

## Технология роботизированной MIG сварки корпуса опоры турбины газотурбинной установки

*Докладчик:* Галимов Виталий Рустемович,  
Аспирант кафедры Сварочных, литейных и  
аддитивных технологий, Уфимский  
государственный технический университет

Руководитель: д.т.н., доцент Медведев А.Ю.

2021

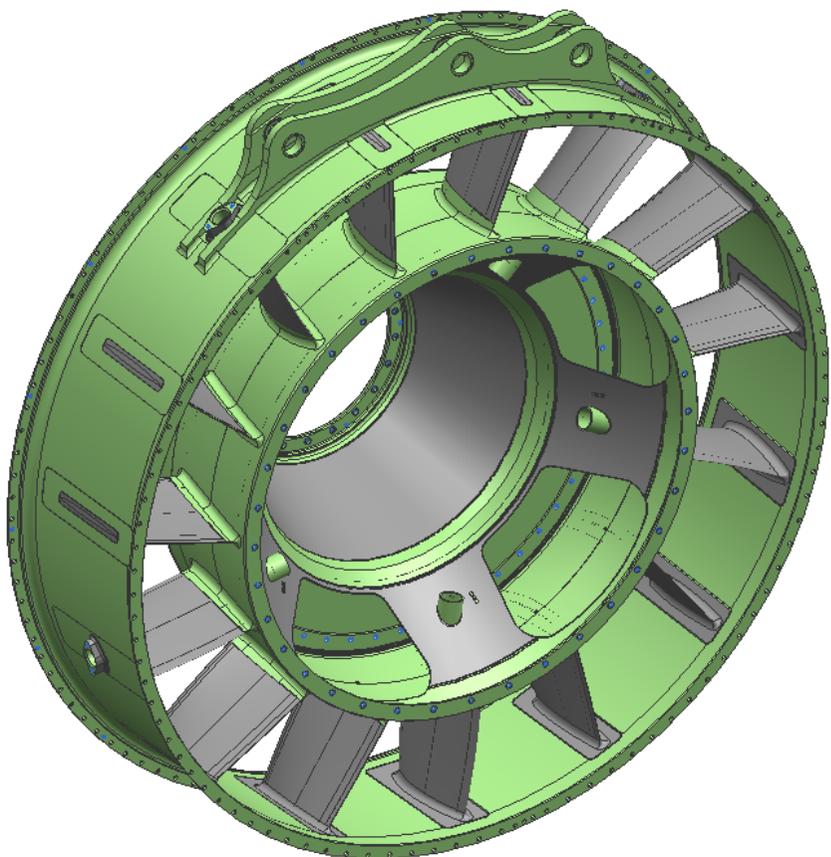
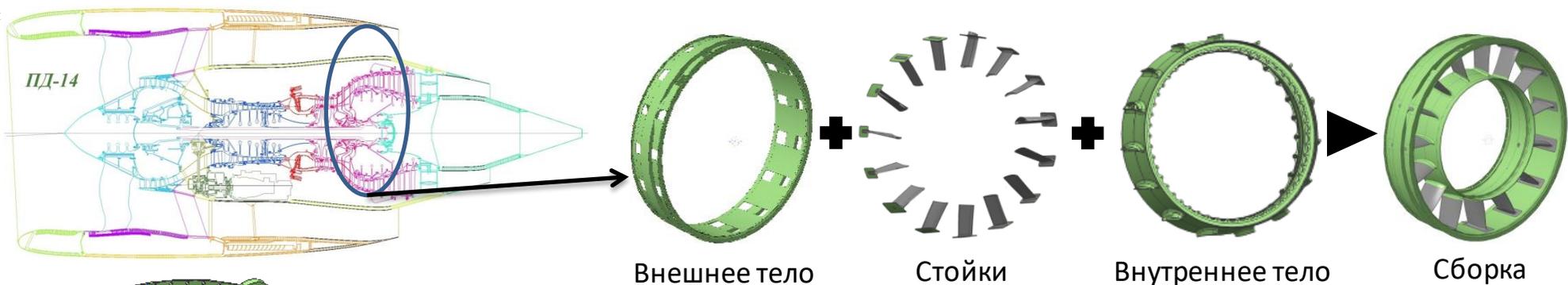




УГАТУ

Уфимский государственный  
авиационный технический  
университет

# Проблемы сварки корпусных узлов на примере корпуса опоры ТНД двигателя ПД-14



## Технологические проблемы, связанные с конструктивными особенностями:

1. При толщине 4-5 мм многопроходная ручная аргодуговая сварка обладает низкой производительностью.
2. Сплав ЭП718 обладает достаточно низкой сопротивляемостью к образованию трещин при сварке, чувствителен к перегреву и повторному нагреву.
3. Большое количество сварных швов и высокая жесткость конструкции на момент вварки стоек усугубляют проблему трещинообразования в сварных швах.

## Рекомендации ВИАМ по сварке ЭП718 (ХН45МВЮТБР)

Толщина	Способ сварки	Присадочный материал	$\sigma_b$ при 20 °С, МПа	$\sigma_b$ при 600 °С, МПа
0,5-0,8	АрДЭС	Без присадки	1100-1250	580-670
1,5-2,0	АрДЭС	ЭП533	1210-1300	690-780
Более 2,0	ЭЛС	-	1290-1310	680-810



УГАТУ

Уфимский государственный  
авиационный технический  
университет

## Цель и задачи НИОКР

Целью работы является снижение уровня остаточных напряжений в корпусе опоры турбины двигателя ПД-14 и повышение трещиностойкости

*Задачи:*

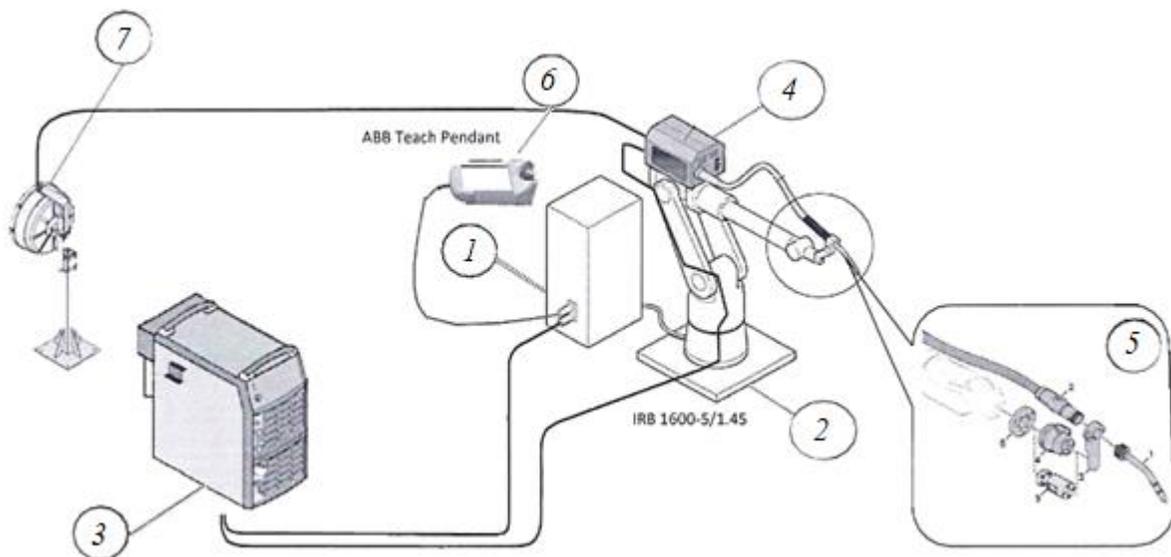
1. Отработать технологию роботизированной СПЭ сплава ЭП718 толщ. 4...5 мм с минимальным энерговложением.
2. Оценить расчетным путем уровень остаточных напряжений в сварных соединениях корпуса опоры ТНД при ручной АрДС и роботизированной СПЭ.
3. Провести апробацию технологии роботизированной СПЭ сплава ЭП718 толщ. 4...5 мм на конструктивно-подобных элементах



УГАТУ

Уфимский государственный  
авиационный технический  
университет

# Роботизированная сварочная ячейка, использованная для отработки технологии роботизированной СПЭ сплава ЭП718



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.



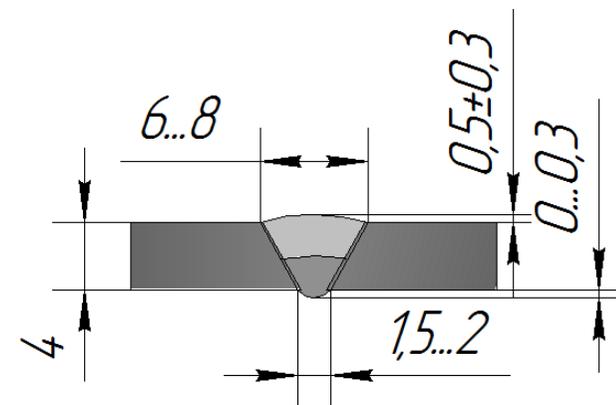
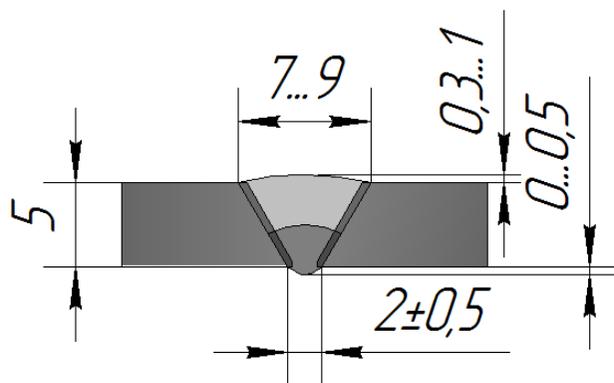
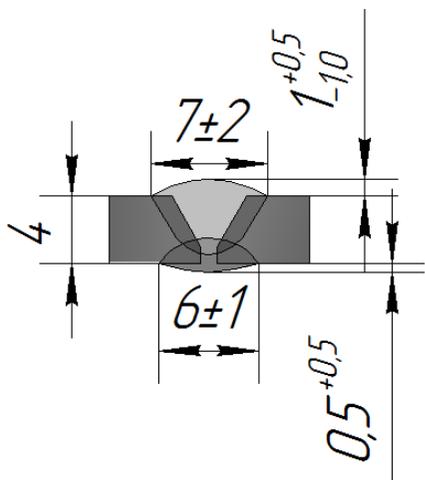


УГАТУ

Уфимский государственный  
авиационный технический  
университет

# Технологические и энергетические параметры сварки сплава ЭП718

Ручная АрДС	Роботизированная сварка проволокой $\varnothing 1,2$		Роботизированная сварка проволокой $\varnothing 1,0$	
	1 проход	2 проход	1 проход	2 проход
1-3 проходы	1 проход	2 проход	1 проход	2 проход
Непрерывной дугой	Импульсный режим	Импульсный режим	Импульсный режим	Импульсный режим
$I = 100 \dots 120 \text{ А}$	$I = 70 \text{ А}$	$I = 80 \text{ А}$	$I = 70 \text{ А}$	$I = 70 \text{ А}$
$U = 10 \dots 12 \text{ В}$	$U = 16 \text{ В}$	$U = 16 \text{ В}$	$U = 16 \text{ В}$	$U = 15 \text{ В}$
-	$V_{\text{св}} = 20-21 \text{ м/ч}$	$V_{\text{св}} = 15 \text{ м/ч}$	$V_{\text{св}} = 20-21 \text{ м/ч}$	$V_{\text{св}} = 18-19 \text{ м/ч}$
-	$V_{\text{пп}} = 102 \text{ м/ч}$	$V_{\text{пп}} = 114 \text{ м/ч}$	$V_{\text{пп}} = 180 \text{ м/ч}$	$V_{\text{пп}} = 198 \text{ м/ч}$
$Q_{\text{к}} = 10 \text{ л/мин}$	$Q_{\text{к}} = 3 \text{ л/мин}$	$Q_{\text{к}} = 3 \text{ л/мин}$	$Q_{\text{к}} = 4 \text{ л/мин}$	$Q_{\text{к}} = 2 \text{ л/мин}$
$Q_{\text{г}} = 20 \dots 22 \text{ л/мин}$	$Q_{\text{г}} = 18 \dots 20 \text{ л/мин}$	$Q_{\text{г}} = 14 \dots 16 \text{ л/мин}$	$Q_{\text{г}} = 16 \dots 18 \text{ л/мин}$	$Q_{\text{г}} = 16 \dots 20 \text{ л/мин}$
$q_{\text{п}} = 360 \text{ кДж/м}$	$q_{\text{п}} = 150 \text{ кДж/м}$	$q_{\text{п}} = 230 \text{ кДж/м}$	$q_{\text{п}} = 150 \text{ кДж/м}$	$q_{\text{п}} = 160 \text{ кДж/м}$



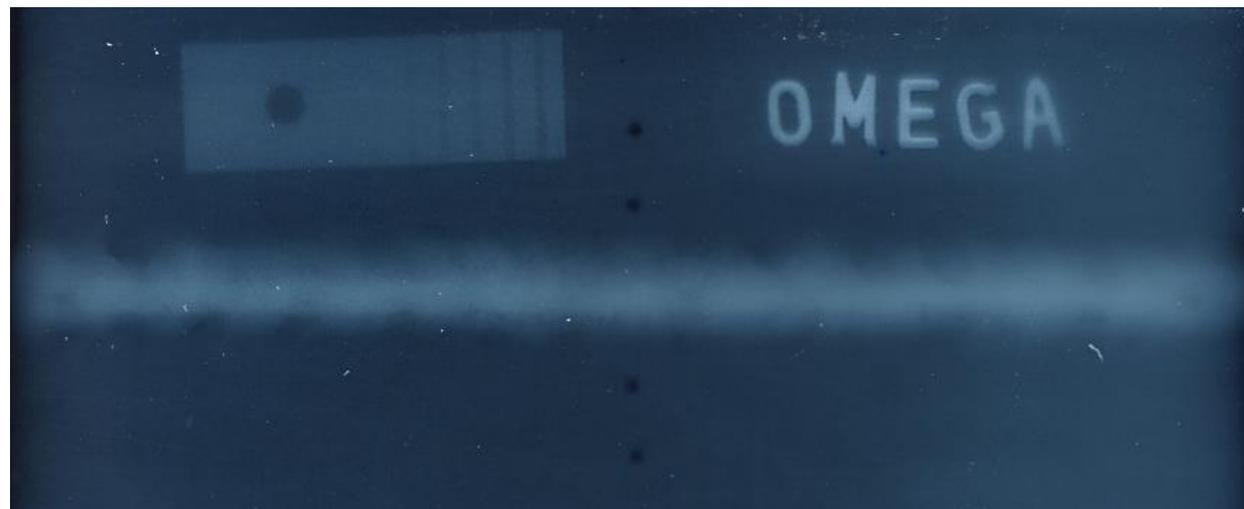


УГАТУ

Уфимский государственный  
авиационный технический  
университет

# Исследование сварных соединений толщиной 5 мм

Рентгенография



Лицевая сторона



после первого прохода

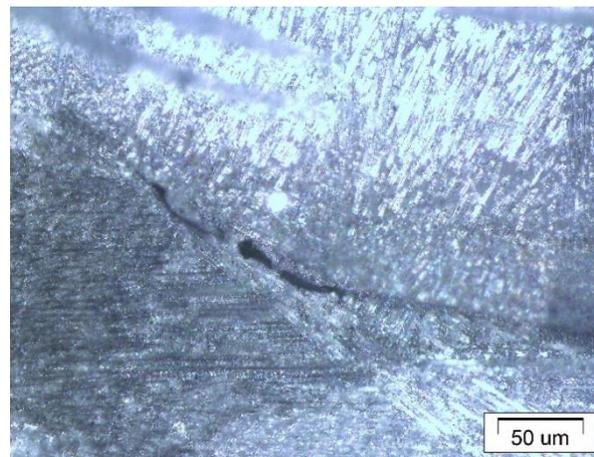


после второго прохода

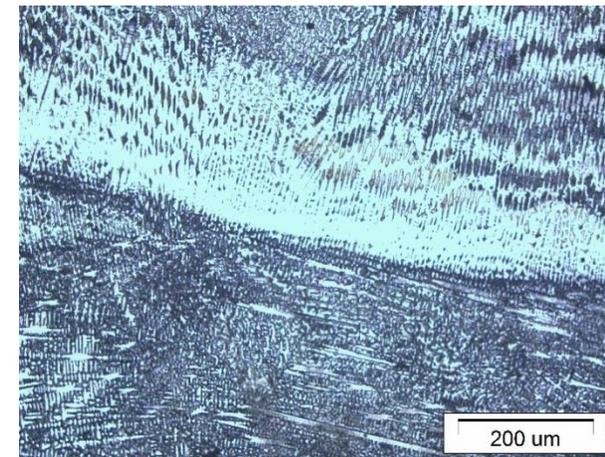
ПВК обратной стороны шва



Металлография зоны сплавления корневого и  
облицовочного проходов



Зачистка корня стальной  
щеткой



Зачистка корня бормашиной

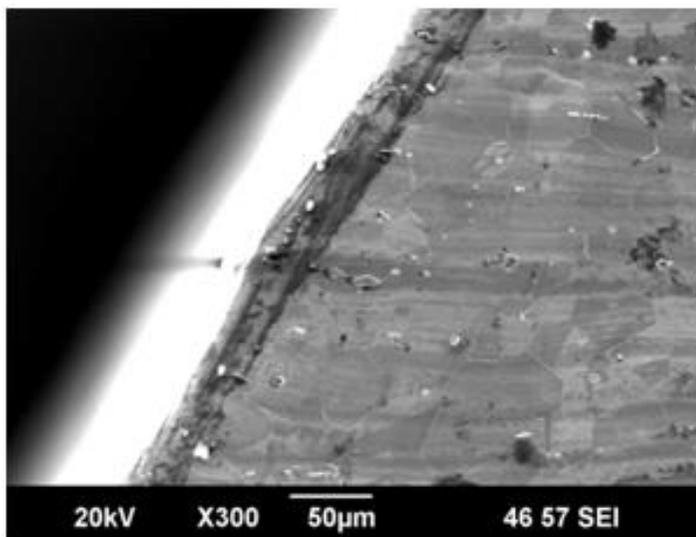
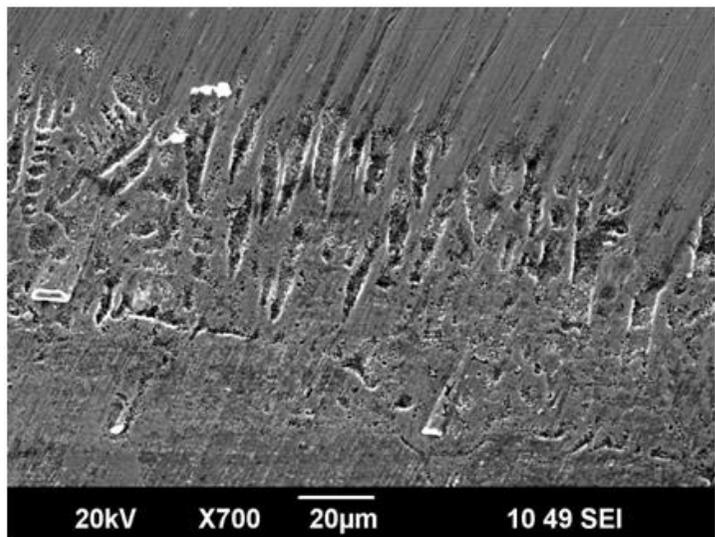


УГАТУ

Уфимский государственный  
авиационный технический  
университет

# Исследование сварных соединений толщиной 4 мм

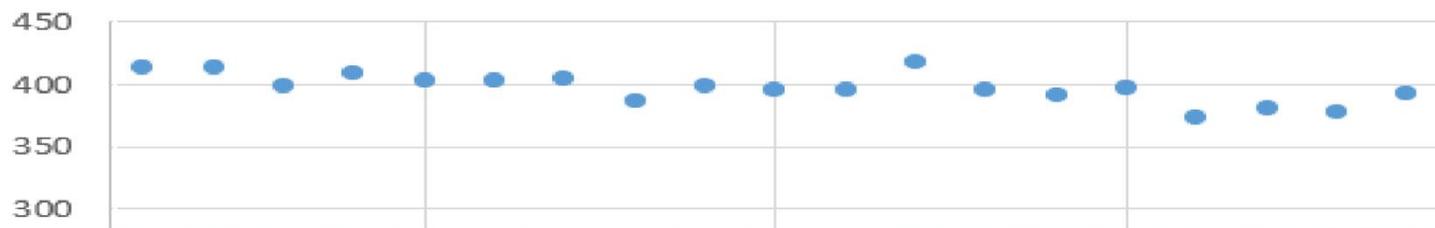
## Растровая электронная микроскопия



## Испытания на растяжение



## Микротвердость сварного соединения



Направление замера твердости

## Спектротрирование

	1	2	3	4	5
Ni	45.3	45.2	45.3	44.8	44.7
Mo	4.15	4.03	4.12	4.18	4.21
Si	0.11	0.12	0.12	0.13	0.15
Cr	12.6	12.9	12.8	12.8	13.1
Fe	31.2	30.7	30.7	31.2	30.9
Mn	0.044	0.045	0.041	0.041	0.045
Nb	0.825	0.820	0.834	0.852	0.849
Cu	0.0079	0.0085	0.0083	0.0078	0.0074
Al	0.82	0.88	0.85	0.85	0.86
Ti	1.89	2.04	2.00	1.98	1.99
W	2.76	2.91	2.86	2.81	2.88
Co	0.298	0.316	0.309	0.301	0.292
C	0.050	0.042	0.049	0.038	0.035
Mg	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
B	0.0063	0.0047	0.0056	0.0053	0.0046
S	0.004	0.008	0.004	0.003	0.007
P	0.006	0.008	0.004	0.003	0.006
V	0.0502	0.0501	0.0506	0.0502	0.0497
Sn	0.029	0.029	0.028	0.025	0.029
Zr	0.0154	0.0157	0.0158	0.0160	0.0163
Hf	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

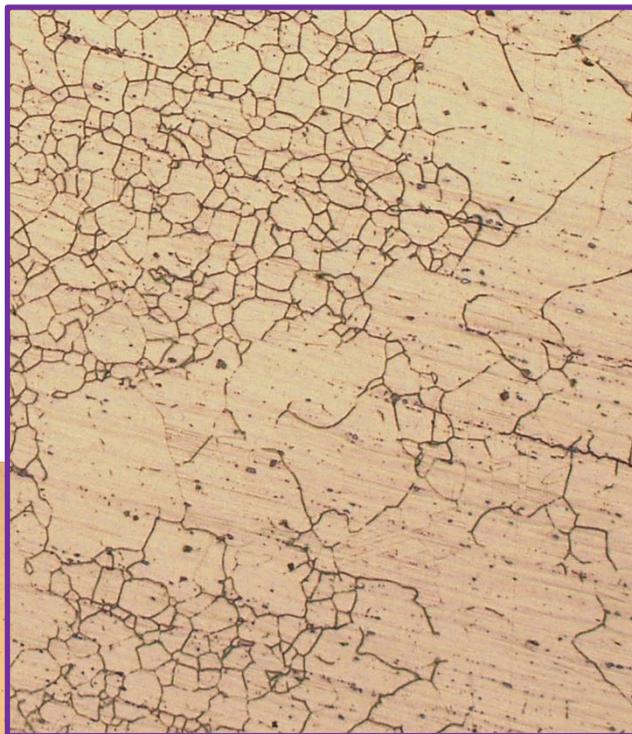


УГАТУ

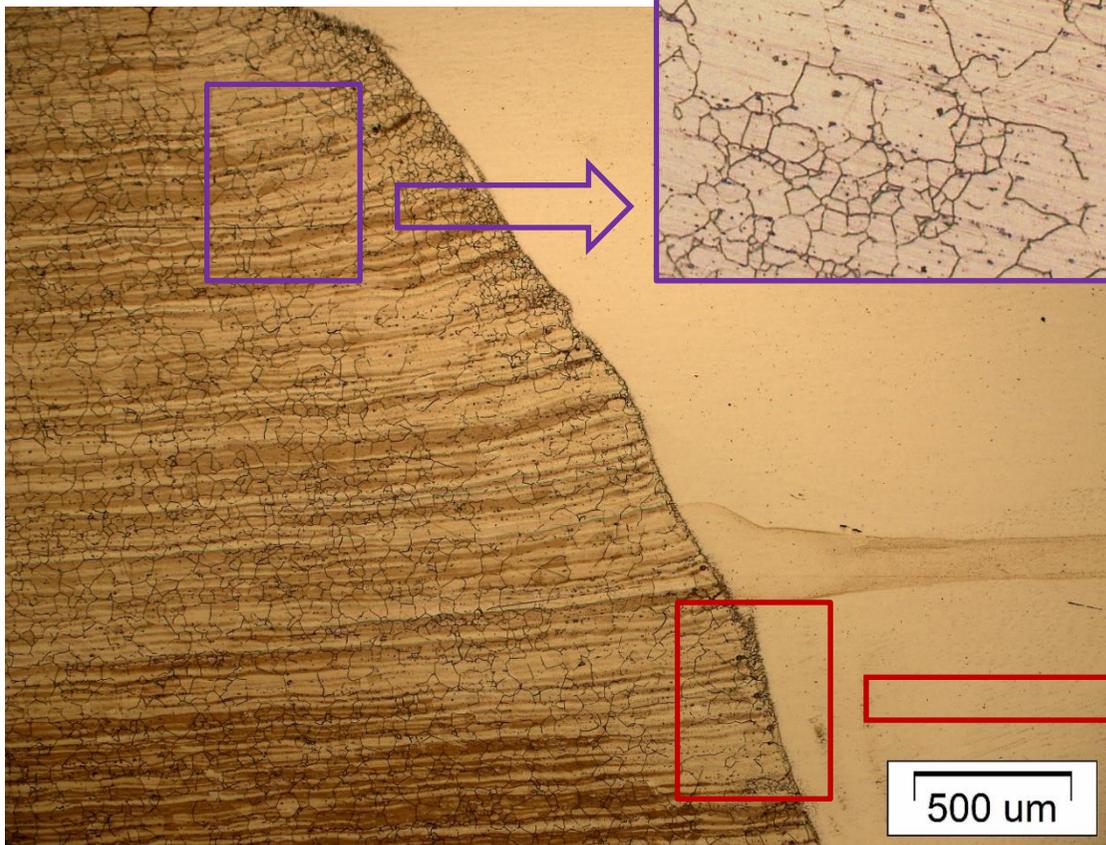
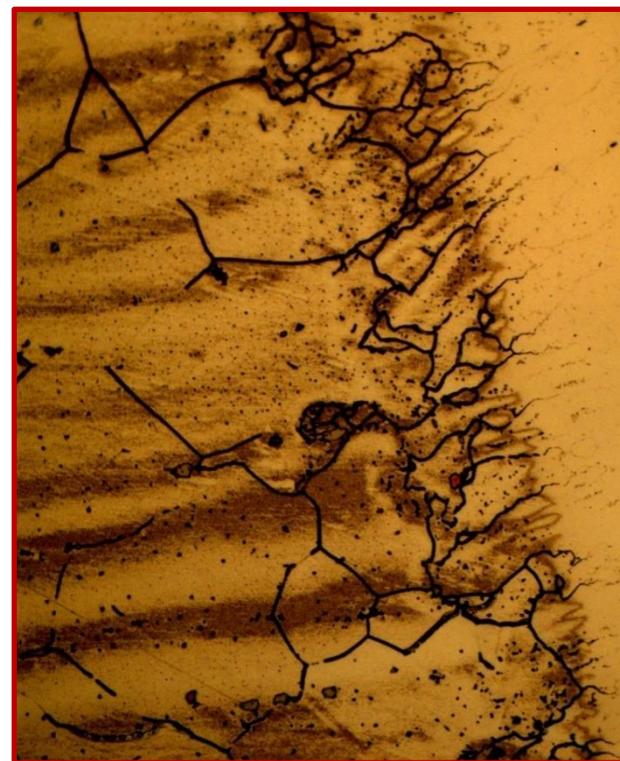
Уфимский государственный  
авиационный технический  
университет

# Микроструктура ОШЗ сварных соединений ЭП718, выполненных роботизированной СПЭ

Микроструктура участка  
роста зерна



Микроструктура зоны  
сплавления



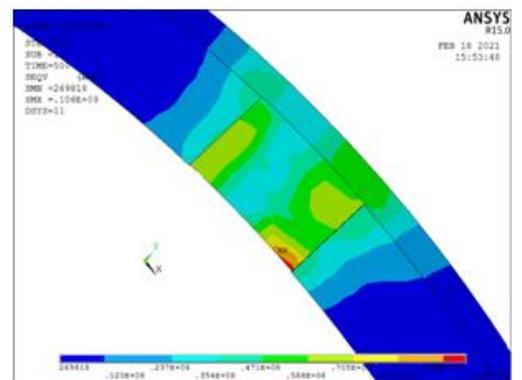
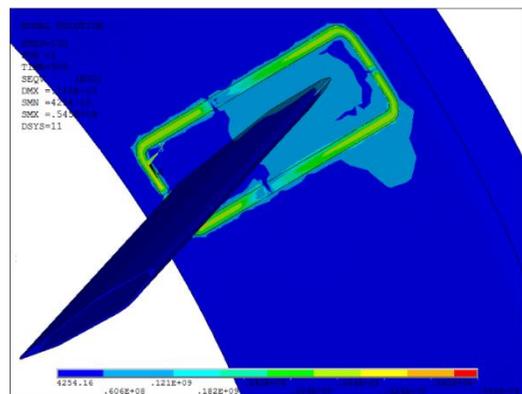
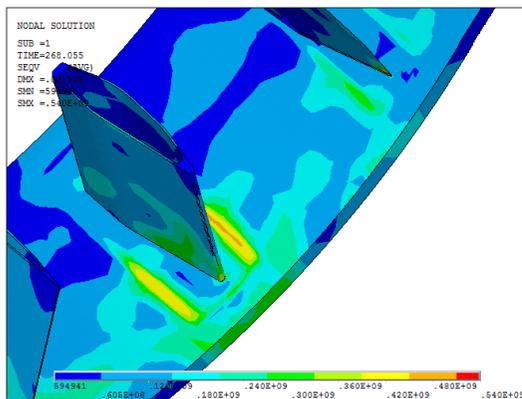
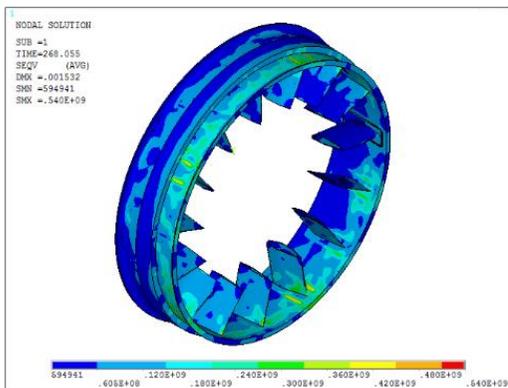


УГАТУ

Уфимский государственный  
авиационный технический  
университет

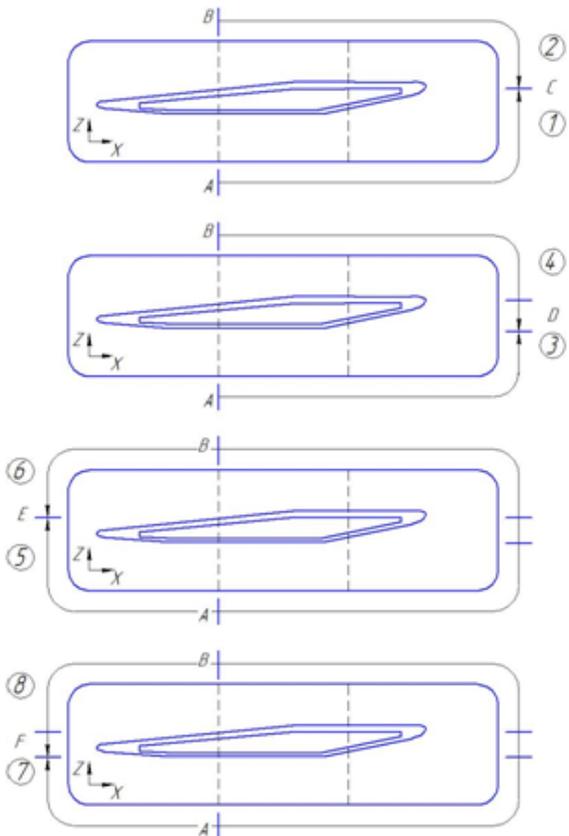
# Анализ напряженно-деформированного состояния при сварке одной стойки с внешним телом

Ручная АрДС неплавящимся электродом

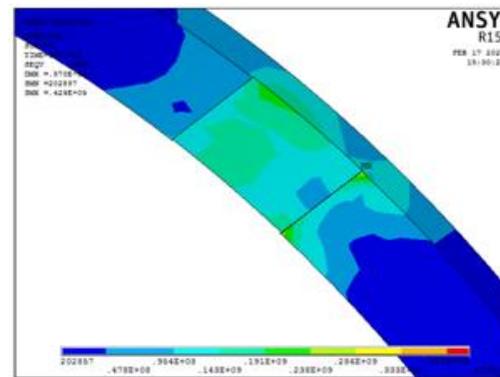
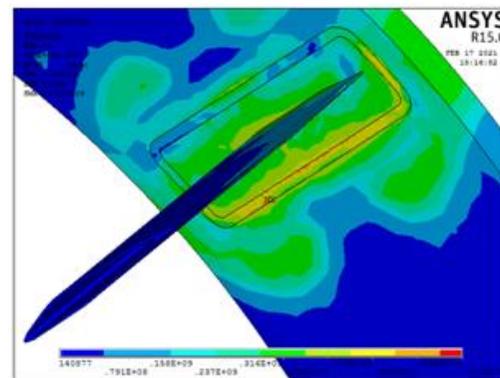
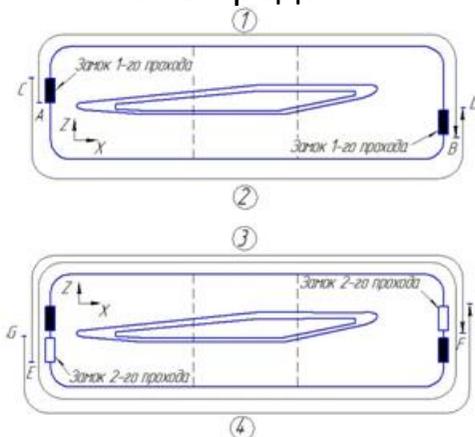


Эквивалентные напряжения по Мизесу

Порядок наложения проходов



Роботизированная сварка плавящимся электродом



Порядок наложения проходов

Эквивалентные напряжения по Мизесу

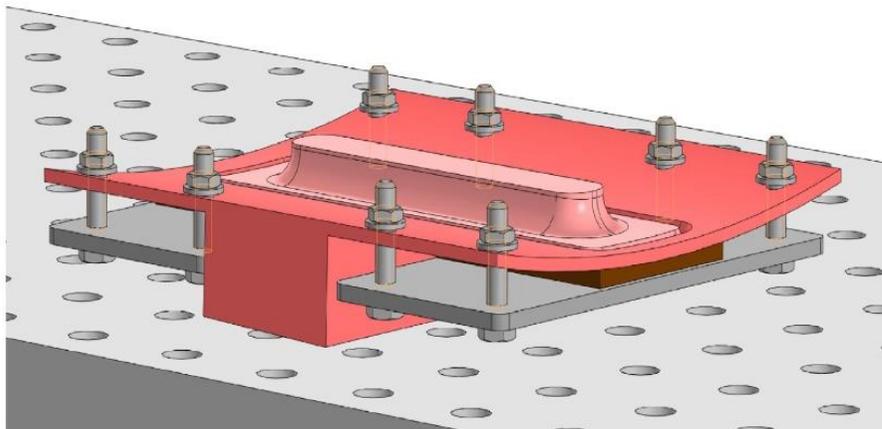


УГАТУ

Уфимский государственный  
авиационный технический  
университет

# Апробация технологии роботизированной СПЭ на конструктивно-подобных элементах

## Сборочно-сварочная оснастка



Лицевая сторона после облицовки  
на  $\frac{3}{4}$  периметра



Обратная сторона после подварки



# Выводы

1. Значительное (до 50%) снижение погонной энергии по сравнению с ручной АрДС при сохранении того же количества проходов.
2. Снижение времени горения дуги, а при комплексной роботизации процесса снижается время выполнения сопутствующих операций.
3. Цифровизация процессов подготовки, сборки, сварки и контроля повышает надёжность и точность операций
4. Снижение уровня остаточных сварочных напряжений и деформаций по сравнению с ручной АрДС, снижение вероятности образования трещин при сварке.
5. Обеспечение возможности управления микроструктурой ОШЗ в сварных соединениях жаропрочных сплавов на основе никеля.
6. Отработанная в ходе НИОКР технология роботизированной СПЭ реализуема лишь при ужесточении требований к сборочным параметрам (по сравнению с нынешними требованиями под ручную АрДС).

***Спасибо за внимание!***

