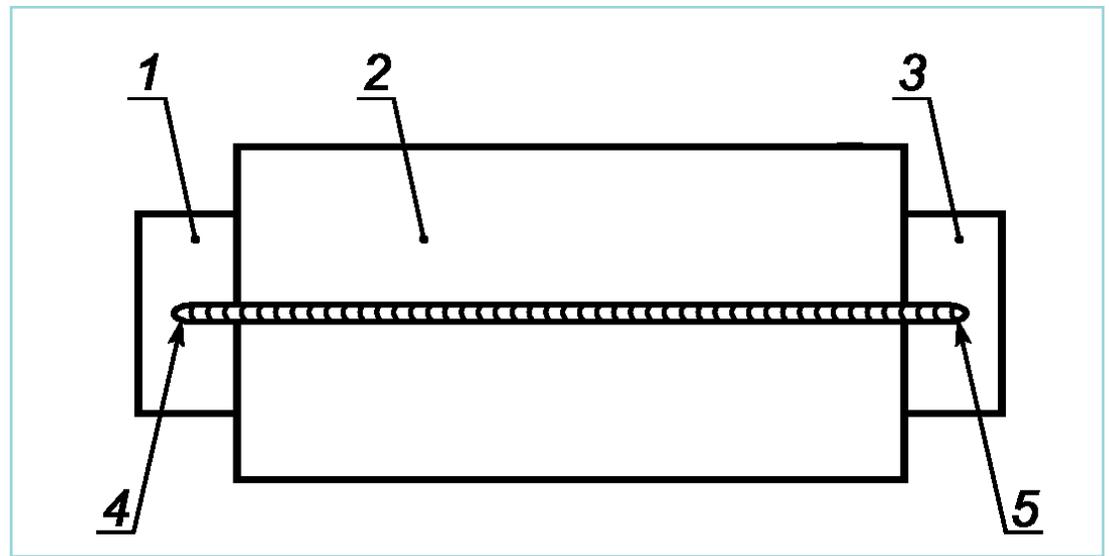
Сварка на подкладке

Замковое соединение



## Особенности начала и конца сварного шва

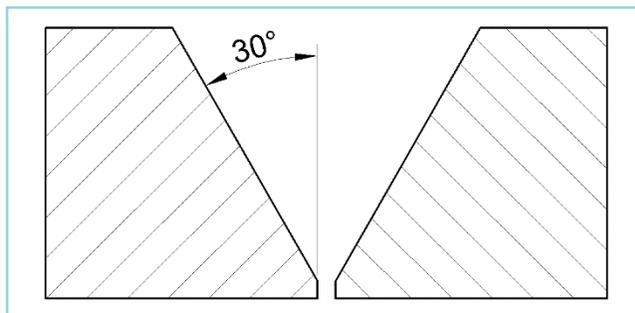
✓ Использование выводных планок



1 — вводная планка; 2 — обрабатываемая деталь; 3 — выводная планка; 4 — начало шва; 5 — конец шва

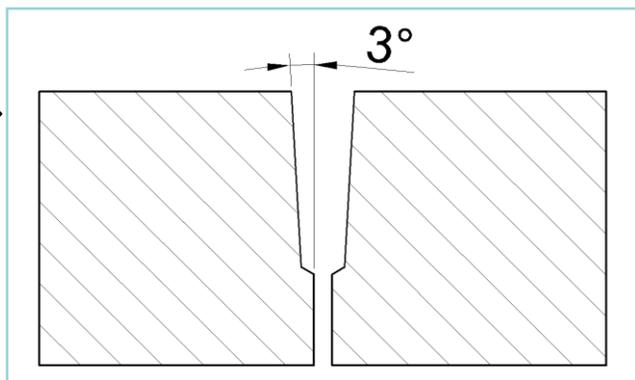
# Особенности конструирования и сборки

## Изменение конструкции разделок



### ГОСТ 14771

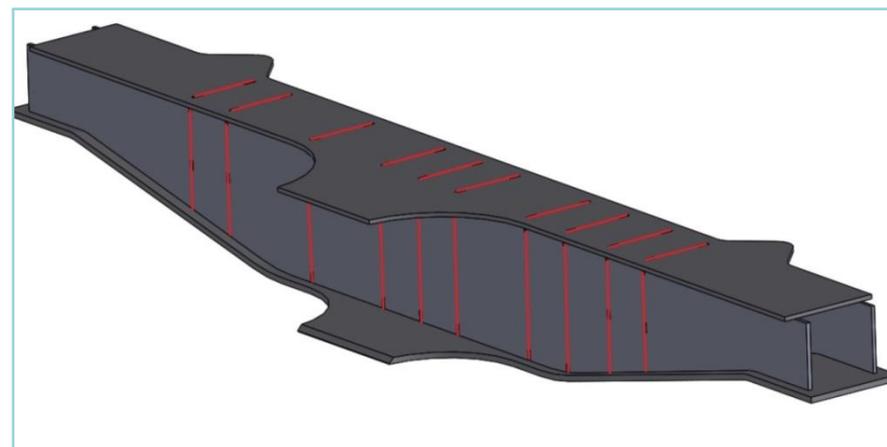
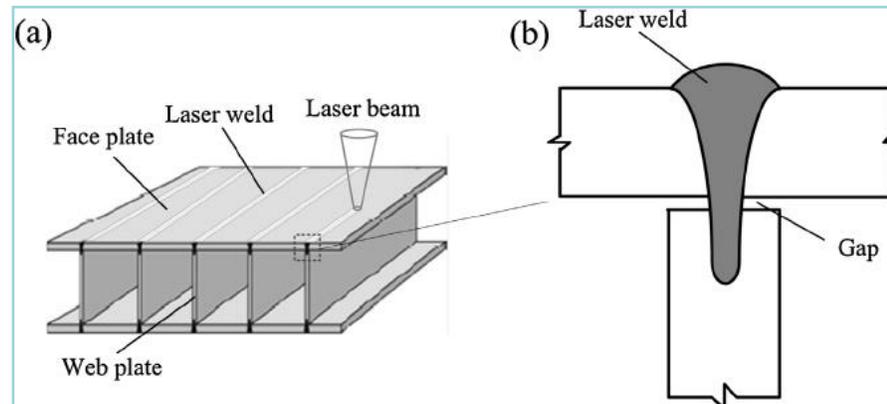
- Низкая производительность
- Большой расход сварочной проволоки



### ГОСТ 13919

- Высокая производительность
- Низкий расход проволоки
- Большая глубина притупления

## Замена тавровых швов сборкой «ШИП-паз» и сквозным проваром



Точность сборки и максимальные зазоры зависят от выбранной технологии сварки, толщины и марки материала

# Инновационная система ручной лазерной сварки и очистки



Производительный одномодовый лазер на 1500W

Более острая фокусировка + наименьший диаметр лазерного луча

Улучшенные параметры оптического пистолета

- коллимирующая линза: 50 мм
- фокусирующая линза: 120 мм

	Размер пятна в фокусе, мкм
XR	60
XC	150

- **Увеличенная глубина проплавления низкоуглеродистой стали(черной стали)** – толщины до 6.5 мм. на лазере 1500 Вт, без перегрева блока и сварочного пистолета
- **Высококачественная сварка алюминия:**
  - **высококачественная, стабильная и быстрая сварка** с полным проплавлением алюминия **АМг и АМц** – толщины до 6.5 мм
  - Новые библиотечные режимы по **качественной сварке алюминия 6XXX**
- **Уникальные встроенные возможности** по сварке с полным проплавлением **титана и никелевых сплавов** – до 5 мм
- **Стабильная и прогнозируемая сварка меди** с библиотечными режимами – **глубина проплавления до 3мм**

# Зачистка перед и после сварки



**Зачистка оксидной пленки и сварка,  
алюминий 6061, толщина 6мм**

*Оба процесса на одном оборудовании  
без долгой переналадки*

## **XR зачистит кромку перед сваркой и сварочный шов после:**

- Специальный сверхмощный импульсный режим с высокой частотой следования импульсов испаряет любые виды загрязнений**
  - точный контроль и настройка параметров позволяют не повреждать поверхностный слой очищаемого металла
- Испаренные частицы сдуваются защитным газом через сопло – рекомендуем использовать в комплекте с внешней вытяжкой**
- Очищайте только рабочую зону изменяя ширину зоны очистки**
- Режим очистки с минимальным тепловложением – изделия не ведёт**
- Не требуется пост обработка на другом посту – изделие готово к дальнейшему этапу производства**

# Лазерная сварка (ЛС) Скорость



Пример: 3.4 мм черная сталь

	Стык	Тавр
MIG сварка:	24.6 сек	27.9
TIG сварка:	41.4 сек	50.3
ЛС:	20.8 сек	19.7

## ЛС для малых толщин

- ✓ Меньше «время на шов»
- ✓ Не надо регулировать и настраивать зазор
- ✓ Не требуется зачистка

## ЛС для больших толщин

- ✓ Значительно меньше «время на шов»
- ✓ Не нужна разделка кромок
- ✓ Не требуется время остывания между проходами

# Лазерная сварка (ЛС) Скорость, качество шва, деформации

## Дуговая сварка



Режим сварки с присадочной  
проволокой:

Темп 140 А

## Лазерная сварка



Режим сварки с присадочной  
проволокой:

Темп 700 000 В

## КАК ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ УДАЛЯЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ?



### ПРЕИМУЩЕСТВА:

Система лазерной очистки разработана лучшими специалистами в области промышленных лазеров и лазерных систем. Это позволило добиться максимальной производительности технологии и удобства эксплуатации относительно аналогичных систем:

- уникальный, мощный, импульсный волоконный лазер со средней мощностью 1 кВт и воздушным охлаждением, который позволяет производить очистку без оплавления поверхности
- лучший баланс габаритных размеров и производительности
- периодичность включения ~ 100% без необходимости обслуживать систему охлаждения
- удобный и понятный промышленный дизайн с предзаписанными режимами и возможностью их корректировки
- не требует обучения и пуско наладочных работ
- продуманная система безопасности оператора и средства индивидуальной защиты в комплекте поставки
- сервис любой сложности на территории РФ
- оперативная техническая и технологическая поддержка на территории РФ

#### ПАРАМЕТРЫ:

- Импульсный лазер с выходной мощностью до 1 кВт
- Регулируемая ширина обработки до 100 мм
- Фокусное расстояние – 150 мм
- Предустановленные режимы и ручные настройки

#### В КОМПЛЕКТЕ:

- Базовый блок с воздушным охлаждением
- Пистолет для очистки с кабелем 10 м
- Лазерные защитные очки
- Ethernet кабель
- Защитные стёкла
- ЗИП

#### ПРИМЕНЕНИЯ:

- Машиностроение
- Metalloprokat, обработка металла
- Пищевая промышленность
- ЖКХ
- Деликатная очистка без нагрева и повреждения основы
- Структурирование поверхности



# Система ручной лазерной очистки

## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ:

Типовые задачи и области применения	Особенности	Виды загрязнений	Виды поверхностей
Очистка пресс-форм	Очистка без повреждения и нагрева основы	Резина, пластик, смазка	Нержавеющая и низкоуглеродистая сталь
Пищевая промышленность, медицина	Очистка без повреждения и нагрева основы	Полимеризованное масло, нагары, пригоревшие частицы	Нержавеющая сталь, стекло
Зачистка до/после сварки и др. видов соединения	Высокая производительность очистки	Обезжиривание, грязь, ржавчина, оксидные пленки, конс. грунт, остатки покрытия, шлак, нагары, цвета побежалости и тд.	Все свариваемые металлы
	Очистка без нагрева основы		
Машиностроение	Высокая производительность очистки	Грунт, ЛКП, ржавчина, грязь, масло и тд.	Металлы, пластик, стекло
	Очистка без повреждения и нагрева основы		
	Структурирование поверхности		
ЖКХ / промышленные клининговые компании	Очистка без повреждения и нагрева основы	Краска, грязь, ржавчина, остатки ЛКП	Камень, металлы, стекло
	Структурирование поверхности		
Металлопрокат, обработка металла, джобшопы	Высокая производительность	Ржавчина, окалина	Металлы
	Очистка без повреждения и нагрева основы		
	Структурирование поверхности		

## СРАВНЕНИЕ С ТРАДИЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ:

	Механическая очистка (абразивы)	Очистка при помощи pellets CO2	Пескоструйная очистка	Химическая очистка	LightCLEAN
Наличие расходных материалов	Наличие	Наличие	Наличие	Наличие	Отсутствие
Требования к организации рабочего пространства	Низкие	Высокие	Средние	Очень высокие	Средние
Уровень шума	Высокий	Высокий	Высокий	Низкий	Средний
Возможность прецизионной обработки	Средняя	Низкая	Низкая	Низкая	Высокая
Трудоемкость утилизации продуктов обработки	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Низкая
Производительность	Низкая	Высокая	Высокая	Высокая	Средняя
Возможность автоматизации	Низкая	Средняя	Средняя	Низкая	Высокая

### ПРИМЕРЫ ОЧИСТКИ:

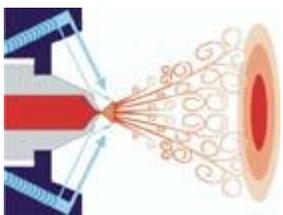


# Автоматические системы краскораспыления



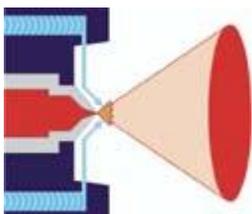
## Гибридная система распыления

Гибридная система распыления была разработана с целью создания новой технологии распыления, сочетающей преимущества как пневматического, так и безвоздушного распыления AIRLESS



### Без гибридной системы

В других системах дополнительный воздух подается в точке распыления или за ней, что приводит к созданию излишней турбулентности, увеличивает количество тумана и ухудшает качество отделки.



### Благодаря гибридной системе

Благодаря системе дополнительный воздух подается перед точкой распыления ЛКМ, что дает очень стабильную струю и идеальное, равномерное распыление на поверхности каждого типа.

- Применение ЛКМ вязкостью от 40 Сps (20сек) до 8000 Сps. под давлением ЛКМ в пределах от 24 до 200 бар.
- Скорость выхода частиц ЛКМ из краскораспылителя уменьшается до 0,7 м/сек.
- Формирование факела производится воздухом до точки атомизации ЛКМ
- уменьшается туманообразование по сравнению с обычным методом распыления.
- уменьшает количество пигмента, засоряющего систему фильтрации Вашей камеры, и попадающего на конвейер.

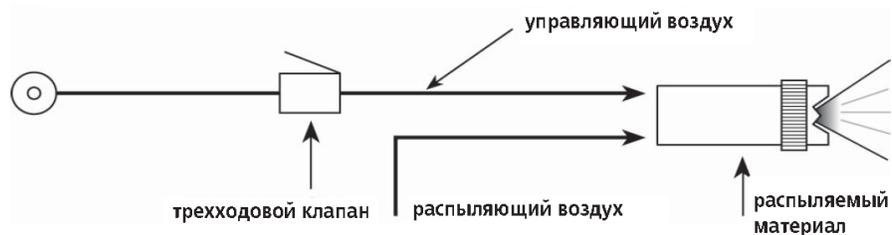
### Преимущества электростатического метода

- Метод AIRMIX® с использованием технологии на основе электростатического эффекта сокращает туманообразование более чем **на 70%**
- сокращает расход ЛКМ примерно **на 55%**, по сравнению с традиционными способами нанесения (безвоздушное, пневматическое распыление)

# Автоматическое распыление

Автоматическое нанесение лакокрасочных материалов позволяет значительно повысить производительность и качество работы. Питание автоматических пистолетов-краскораспылителей производится с помощью красконагнетательных насосов.

## Система управления автоматических пистолетов



## Принципиальная схема подключения автоматических распылителей

