

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ



УФИМСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Институт авиационных
технологий и материалов

Влияние сборочно-сварочных параметров на характеристики процесса сварки сплава ЭП648 толщиной 2мм

Докладчик: Галимов В.Р., аспирант кафедры
СЛАТ

Научный руководитель: д.т.н. профессор
кафедры СЛАТ Медведев А.Ю.



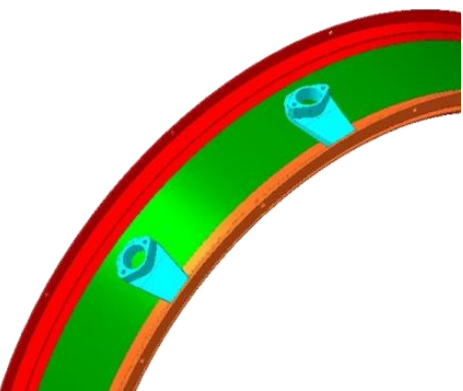
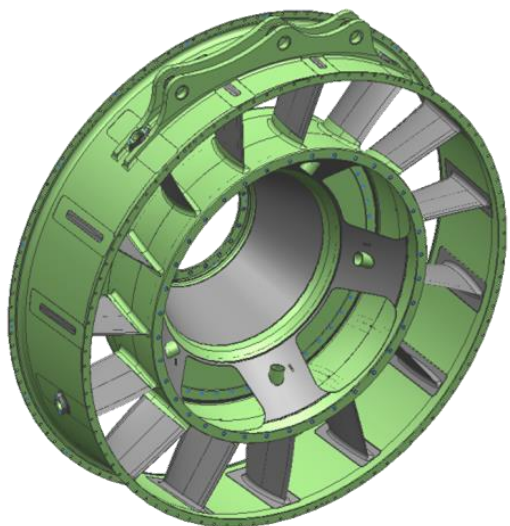
Особенности сварки элементов в корпусов турбин газотурбинных двигателей (ГТД)

Проблемы:

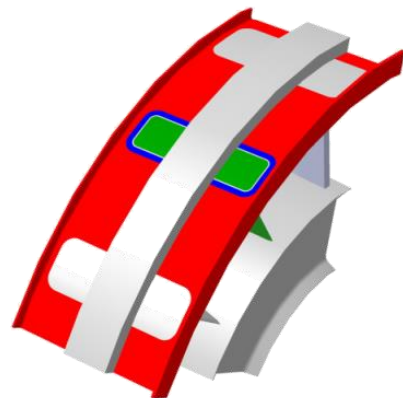
близкое расположение швов;
склонность к образованию трещин;
пересечение зон термического влияния от соседних швов.

Цель работы:

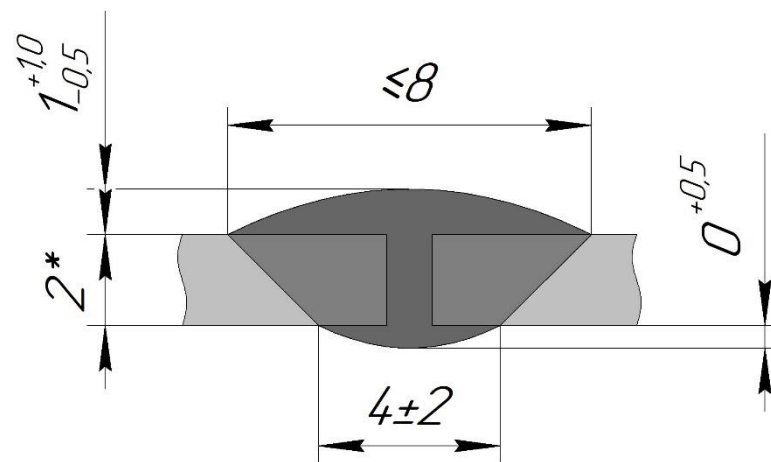
Оценить влияние типа разделки кромок и величины зазора на параметры режима и геометрию сварных соединений при сварке сплава ЭП648 толщиной 2мм



Примеры корпусов турбин газотурбинного двигателя



Геометрические параметры шва в соответствии с ГОСТ14771-76-С4-ИП



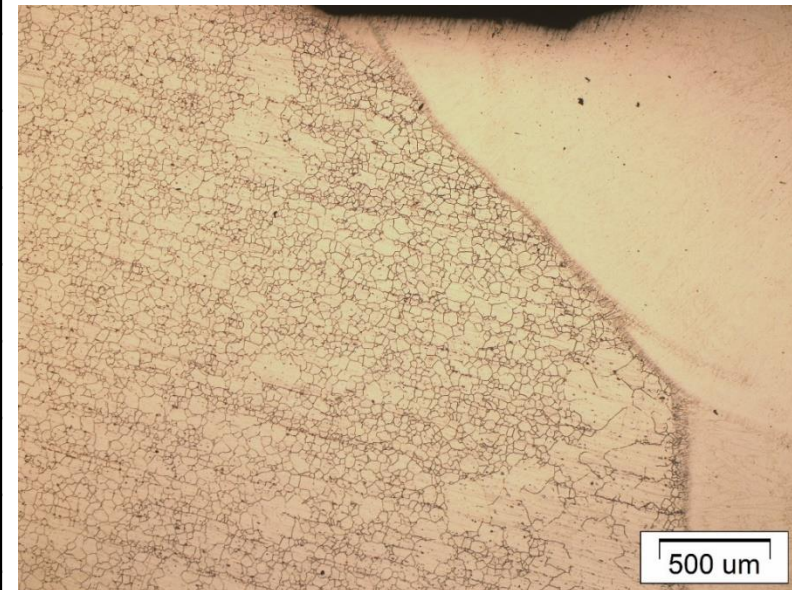
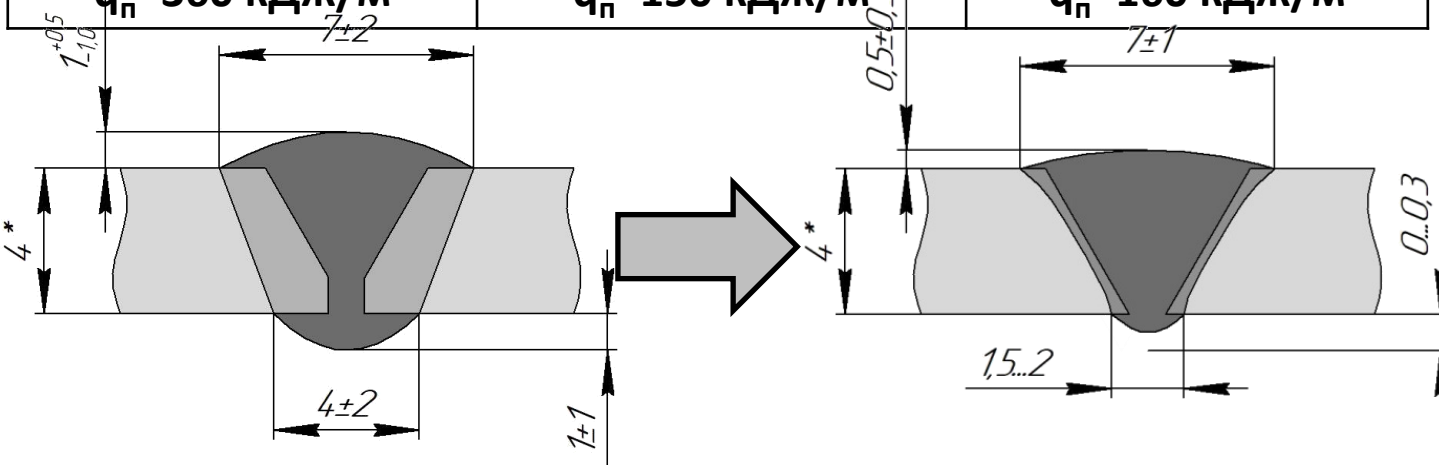


Применение импульсной сварки плавящимся электродом 3 в защитных газах (P-GMAW или И-СПЭ) для сварки 4мм

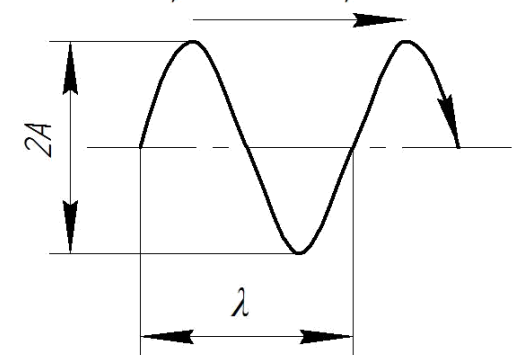
Сравнение базовой технологии сварки ЭП718 толщиной 4мм с разработанной

Микроструктура шва от двухпроходной сварки

Ручная АрДС	Роботизированная сварка проволокой $\varnothing 1,0$	
1-3 проходы	1 проход	2 проход
Непрерывной дугой	Импульсный режим	Импульсный режим
$I = 100 \dots 120 \text{ A}$	$I = 70 \text{ A}$	$I = 70 \text{ A}$
$U = 10 \dots 12 \text{ B}$	$U = 16 \text{ B}$	$U = 15 \text{ B}$
-	$V_{\text{CB}} = 20-21 \text{ м/ч}$	$V_{\text{CB}} = 18-19 \text{ м/ч}$
-	$V_{\text{пп}} = 180 \text{ м/ч}$	$V_{\text{пп}} = 200 \text{ м/ч}$
$Q_{\text{к}} = 10 \text{ л/мин}$	$Q_{\text{к}} = 4 \text{ л/мин}$	$Q_{\text{к}} = 2 \text{ л/мин}$
$Q_{\text{г}} = 20 \dots 22 \text{ л/мин}$	$Q_{\text{г}} = 16 \dots 18 \text{ л/мин}$	$Q_{\text{г}} = 16 \dots 20 \text{ л/мин}$
$q_{\text{п}} = 360 \text{ кДж/м}$	$q_{\text{п}} = 150 \text{ кДж/м}$	$q_{\text{п}} = 160 \text{ кДж/м}$



Траектория движения сварочной горелки
Направление сварки



Применение импульсной сварки плавящимся электродом в защитных газах (P-GMAW или И-СПЭ) для сварки 3мм

Параметры режима сварки ЭП718 толщиной 3мм

Роботизированная сварка плавящимся электродом $\varnothing 1,0\text{мм}$

Импульсный режим

$I = 70\text{ А}$

$U = 17\text{ В}$

$V_{\text{св}} = 22\text{ м/ч}$

$V_{\text{пп}} = 180\text{ м/ч}$

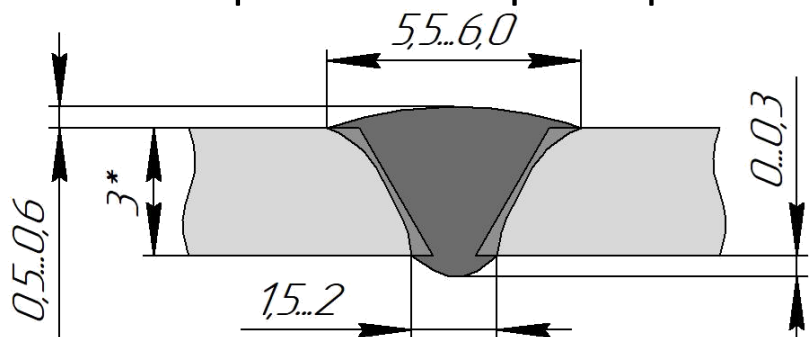
$Q_{\text{к}} = 4\text{-}5\text{ л/мин}$

$Q_{\text{г}} = 15\text{...}16\text{ л/мин}$

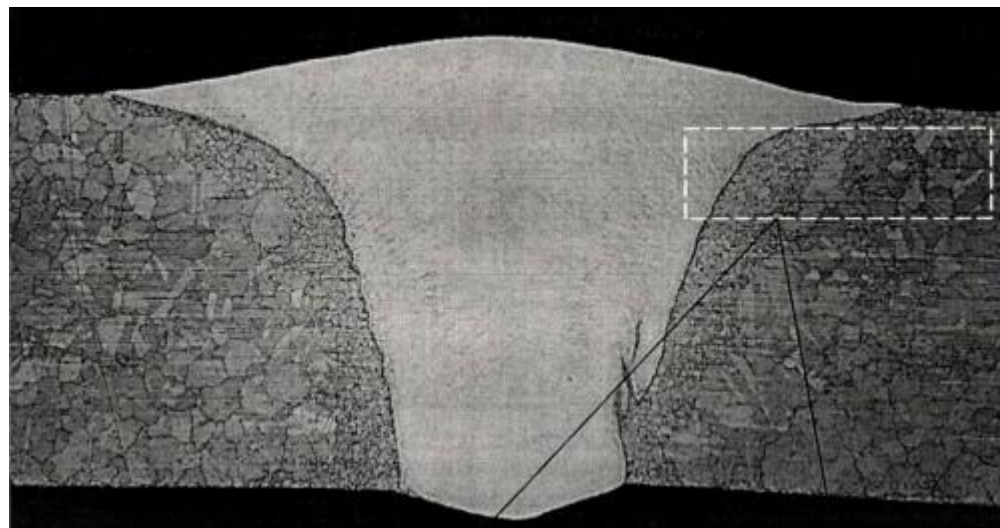
$q_{\text{п}} = 150\text{ кДж/м}$

$2A = 0,5\text{ мм}, \lambda = 1\text{ мм}$

Геометрические параметры шва



Микроструктура шва

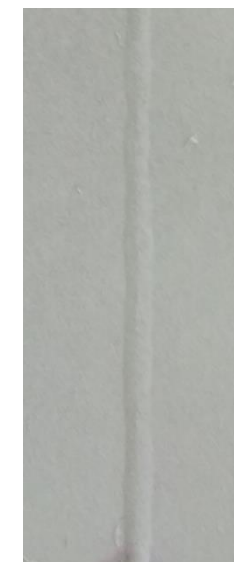


Результаты ПВК
корня шва

Лицевая сторона



Обратная сторона



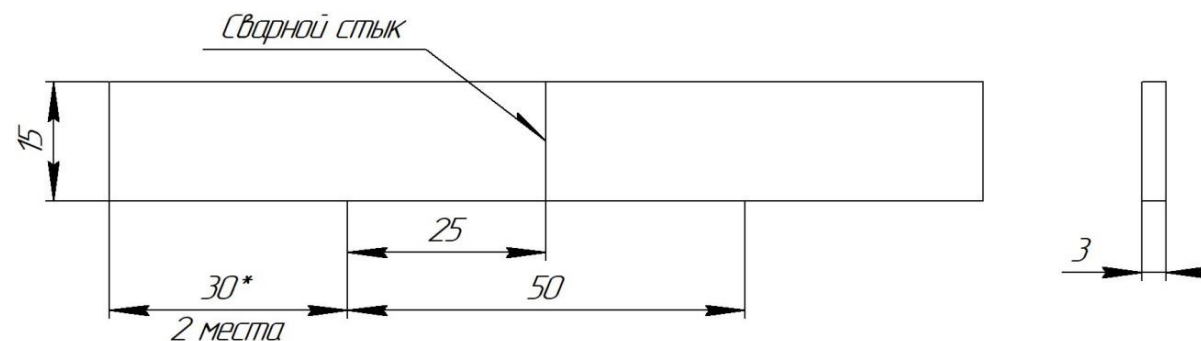
Результаты механических испытаний

Сравнение результатов механических испытаний сварных соединений из сплава ЭП718

Образец	Толщина, мм	Предел прочности σ_B , МПа
ЭП718 (основной металл)	2	1100-1250
ЭП718 (сварка плавящимся электродом ЭП533)	3	1180-1205
ЭП718 (сварка плавящимся электродом ЭП533)	4	1060-1090
ЭП718 (ЭЛС)	4	1030-1160
ЭП718 (сварка неплавящимся электродом, ЭП533)	2	1150-1200
ЭП718 (сварка неплавящимся электродом, ЭП533)	10	1070-1080






Образцы после испытаний на растяжение со снятым усилием



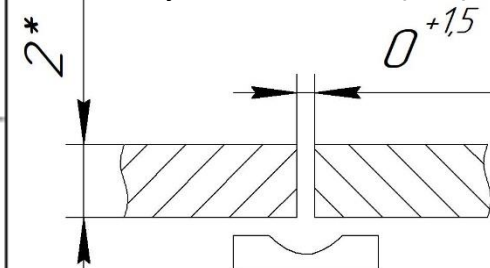
Размеры образцов для испытаний по ГОСТ6996

Перспективы применения импульсной сварки плавящимся электродом для соединений толщиной до 3мм




Соединение без разделки кромок по ГОСТ14771

Форма поперечного сечения		Толщина свариваемых деталей, мм, для способов сварки				Условное обозначение сварного соединения
подготовленных кромок	выполненного шва	ИН	ИНп	ИП	УП	
		0,5—4,0	0,8—6,0	0,8—6,0	0,8—6,0	C2
					0,8—8,0	
						

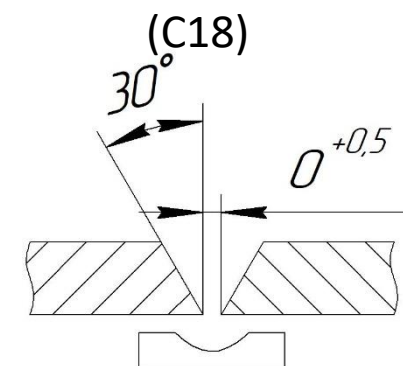
Рекомендуемая сборка под сварку при толщине менее 3мм в документации (C4)



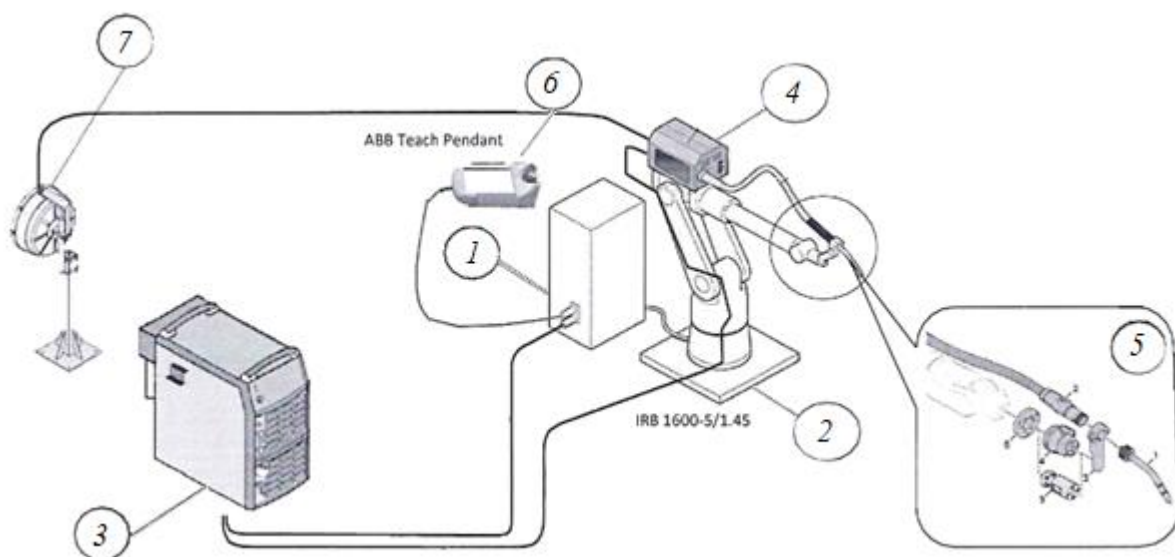
Соединение с разделкой двух кромок по ГОСТ14771

Форма поперечного сечения		Толщина свариваемых деталей, мм, для способов сварки				Условное обозначение сварного соединения
подготовленных кромок	выполненного шва	ИН	ИНп	ИП	УП	
		—	3—10	3—10	3—60	C17
						C18
						

Сборка под сварку, использованная при сварке толщин 3-5мм



Оборудование и материалы



Состав ячейки:

1. Контроллер ABB IRC5;
2. Универсальный манипулятор ABB IRB 1600;
3. Сварочный источник питания ESAB AristoMIG500i (Integrated);
4. Механизм подачи проволоки ESAB RoboFeed;
5. Сварочная горелка ESAB;
6. Пульт управления роботизированный комплексом ABB FlexPendant;
7. Кронштейн для установки кассет с проволокой.



Материалы:

Электрод ЭП533 Ø1,0мм
 Пластины 100x50x2 с разделкой
 30° и без разделки

Сварка без разделки с варьированием зазора

№	1	2	3	4
Параметр				
b , мм	0,0	0,5	1,0	1,5
I_{cp} , А	65-70			
U_{cp} , А	18			
V_{CB} , м/ч	16-18	18-20	21,5-23,5	23-25
$V_{п}$, м/ч	180			
$P_{и}$, Вт	870-950 (900)			
$q_{п}$, Дж/мм	200	170	150	140
e , мм	4,7-5,3	4-5	5,5-6,5	5,5-6,5
g , мм	1,8-2	1,8-2	1,2-1,4	0,8-1,2
e_1 , мм	3,4-4,0	2-3,5	1,8-2,5	1,7-2,5
g_1 , мм	1,2-1,5	0,5-1,2	0,3-0,6	0,2-0,6

Схема сборки под сварку

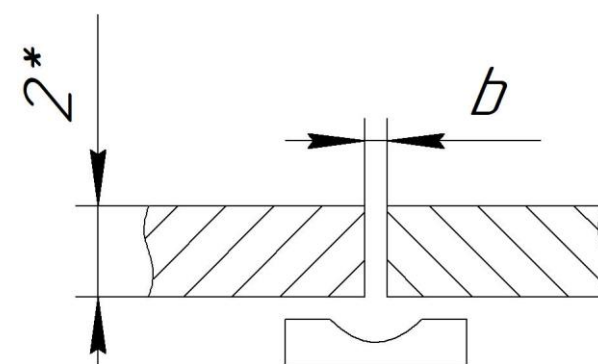
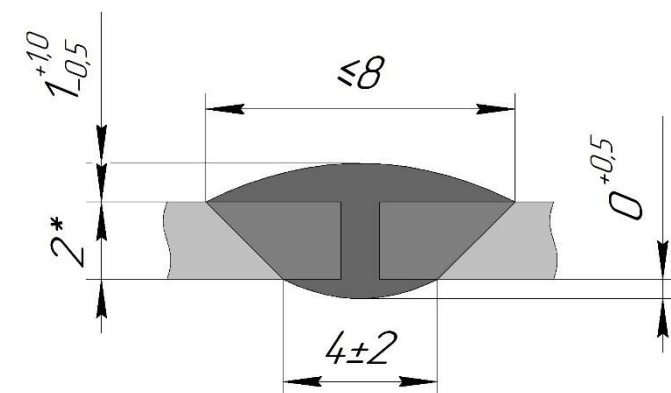
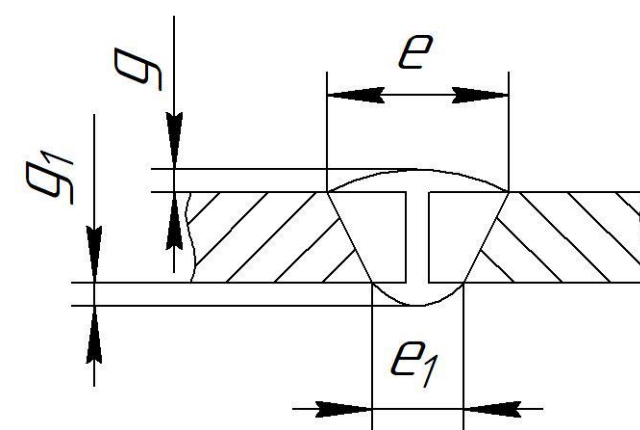


Схема сварного соединения



Сварка без разделки с варьированием зазора

Внешний вид сварных образцов:

Лицевая сторона

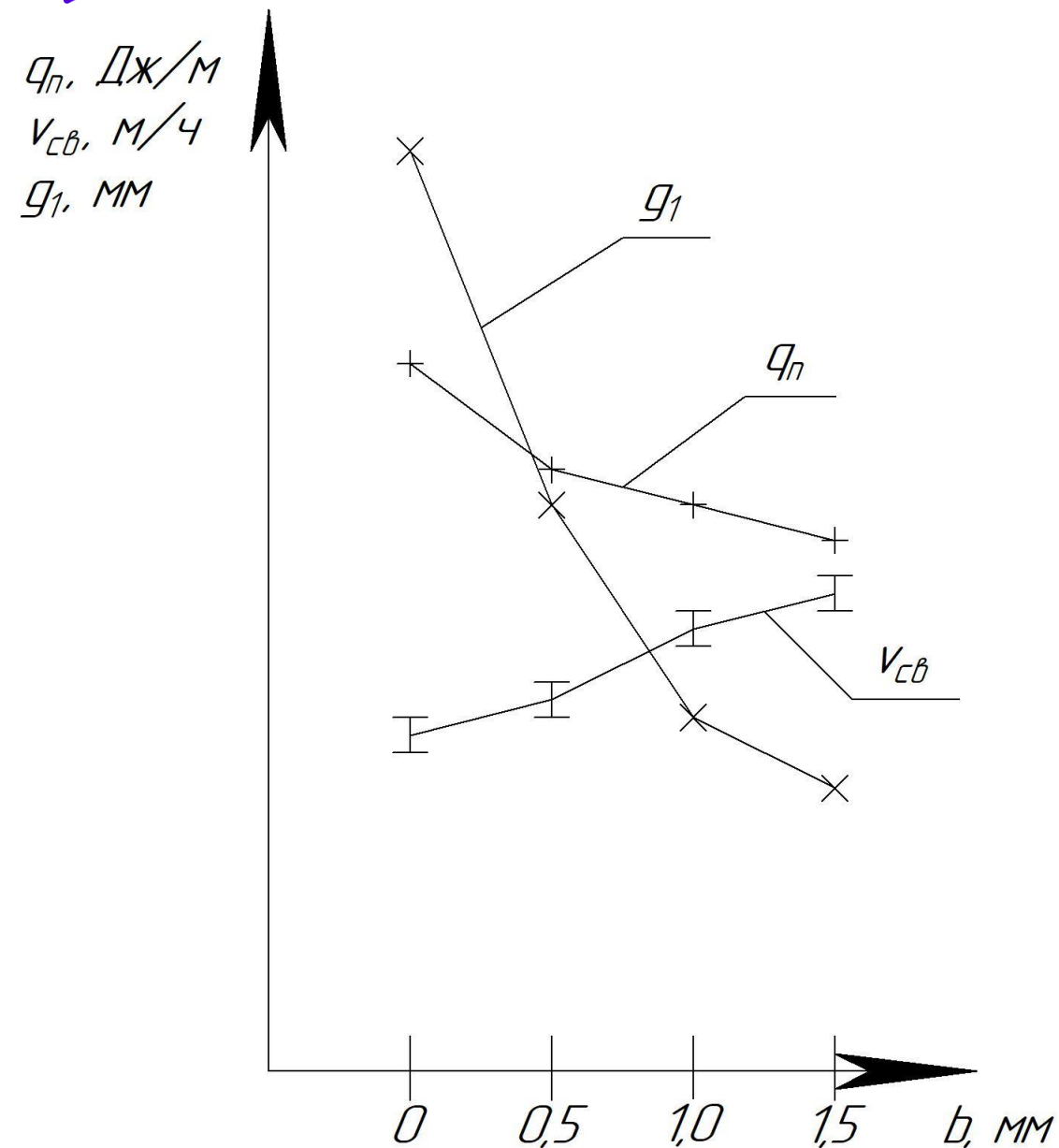


Обратная сторона



Зазор 1мм

Без зазора



Влияние зазора на скорость, погонную энергию и высоту обратного валика

Расчет тепловых полей от движущегося источника при сварке без разделки кромок

$$dT(x, y) := \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot \delta} \cdot \exp\left(\frac{-v \cdot x}{2 \cdot a}\right) \cdot K_0\left(\frac{v \cdot r(x, y)}{2 \cdot a} \cdot \sqrt{1 + \frac{4 \cdot a \cdot b}{v^2}}\right)$$

Схема движущегося линейного источника тепла в бесконечной пластике

$$dT(x, y, z) := \frac{q}{2 \pi \cdot \lambda \cdot R(x, y, z)} \cdot \exp\left[\frac{-v}{2a}(R(x, y, z) + x)\right]$$

Схема движущегося точечного источника тепла в полубесконечном теле

$$R(x, y, z) := \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$r(x, y) := \sqrt{x^2 + y^2}$$

Функции, описывающие координаты точки в двухмерной и трехмерной системе координат

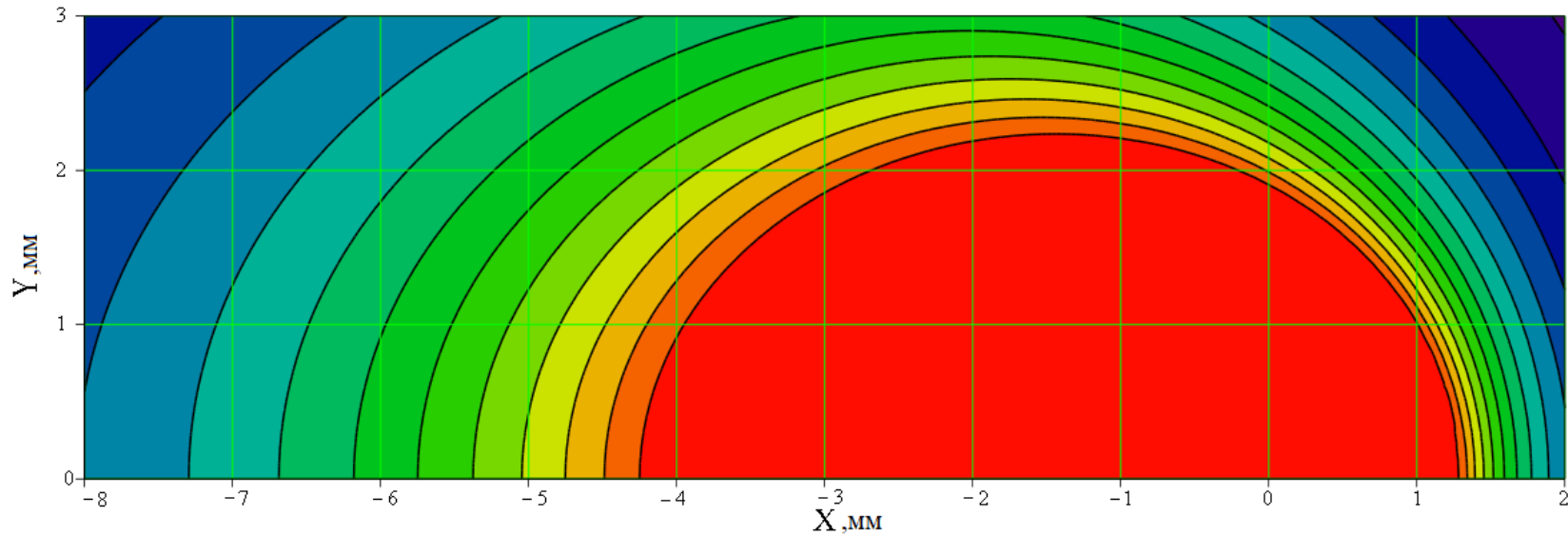
Теплофизические свойства

a	ср	λ	b
4,2мм ² /с	3,66Дж/(см ³ К)	0,15Вт/(см*К)	1,26с ⁻¹

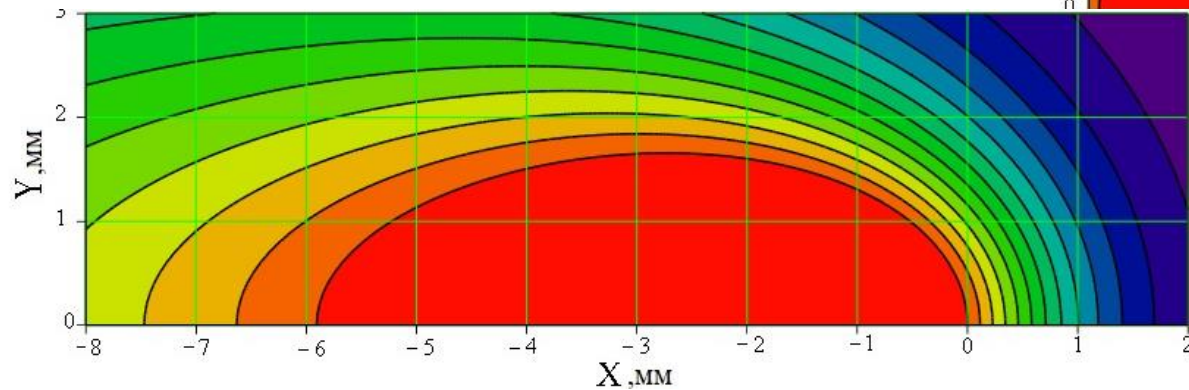
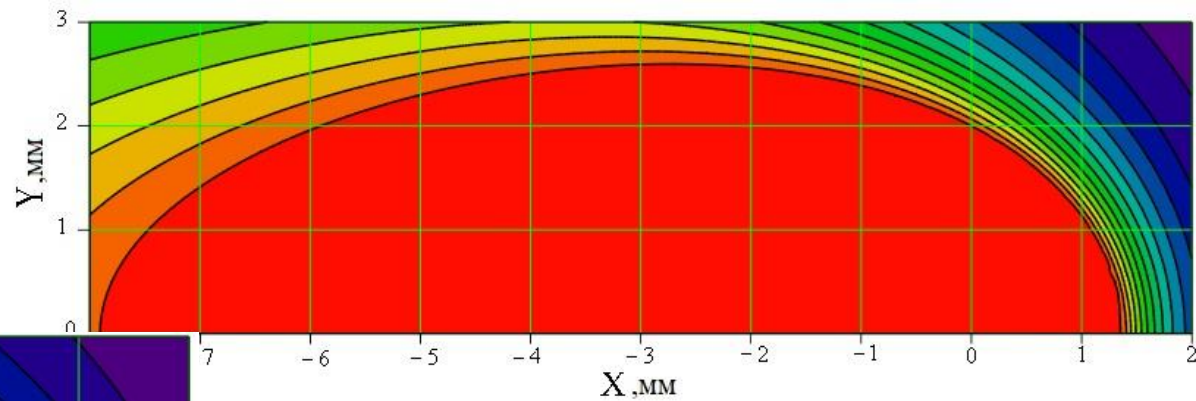


Расчет тепловых полей от движущегося источника при сварке без разделки кромок

Тепловые поля от линейного источника (образец без зазора)



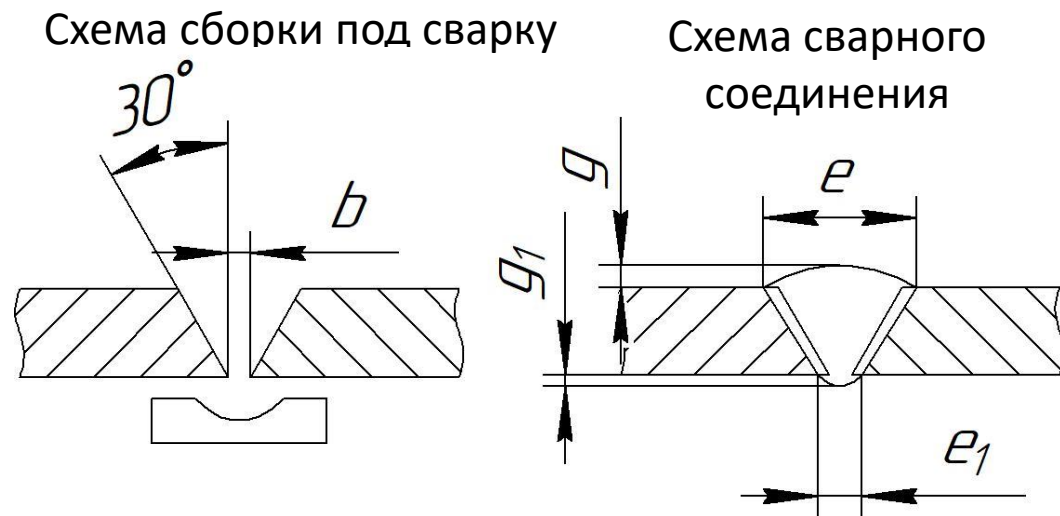
Тепловые поля от точечного источника на лицевой стороне (образец с зазором 1мм)



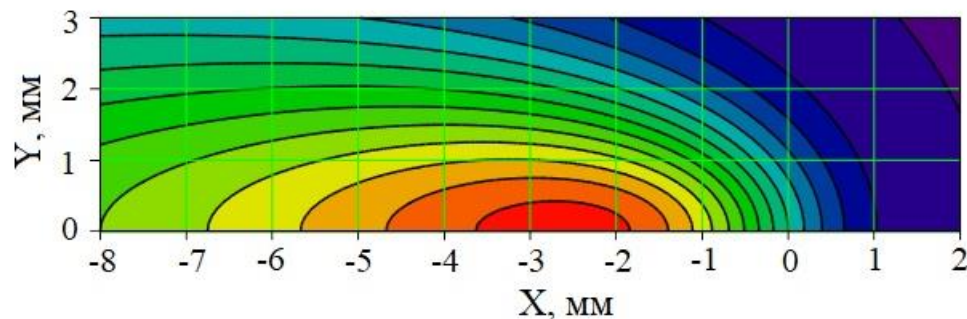
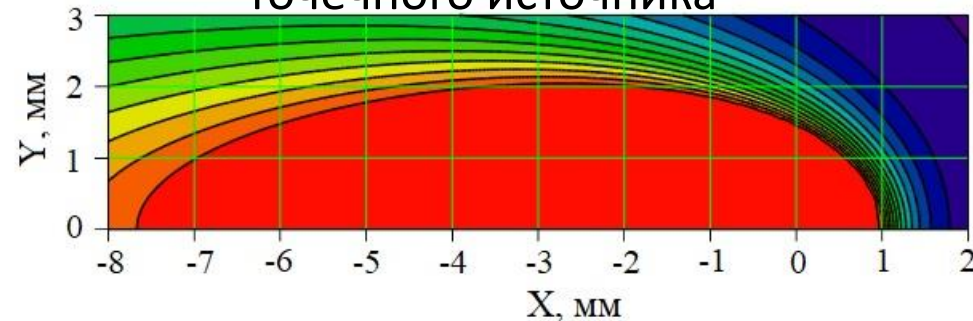
Тепловые поля от точечного источника на обратной стороне (образец с зазором 1мм)

Сварка с разделкой кромок

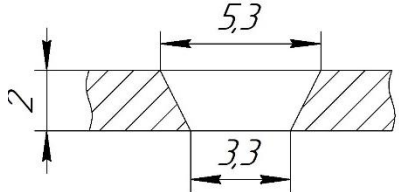
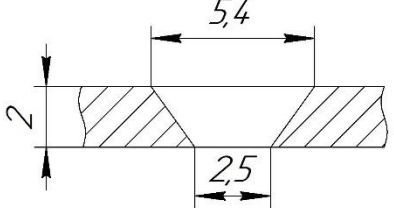
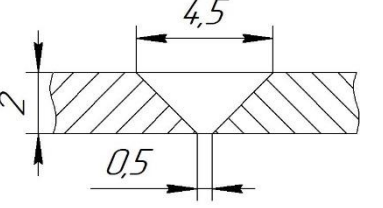
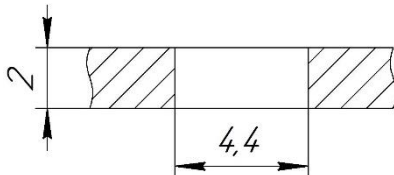
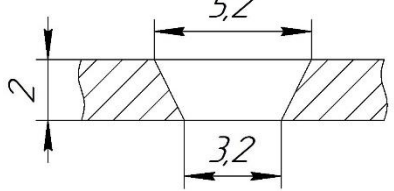
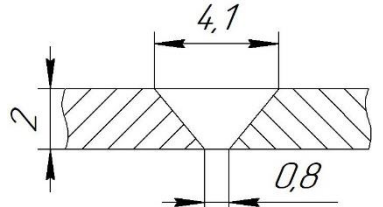
№	1	2
Параметр		
b, мм	0,0	0,5
$I_{\text{ср}}$, А	65-70	
$U_{\text{ср}}$, А	18	
$V_{\text{св}}$, м/ч	32-40	32-36
$V_{\text{п}}$, м/ч	180	
$P_{\text{и}}$, Вт	870-950 (900)	
$q_{\text{п}}$, Дж/мм	75-100	90-100
e, мм	4,5-5,0	4,5-5,0
g, мм	0,7-1	0,6-0,9
e_1 , мм	0,5-1,3	$\leq 0,7$
g_1 , мм	0-0,5	0-0,5



Температурные поля от движущегося
точечного источника



Сравнение результатов сварки с разделкой и без

Параметр	Без разделки, зазор 0-0,5мм	Без разделки, зазор 1-1,5мм	С разделкой, зазор 0-0,5 мм
Сечение шва			
Сечение шва при схематизации источника нагрева			
Погонная энергия, Дж/мм	170-200	140-150	75-100
Удельная энергия на единицу площади шва, Дж/мм ² (q_p/δ)	85-100	70-75	37,5-50
Ширина шва e, мм	4-5	5,5-6,5	4,5-5

Выводы

1. В соответствии с ГОСТ 14771 сварка плавящимся электродом толщин менее 3 мм должна вестись без разделки кромок, а для толщин 3...6 мм допускаются соединения как с разделкой, так и без нее.
2. При сварке проволокой ЭП533 металла толщиной 2мм без разделки кромок тепловложение оказывается таким же или больше по сравнению со сваркой металла толщиной 3мм с разделкой кромок на ранее разработанном режиме.
2. Экспериментально показано, что сварка металла толщиной 2мм с разделкой кромок обеспечивает снижение тепловложения в 1,5-2 раза по сравнению со сваркой без разделки кромок.
3. Форма проплавления при сварке с разделкой кромок наиболее точно описывается схемой точечного источника на поверхности полубесконечного тела, вне зависимости от величины сварочного зазора.
4. При сварке соединений без разделки для зазоров менее 1 мм форма проплавления удовлетворительно описывается схемой линейного источника в пластине, а при больших зазорах ближе к точечному источнику. Этим обусловлен скачок в характеристиках процесса сварки при переходе от зазора 0-0,5мм к 1-1,5мм.



УФИМСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Спасибо за внимание!

