

«СВАРКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ (СТП)»

УСТАНОВКА ДЛЯ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ



Сварка трением перемешиванием (СТП) запатентована The Welding Institute in UK (TWI), (Великобритания)) в 1991 году.
Имеется более раннее отечественное авторское свидетельство СССР.

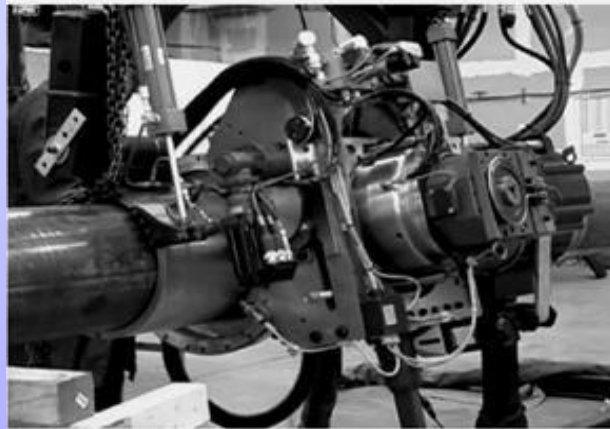
УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ



а)



б)



в)



г)

Оборудование для перемешивающей сварки трением:

а – консольного типа;

б – портального типа;

в – устройство для сварки труб;

г – установка на базе модернизированного фрезерного станка

ВОЗМОЖНОСТИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

- получение высококачественных соединений конструкций различной геометрии, включая листовые материалы, пространственные профильные конструкции, трубы.
- восстановление изношенных деталей,
- модифицирование и улучшение структуры материалов,
- залечивание трещин и литейных дефектов,
- может быть использована в качестве альтернативы заклепочным соединениям, контактной, шовной электродуговой, электроннолучевой и лазерной сваркам, сваривания разнородных материалов,
- сварка листовых материалов из легких сплавов (алюминиевых и магниевых),
- технологию считают ключевой для создания авиационной техники пятого поколения,
- толщины свариваемых ПСТ листовых материалов достигли для алюминиевых сплавов 110 мм, а для сталей и никелевых сплавов 45 мм.

ПРЕИМУЩЕСТВА СТП

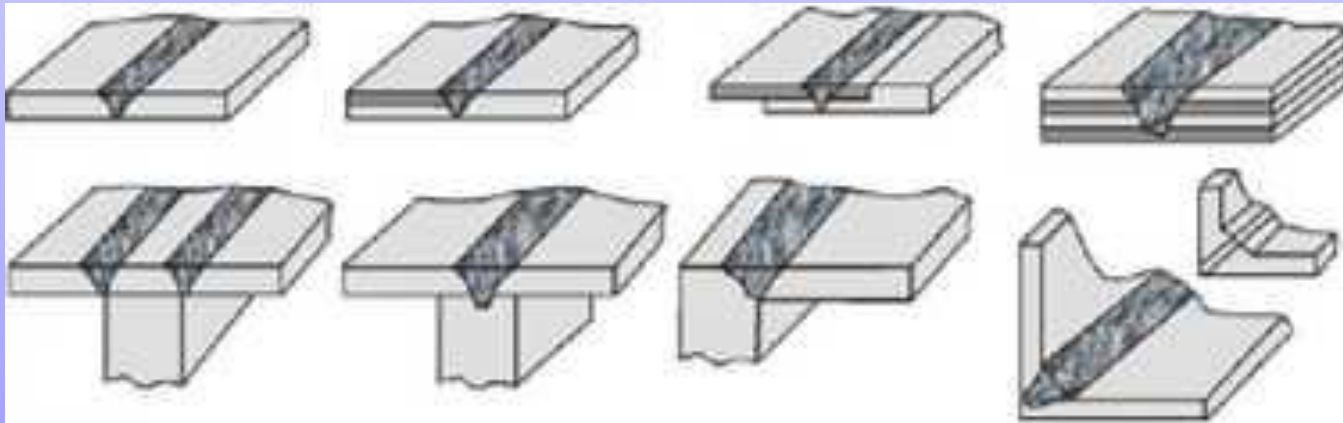
- сварка в твердой фазе;
- низкие деформации свариваемых изделий;
- высокая размерная стабильность и повторяемость процесса;
- отсутствует «выгорание» легирующих элементов;
- высокие прочностные свойства сварного шва;
- мелкозернистая рекристаллизованная структура сварного шва;
- отсутствие усадочных трещин;
- высокая скорость сварки;
- не требуется дополнительная термическая обработка шва;
- широкая номенклатура свариваемых материалов.

ПРЕИМУЩЕСТВА СТП

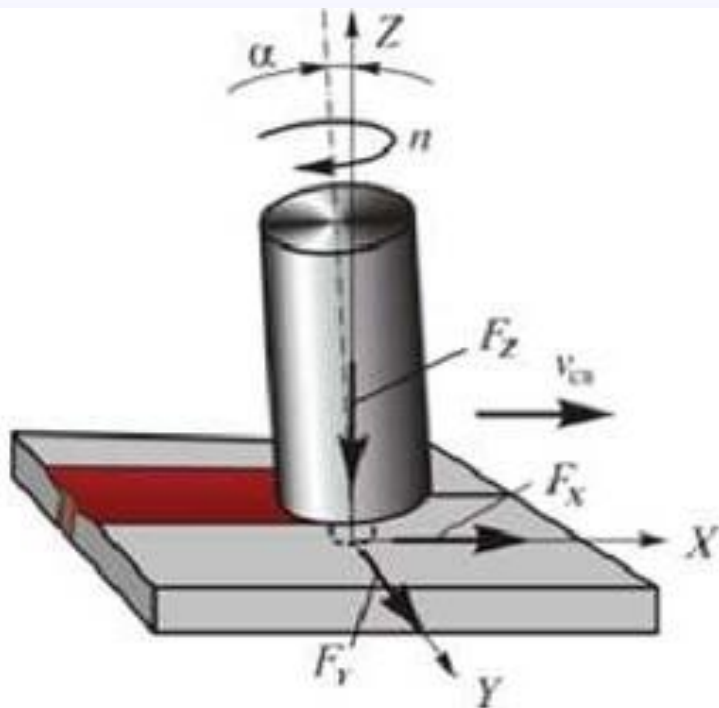
- не требуются защитные газовые среды;
- минимальные требования к очистке свариваемых поверхностей;
- не требуется флюсов;
- отсутствует выделение вредных веществ.
- низкое потребление энергии (2,5% от энергии, потребляемой при лазерной сварке, 10% от энергии, потребляемой при дуговой сварке);
- снижение веса конструкций;
- не требуется присадочных материалов;
- быстрая окупаемость, обусловленная низким потреблением энергии и отсутствием расходных материалов;
- уменьшение производственного цикла на 50...75% по сравнению с обычными способами сварки, например, дуговой;
- не требуется специальной разделки кромок под сварку и обработки шва после нее.

ПРЕИМУЩЕСТВА СТП

- создает микроструктуры более прочные, чем основной материал,
- обычно прочность на растяжение и усталостная прочность сварного шва составляет 90% от характеристик основного материала на уровне, обеспечиваемом применением дорогостоящих электронно-лучевой, диффузионной и лазерной сварок,
- СТП может выполняться в различных позициях (вертикальной, горизонтальной, под наклоном, снизу вверх ит. д.), поскольку силы гравитации в данном случае не играют роли,
- обеспечивается возможность сваривания разнородных материалов, термопластичных пластиков и композиционных материалов.



ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА СТП



1. Сила, действующая на инструмент в процессе сварки

Ее принято раскладывать на:

- F_x - сила, действующая в направлении сварки (вдоль шва);

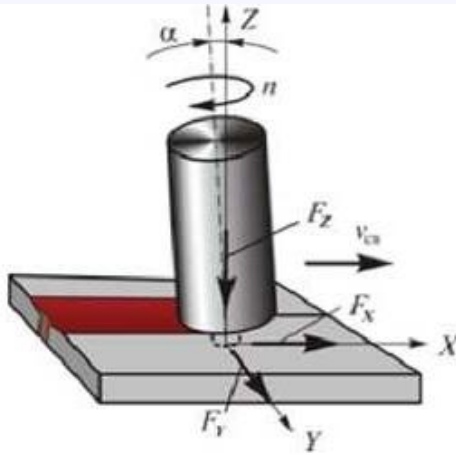
- F_y - сила, действующая перпендикулярно направлению сварки в плоскости параллельной или касательной (при сварке криволинейных поверхностей) поверхностям стыкуемых элементов (плоскость сварки);

- F_z - сила, действующая в направлении перпендикулярном плоскости сварки.

Величины действующих сил зависят от материалов свариваемых заготовок, температуры в зоне сварки, скорости сварки, геометрии сварочного инструмента и его ориентации (наклона) относительно плоскости сварки.

При прочих равных условиях значения силы растут с уменьшением температуры и увеличением скорости сварки. Высокие значения сил могут привести к разрушению инструмента.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА СТП



2. Скорость сварки, $v_{св}$

Определяется скоростью перемещения инструмента в направлении сварки.

Малые скорости сварки могут привести к перегреву материала, изменению условий термомеханического воздействия, увеличению зоны термического влияния и, как следствие, снижению прочностных характеристик сварного соединения.

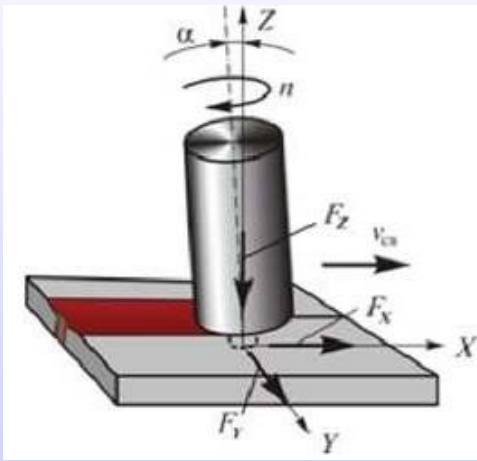
3. Частота вращения инструмента, n

Вращение инструмента обеспечивает нагрев материала тепловыделением при трении и его перенос в процессе движения инструмента вдоль шва от фронтальной к тыловой части зоны сварки.

Увеличение частоты вращения инструмента повышает тепловыделение, интенсифицирует перенос материала и его перемешивание.

Если материал недостаточно прогрет, то за пином могут образовываться свободные пространства, приводящие к несплошности шва, кроме того, на инструмент действуют большие силы, способные привести к его разрушению. С другой стороны, увеличение температуры выше определенного предела приводит к дефектам, обусловленным перегревом материала

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА СТП



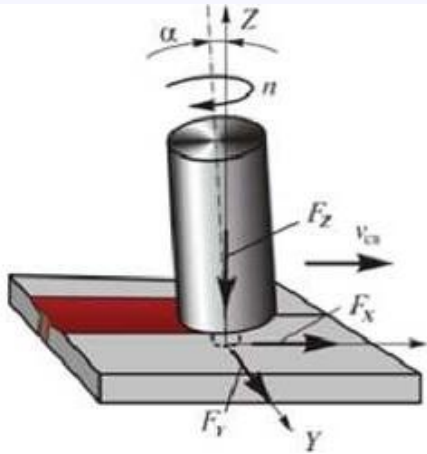
4. Глубина погружения бурта инструмента - определяется как расстояние от поверхности заготовки до нижнего положения торца бурта.

Практически важными являются глубина заглабления бурта и положение конца пина в корне сварного шва.

Глубина погружения должна обеспечивать условия проковки шва на всю толщину свариваемого материала и исключение образования дефектов.

Недостаточное заглабление бурта инструмента в свариваемый материал приводит к увеличению объема, который должен заполняться пластифицированным металлом при формировании шва, и, как следствие, к снижению избыточного давления и образованию несплошностей в швах. Кроме того, выделяется количество тепла, недостаточное для обеспечения требуемого уровня пластификации, необходимого для качественного формирования шва и на лицевой поверхности шва образуются дефекты в виде непровара.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА СТП



5. Угол наклона инструмента, α

Для улучшения условий формирования сварного соединения инструмент может быть наклонен относительно перпендикуляра к плоскости сварки.

Обычно такой наклон производится на угол $1,5... 4,5^\circ$ в направлении сварки с обеспечением более низкого положения края бурта за ее зоной. Наклон инструмента способствует улучшению условий проковки шва буртом.

Если угол наклона слишком мал, то это может привести к образованию дефектов в виде непроваров на наружной поверхности шва.

Если угол наклона слишком велик, возможно нарушение сплошности шва у корня с образованием тоннельного дефекта.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА СТП



6. Геометрия инструмента

Параметры геометрии инструмента, состоящего из пина и бурта, должны не только обеспечивать качество сварного соединения, создавая требуемые условия термопластической деформации и массопереноса, но и его стойкость, прочность, минимальную силу внедрения инструмента при его введении в свариваемый стык.

Материал инструмента должен иметь высокую жаростойкость, твердость и жаропрочность, сопротивление изнашиванию, низкую теплопроводность. В особой мере это относится к материалам инструмента, предназначенного для сваривания сталей, титановых и никелевых сплавов и др.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА СТП

6. Геометрия инструмента

Для повышения качественных характеристик инструмента иногда используют технологии поверхностного упрочнения и нанесения покрытий. На поверхностях пина и бурта выполняют специальные профильные нарезки, обеспечивающие управление течением пластифицированного материала. Форма бурта может быть плоской, вогнутой или конической.

Для СТП могут применяться сварочные инструменты с вращающимся буртом, со стационарным буртом, катушечные, с конусным пином, с изменяемой длиной пина, без пина.



а)

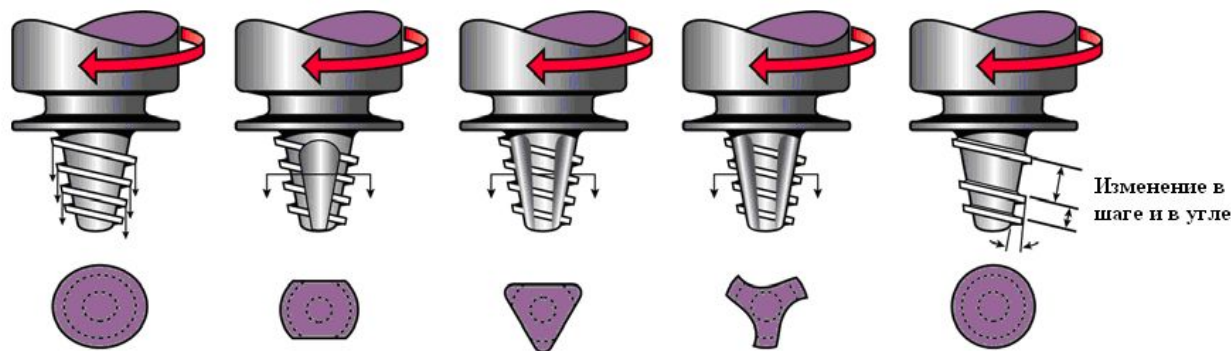
б)

в)

а – традиционная конструкция инструмента;

б – инструмент для получения глубоких швов;

в – инструмент со специальной формой торца. Показан намазанный на выступ свариваемый металл



(а) Наконечник овальной формы

(б) Наконечник в форме весла

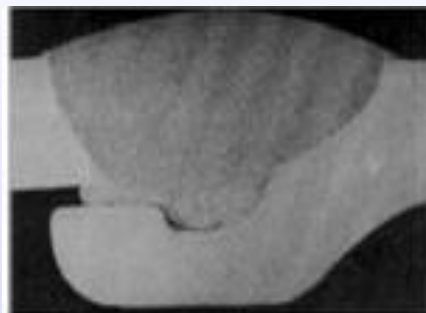
(с) Наконечник треугольной формы

(d) Наконечник в форме трехконечной звезды

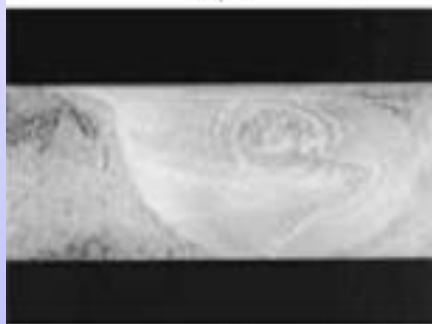
(е) Наконечник с изменяющейся формой

Изменение в шаге и в угле

МАКРОСТРУКТУРА ШВОВ



а)



б)



в)

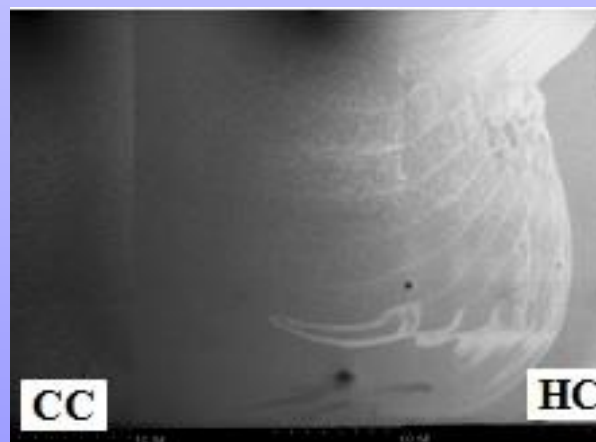
Макроструктура швов, полученных сваркой плавлением (а), СТП (б) и двухсторонняя сварка (в)

МАТЕРИАЛ ИНСТРУМЕНТА

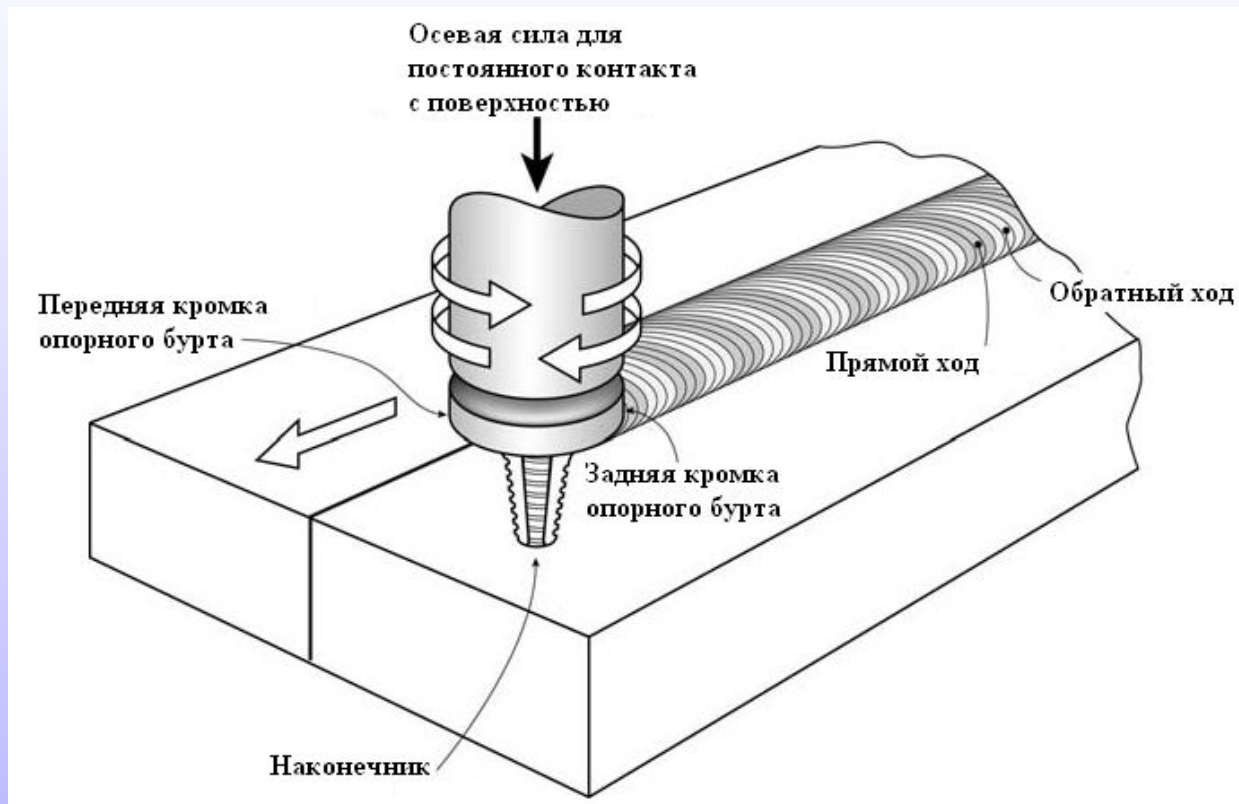
Свариваемый материал	Толщина, мм	Материал инструмента
Алюминиевые сплавы	<12	Инструментальные стали, твердые сплавы системы WC - Co
	>12	Сплавы на кобальто-никелевой основах (MP 159)*
Медь и медные сплавы	<50	Никелевые сплавы, кубический нитрид бора (КНБ), вольфрамовые сплавы
Титановые сплавы	<6	Вольфрамовые, вольфрам- рениевые сплавы
Нержавеющие стали	<6	КНБ, вольфрамовые сплавы
Низкоуглеродистые стали	<12	твердые сплавы системы WC-Co, КНБ
	<6	
Никелевые сплавы	<6	КНБ

Инструменты для ПСТ изготавливают из инструментальных сталей (сварка пластиков и легкоплавких металлов), быстрорежущих сталей (сварка алюминиевых и магниевых сплавов), металлокерамических твердых сплавов и минералокерамик, специальных композиционных материалов (сварка алюминиевых сплавов, сталей, сплавов на никелевой и титановой основах).

ЗОНЫ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ



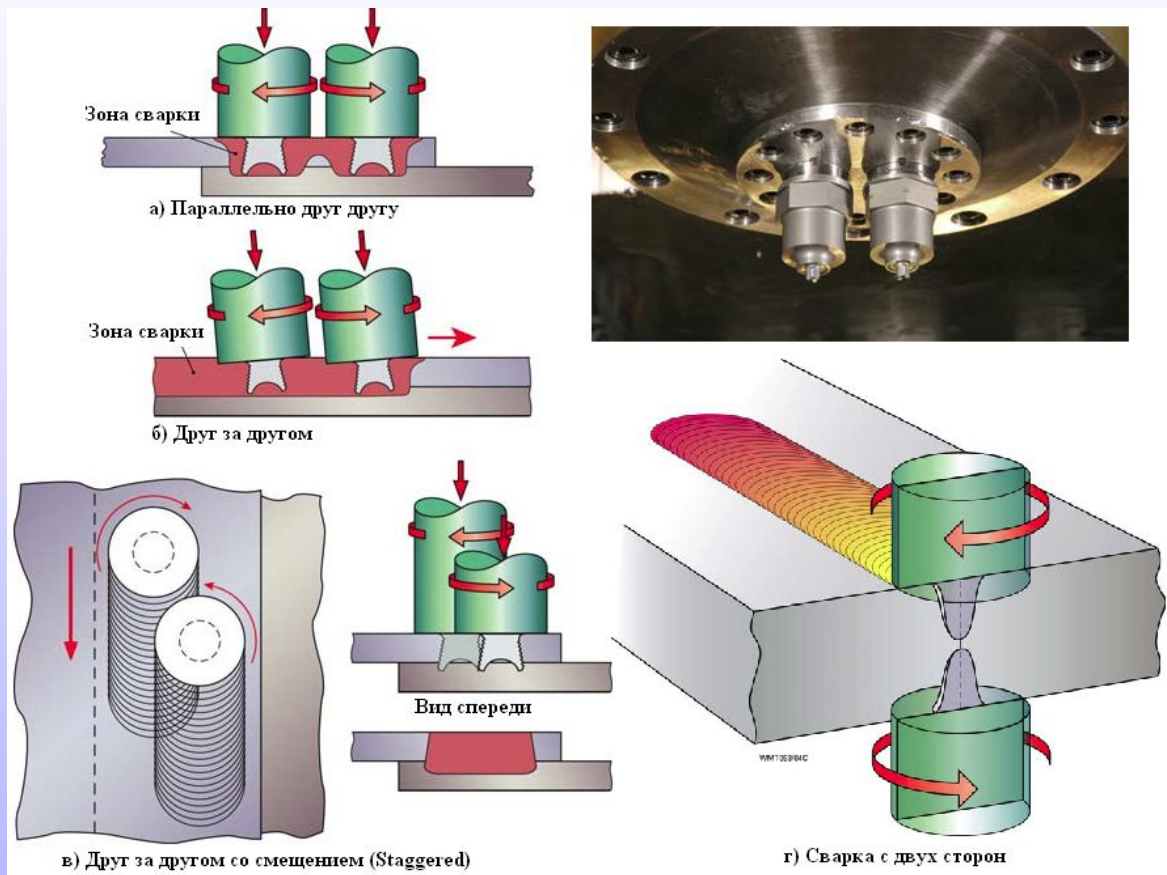
СХЕМЫ СТП



Re-Stir

Особенность Re-Stir™ заключается в циклическом возвратно-вращательном движении инструмента. Это решило проблему асимметрии швов, присущую традиционному процессу СТП. Швы имеют симметричную форму и высокие усталостные характеристики, однако, до промышленного применения процесса Re-Stir™ требуется более детальное его исследование и оптимизация режимов сварки

СХЕМЫ СТП



Twin-Stir

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СТП

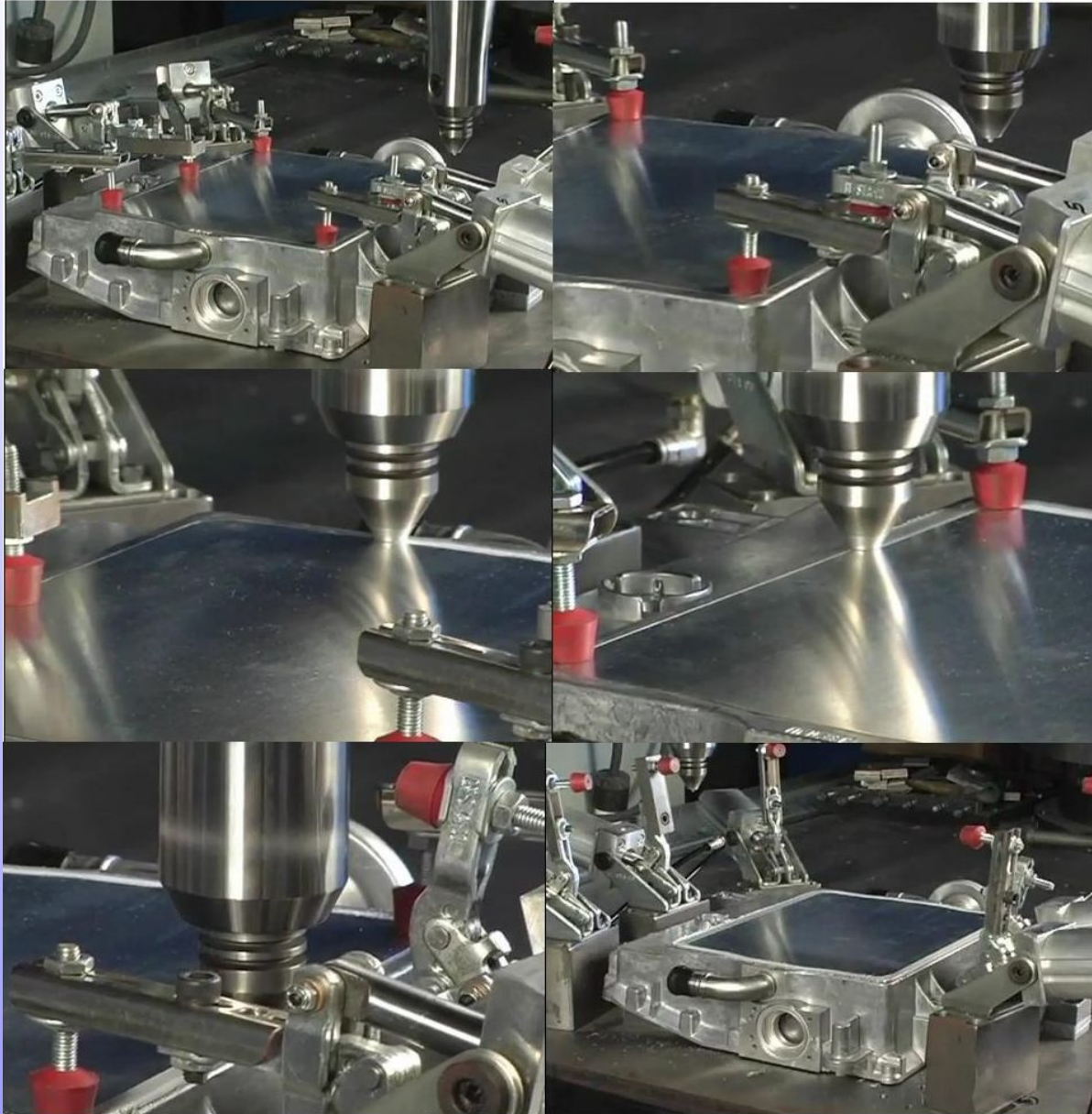
1. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ



В процессе СТП инструмент, так же как и свариваемые детали испытывают очень большие нагрузки. При проектировании оснастки необходимо обеспечивать полную неподвижность свариваемых деталей.

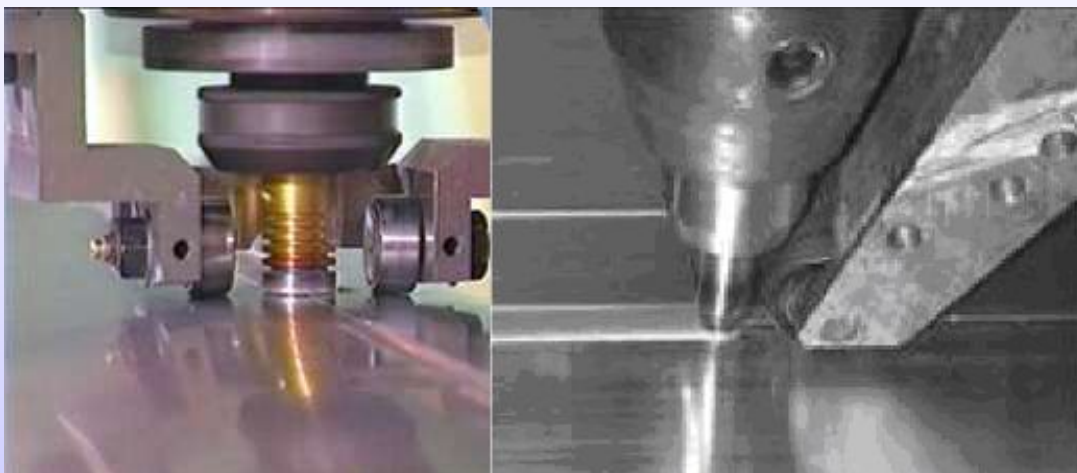
- при массовом производстве выгоднее использовать гидравлические или пневматические зажимы,
- при единичном, мелкосерийном и тем более опытном производстве чаще всего используют механические зажимы при установке детали.
- Как правило, это соединения на болтах, которые затягиваются вручную оператором станка.

1. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

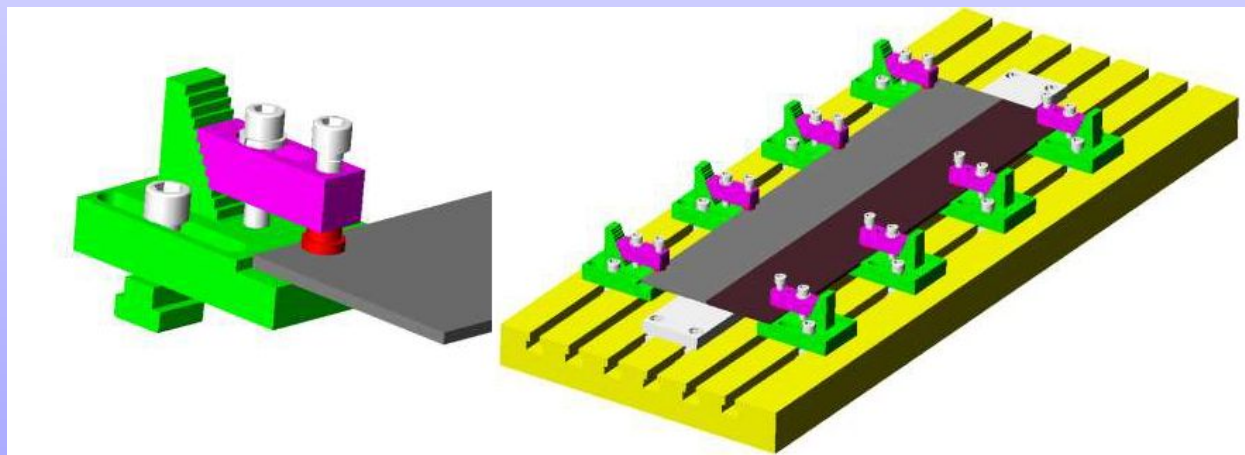


Пневматические зажимы

1. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ



Приспособления со стороны инструмента. Фиксирующий ролик движется одновременно с инструментом и выполняет две функции: прижимает материал в зоне сварки и не допускает зазора по высоте между двумя частями свариваемого материала.



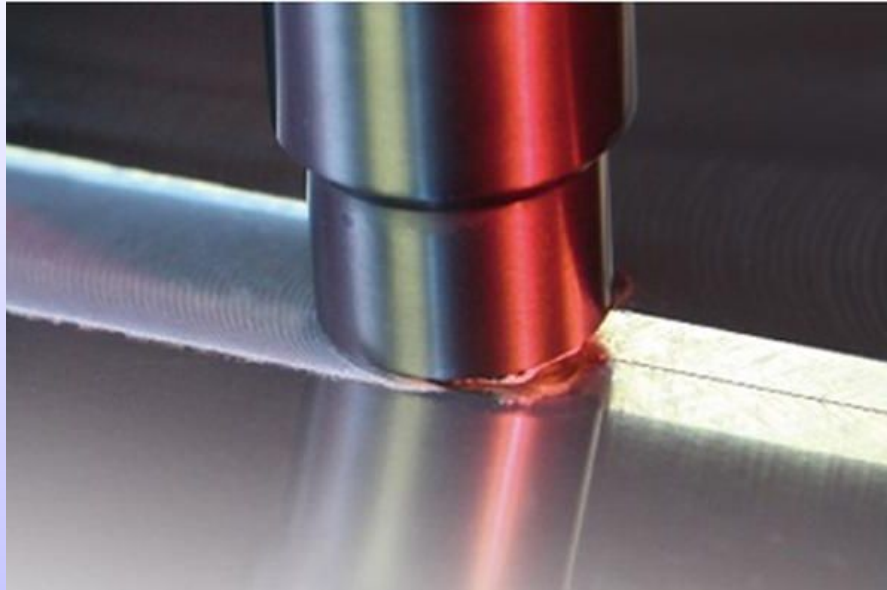
Оснастка для сварки пластин

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАГРЕВ ИЛИ ОХЛАЖДЕНИЕ

Предварительный нагрев зоны сварки целесообразно выполнять для материалов с относительно высокими температурами плавления, такими как стали, титановые сплавы и проч. с целью снижения действующих сил и повышения стойкости инструмента, ускорения процесса разогрева и увеличения скорости сварки. Обычно для этих целей используют индукционный нагрев.

Охлаждение зоны сварки выполняют для алюминиевых и магниевых сплавов, в первую очередь, для уменьшения роста зерна. Охлаждение выполняют потоком воздуха. Кроме того, СТП может выполняться в воде.

СВАРКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ



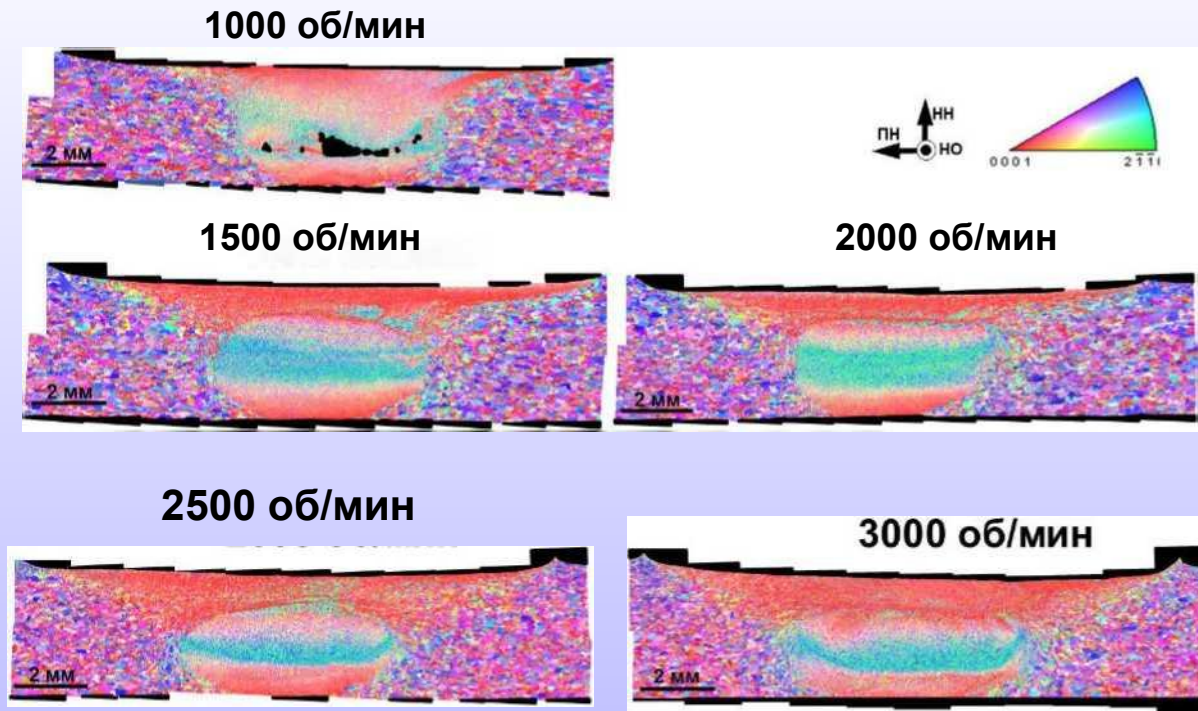
**СТП осуществляется в соответствии с выбранным
сочетанием технологических параметров**

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНОГО ШВА



Панорамная EBSD карта, полученная с поперечного сечения алюминиевого сплава AA1050, подвергнутого СТП

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНОГО ШВА

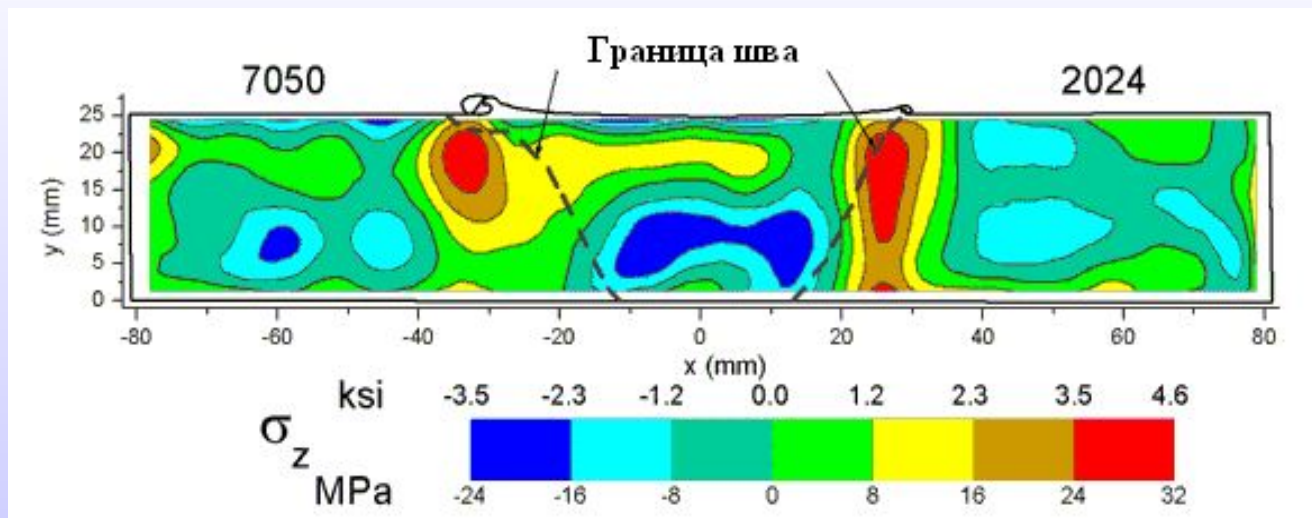


EBSD карты, иллюстрирующие распределение текстуры внутри ОТП зон, полученных при различной скорости вращения сварочного инструмента.

На данных картах зерна окрашены в соответствии с их кристаллографической ориентировкой относительно направления нормали (цветовой код ориентировок приведен в правом верхнем углу рисунка).

Во всех случаях сторона RS находится слева, а сторона AS - справа.

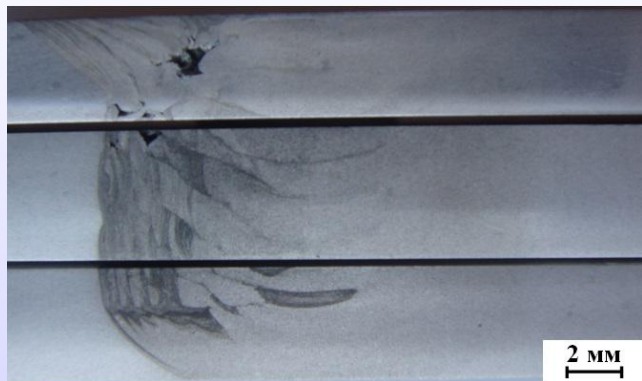
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНОМ ШВЕ



Продольные остаточные напряжения сваренных друг с другом пластин из разных алюминиевых сплавов.

Для ответственных конструкций применяют такие технологические схемы движения инструмента как Re-Stir (циклическое возвратно-вращательное движение инструмента) или Twin-Stir для того, чтобы избавиться от асимметрии и избежать появления концентраторов напряжений на границах сварного шва

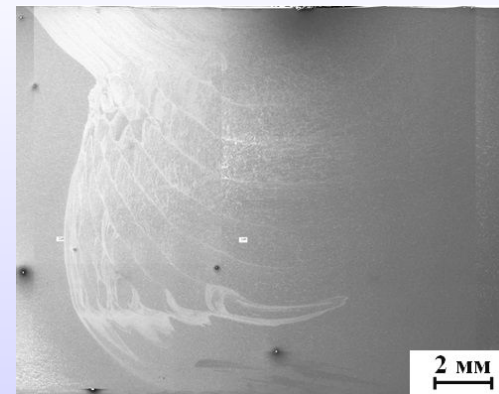
КАРТА ТВЕРДОСТИ СВАРНОГО ШВА



а)



б)



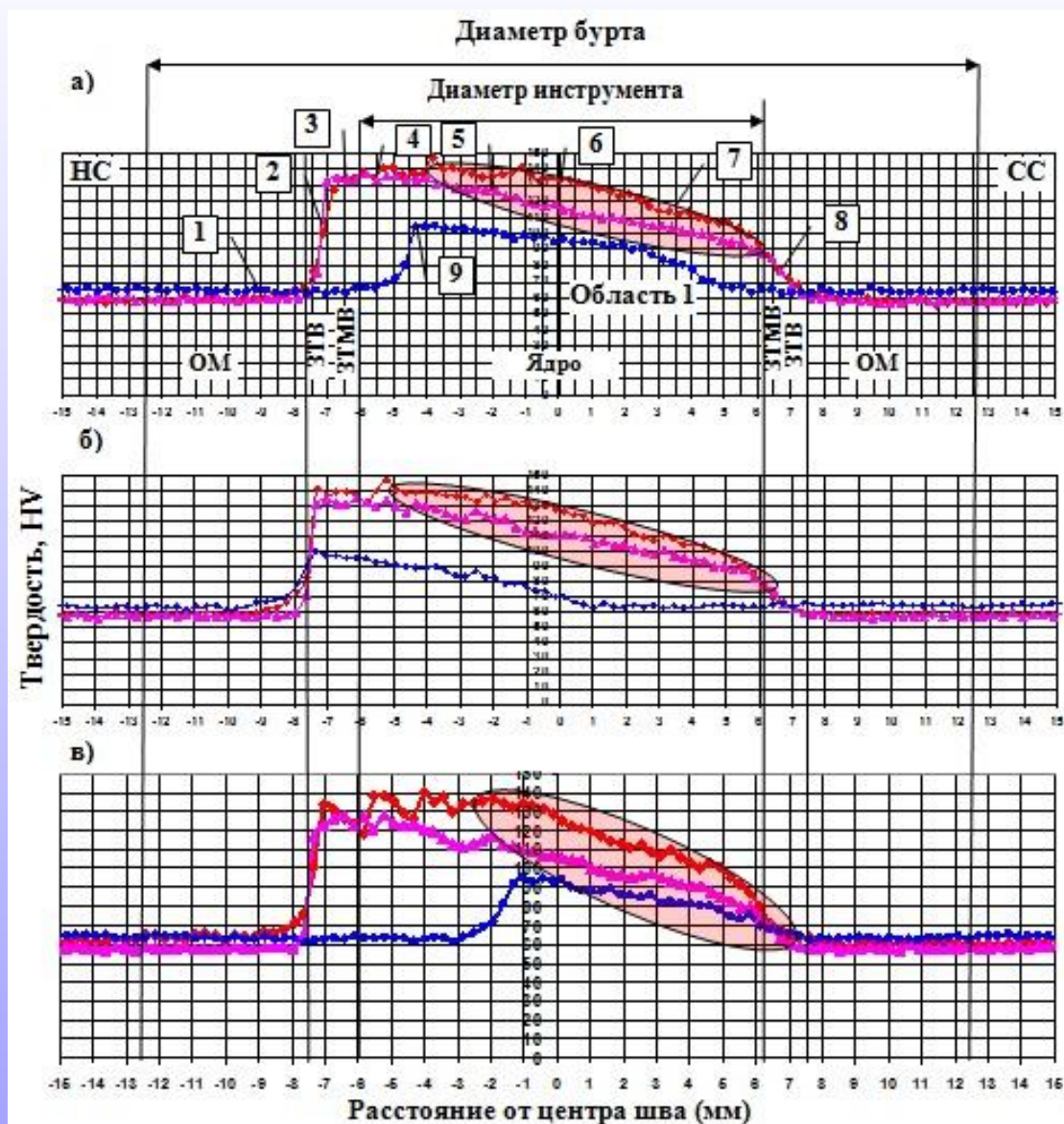
в)

Макропоры в сварном шве в начальном поперечном сечении шва.

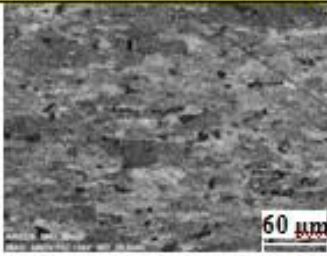
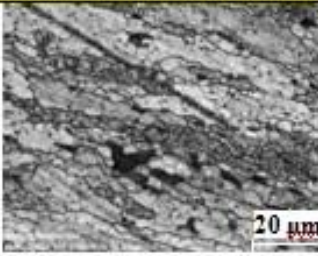
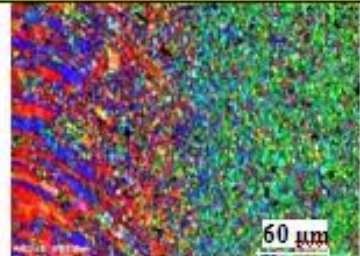
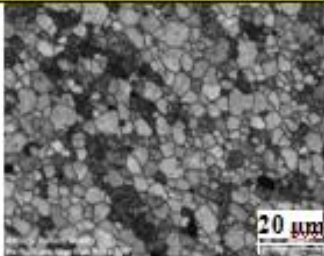
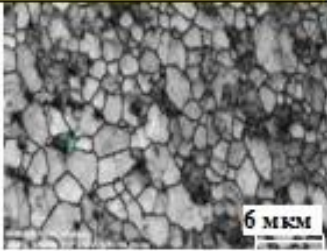
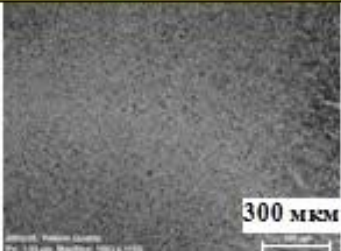
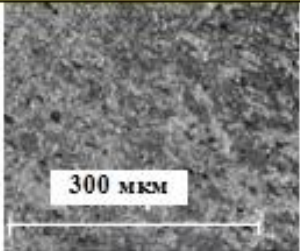
Осевое усилие на инструмент, Н: а) 23, б) 26, в) 29.

На всех снимках слева – набегающая сторона, справа – сбегающая сторона

КАРТА ТВЕРДОСТИ СВАРНОГО ШВА

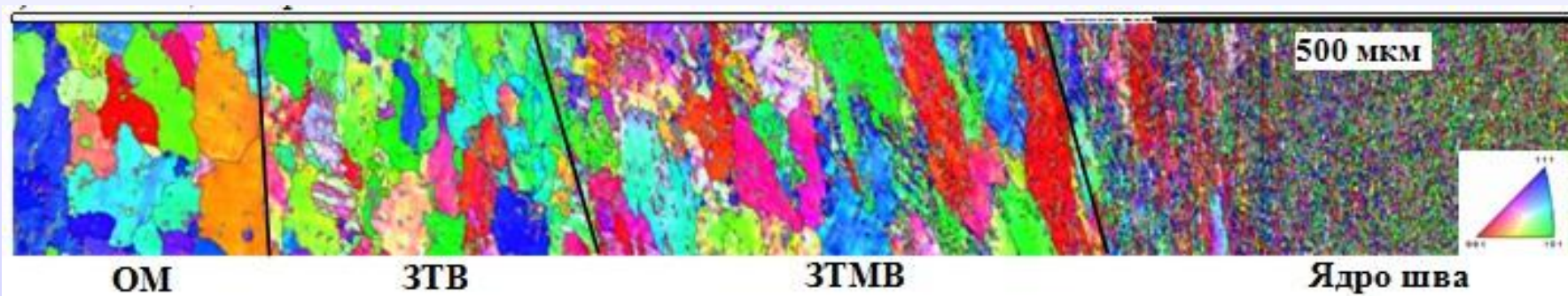


МИКРОСТРУКТУРА РАЗЛИЧНЫХ ЗОН СВАРНОГО ШВА

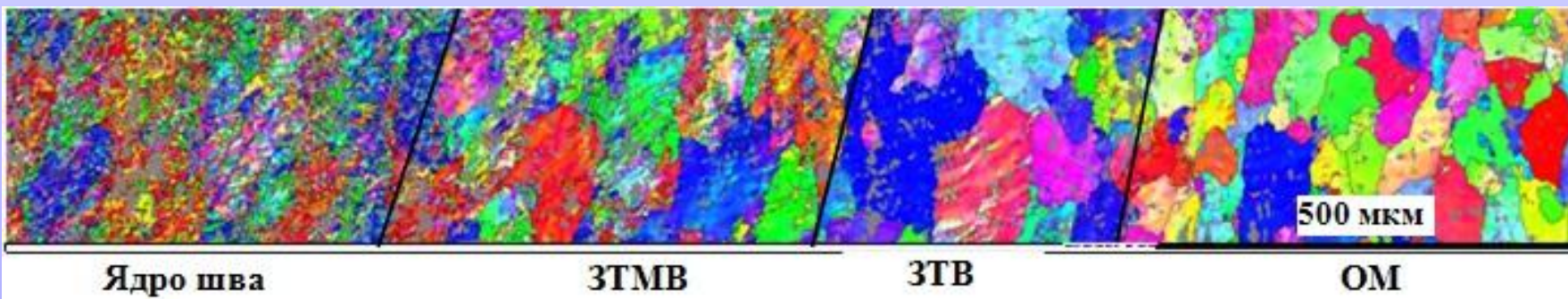
	(1) OM	(2) ЗТВ	(3) ЗТВ / ЗТМВ / Ядро	(4) Ядро
НС				
	(5) Ядро	(6) ЗТМВ / ЗТВ / OM		(7) OM
СС				

МИКРОСТРУКТУРА РАЗЛИЧНЫХ ЗОН СВАРНОГО ШВА

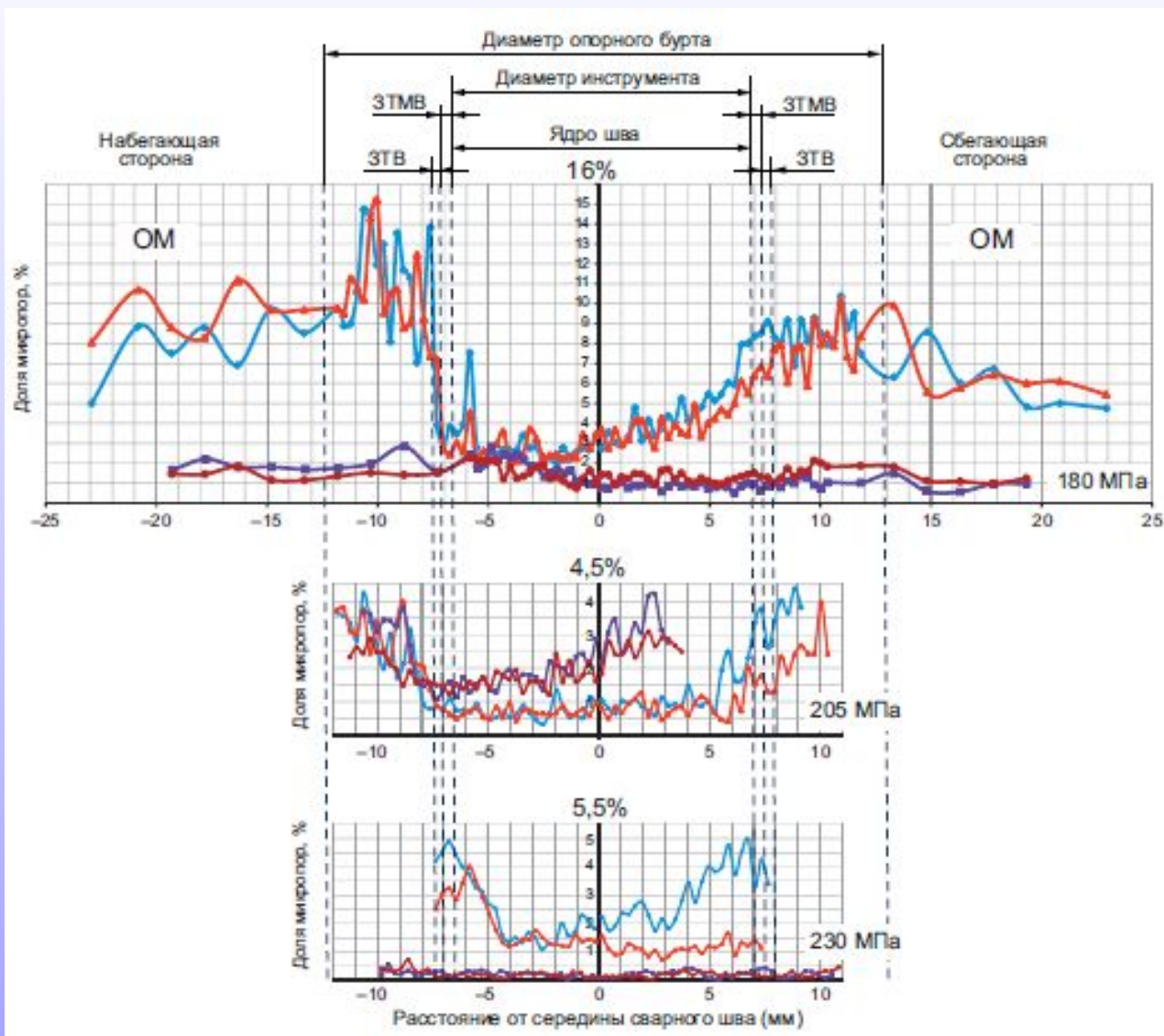
а)



б)



ДОЛЯ МИКРОПОР В СВАРНОМ ШВЕ



РАЗМЕР МИКРОПОР В СВАРНОМ ШВЕ

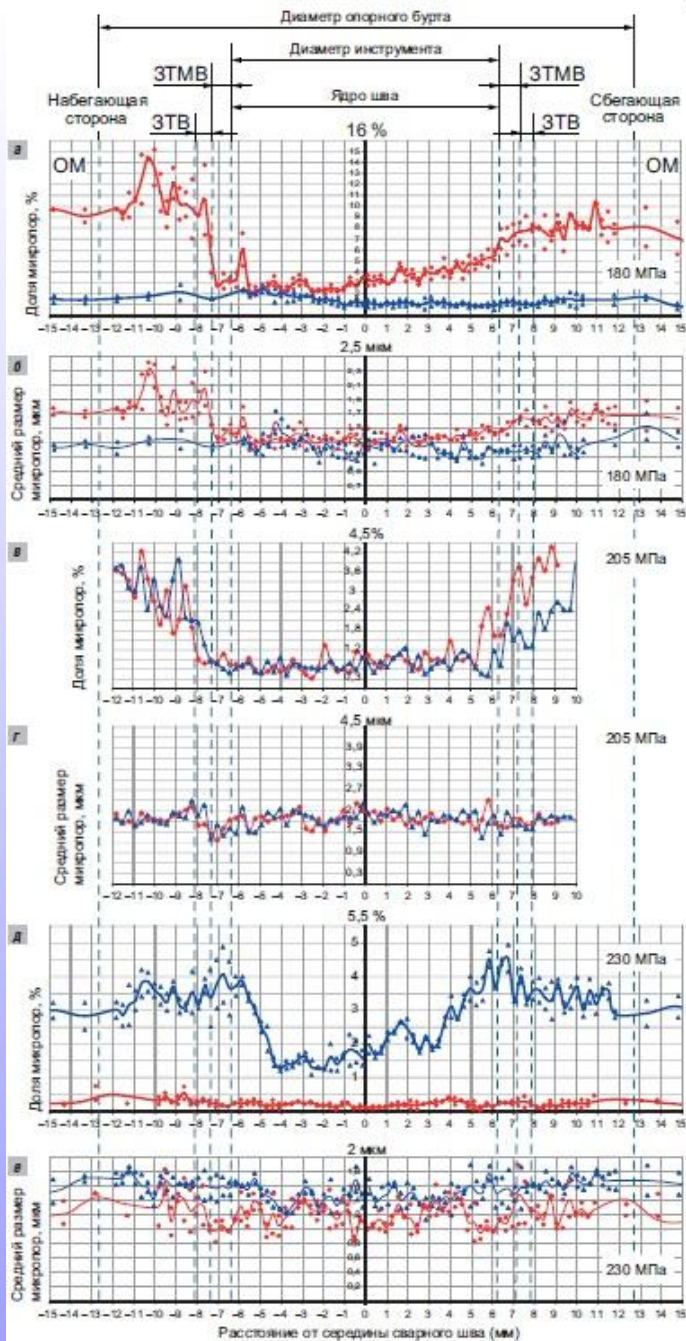
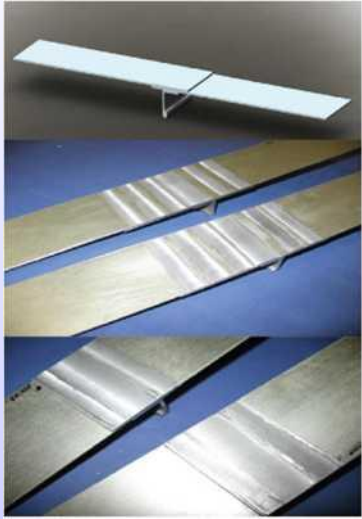


Рис. 7. (а, в, д) Усредненная доля и средний размер микропор по трем дорожкам замера микротвердости (д, г, е) в верхнем (♦) и нижнем (▲) продольном сечении сварного шва, измеренные в направлении движения инструмента

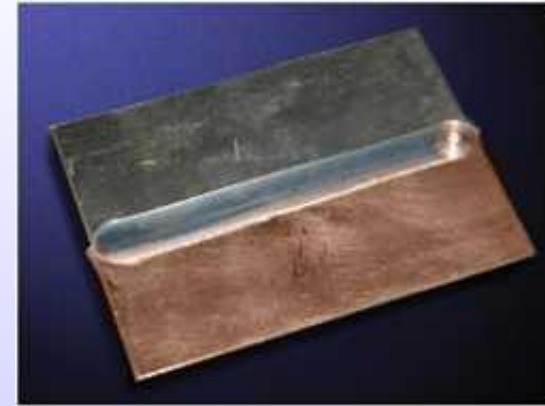
ДЕТАЛИ, СВАРЕННЫЕ СТП



Модель и элементы панелей
из алюминиевого сплава
1163 РДТВ



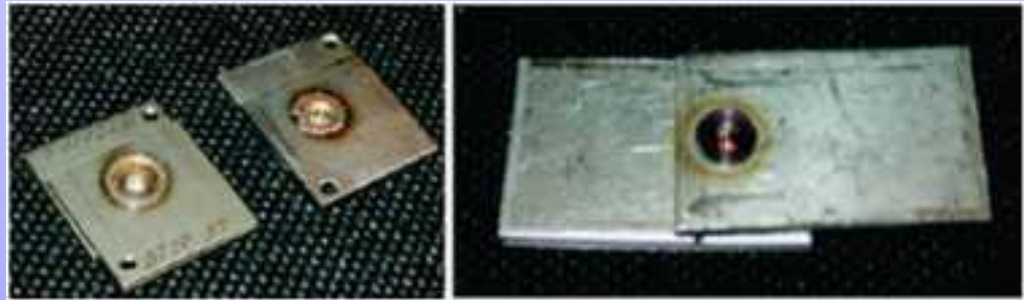
Трубчатые детали из однородных и
разнородных материалов



Сварка листов из алюминиевого
сплава и меди



Элементы трубы

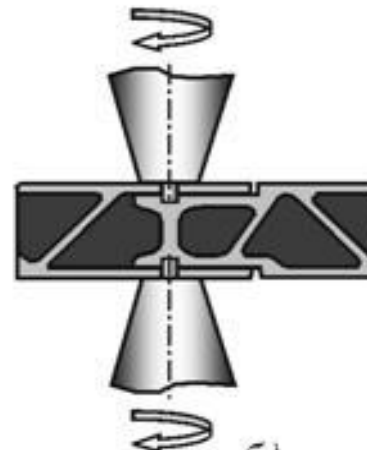


Образцы из титанового сплава ВТ20 и стали 12Х18НЮТ,
сваренные точечной СТП

ДЕТАЛИ, СВАРЕННЫЕ СТП



а)



б)



в)



г)

Изделия, сваренные СТП:

а – панель;

б – схема двухсторонней сварки панели;

в – деталь в виде оболочки;

г – труба

ДЕТАЛИ, СВАРЕННЫЕ СТП

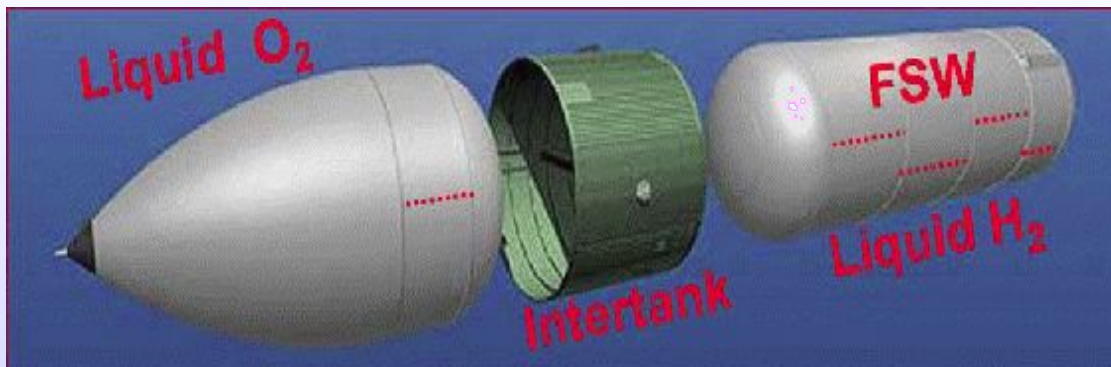


Образцы сплава АМГ6 толщиной 4 мм сваренные перемешивающей сваркой трением. Слева с лицевой стороны, справа с изнаночной

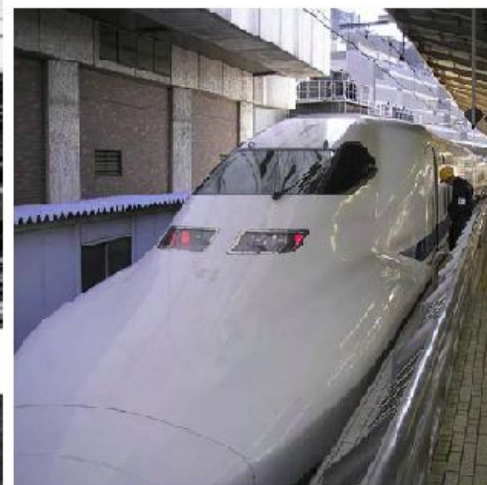
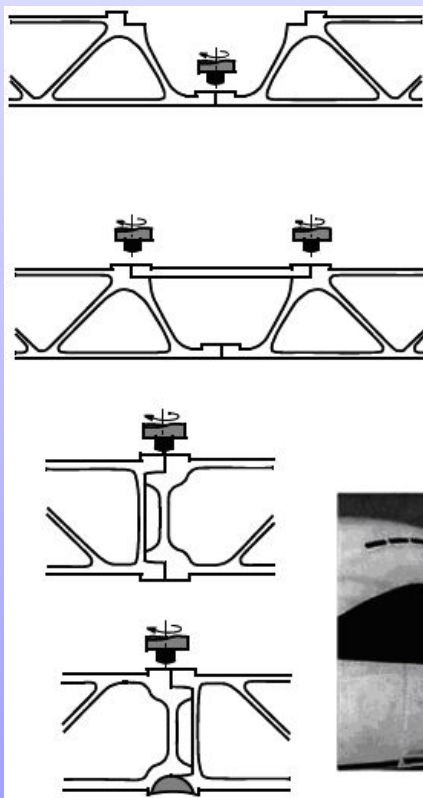


Образцы из листового материала толщиной 1 мм из алюминиевого сплава АД1 (слева) и ст 20 (справа)

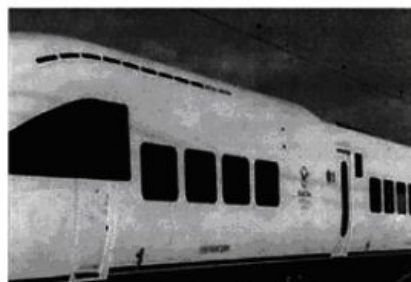
ДЕТАЛИ, СВАРЕННЫЕ СТП



Баки ракеты,
сваренные сваркой
трением с
перемешиванием



Стыки полых
панелей вагонов двух
серий (HITACHI)



ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ НАНОПОКРЫТИЙ



Fuel Tank, Orion Spacecraft, NASA



Needs to be Larger

Airbus A380 > 850 seats



Ocean viewer vessel, RFI in Cairns



Hitachi Rail, Japan

Exterior Plan (Hitachi Proposal)



Centre tunnel of Ford GT model



Next Generation iMac