

# Структура и свойства соединений листов и плит из сплава 1565чН2(Н116\Н321), выполненных сваркой трением с перемешиванием (СТП)

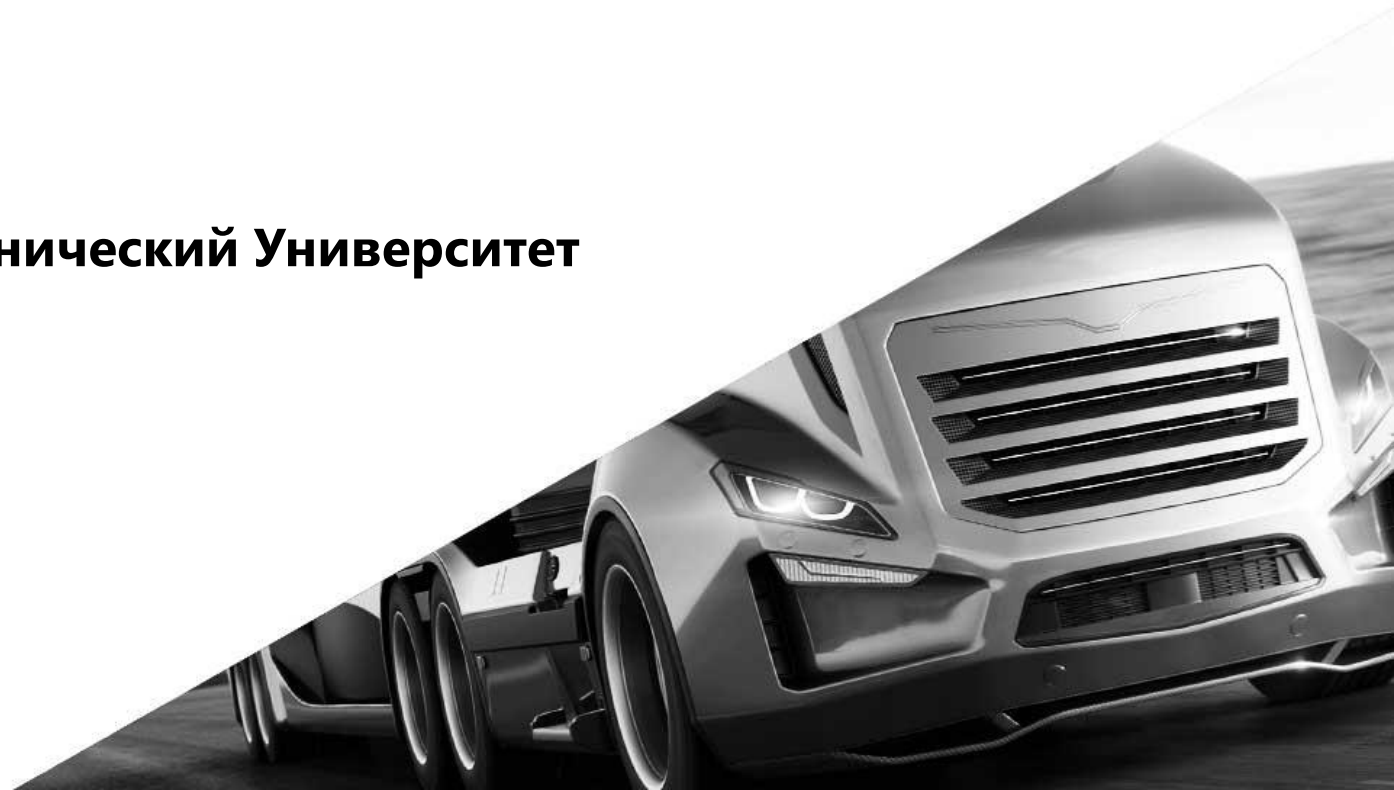
19 октября 2021 года

**Дриц А.М., АО «Аркони́к СМЗ»**

**Овчинников В.В., Московский Политехнический Университет**



**ARCONIC**



## Механические свойства листов и плит из сплава 1565ч по стандартам (ГОСТ 21631-2019; ТУ1-802-470)

Полуфабрикат и толщина	Состояние поставки	Механические свойства, не менее		
		Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$
Лист, 3–6 мм	М	335	170	15
	H2 (H116\H321)	360	255	10
Плита, 11–30 мм	М	335	175	15
	H2 (H116/H321)	370	270	10

Примечание: H116 - обозначение состояния поставки в соответствии с европейской классификацией, аналогичное H2

## Фактические механические свойства листов и плит сплава 1565чН2 (Н116\Н321)

Полуфабрикат , толщина	Направление вырезки образцов	Механические свойства				
		Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Угол изгиба $\alpha$ , град.	Ударная вязкость КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
Лист, 3 мм	Поперечное	<u>380–400</u> 388	<u>288–305</u> 294	<u>11,2–12,3</u> 11,8	90	-
	Продольное	<u>395–410</u> 400	<u>320–330</u> 323	<u>12,0–13,5</u> 12,5		-
Плита, 15 мм	Поперечное	<u>385–400</u> 390	<u>288–305</u> 290	<u>15,0–15,8</u> 15,2	70	20,0
	Продольное	<u>390–420</u> 410	<u>310–335</u> 320	<u>15,5–16,8</u> 16,0		

Примечание: – диаметр пуансона  $D=2t$ , где  $t$  – толщина образца; в числителе приведены минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние по результатам испытаний 5 образцов

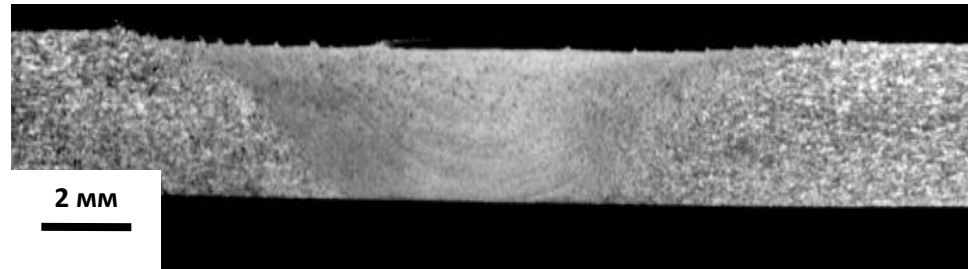
## Механические свойства сварных соединений, выполненных СТП

Полуфабрикат, толщина	Временное сопротивление сварного соединения $\sigma_B$ , МПа	Относительное удлинение сварного соединения, $\delta$ , %	Угол изгиба $\alpha$ , град	Коэффициент прочности сварного соединения, К	Зона разрушения сварного соединения при испытаниях
Лист, 3 мм	$\frac{375-385}{378}$	$\frac{14,5-15,0}{14,7}$	145	0,97	Зона термического влияния со стороны отхода инструмента
Плита, 15 мм	$\frac{370-380}{375}$	$\frac{18,0-21,2}{19,0}$	100	0,95	Зона термического влияния

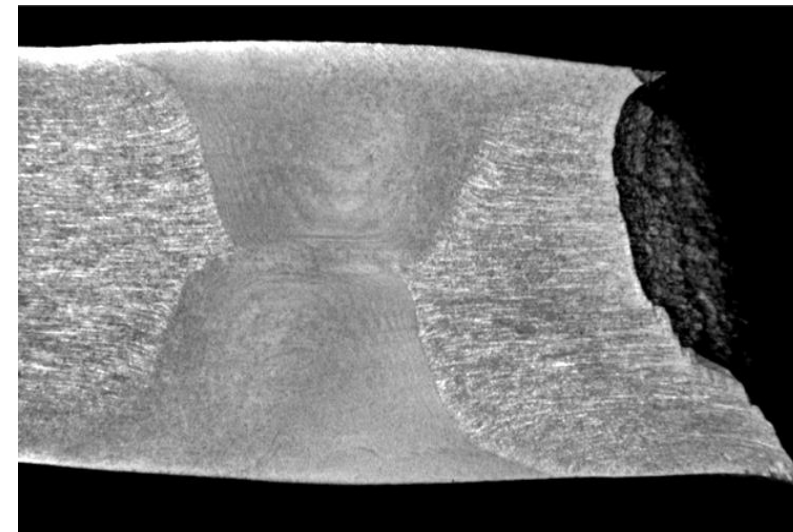
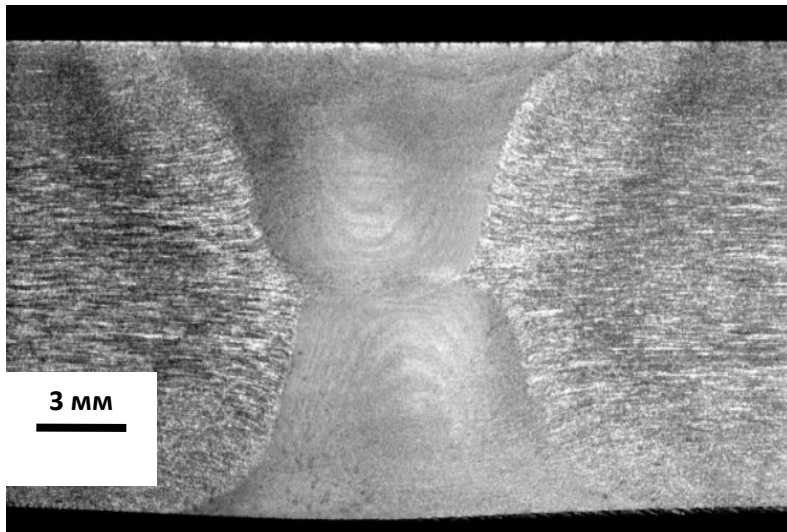
Примечание: диаметр пуансона при определении угла изгиба  $D = 2t$ , где  $t$  – толщина образца; в числителе приведены минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние по результатам испытаний 5 образцов

# Макроструктура сварных соединений листов и плит сплава 1565чН2

Лист



Плита




## Механические свойства соединений листов толщиной 3 мм из сплава 1565чН2 (Н116/Н321)

Место определения свойств	Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа	Относительное удлинение, $\delta$ , %	Угол изгиба $\alpha$ , град
Основной металл	388	11,8	90
Сварное соединение	378	13,0	145
Шов	398	-	-

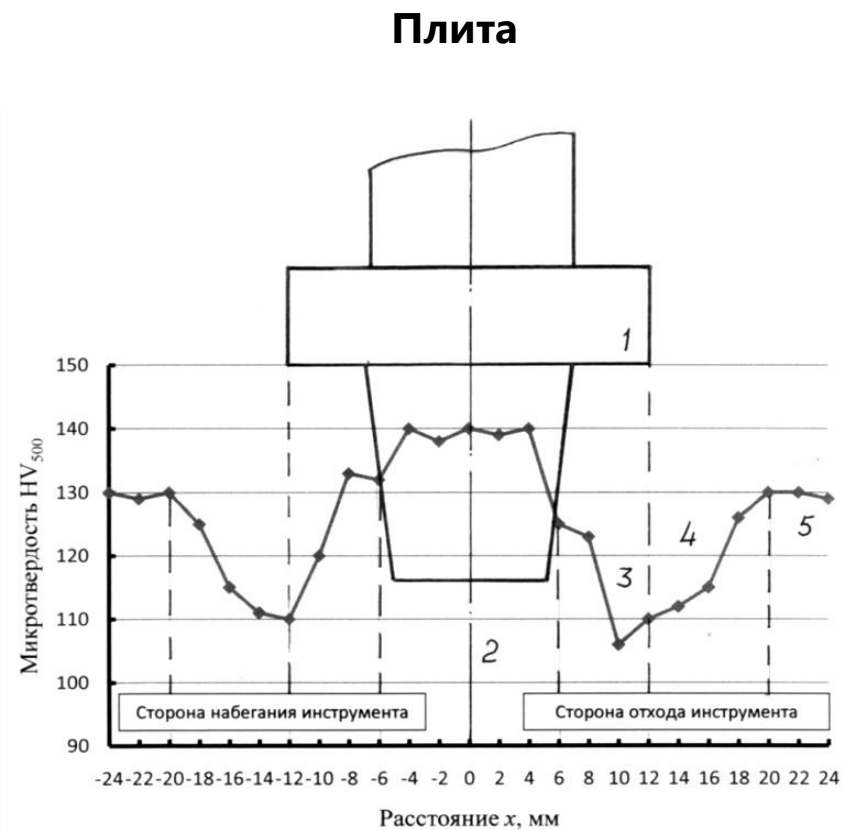
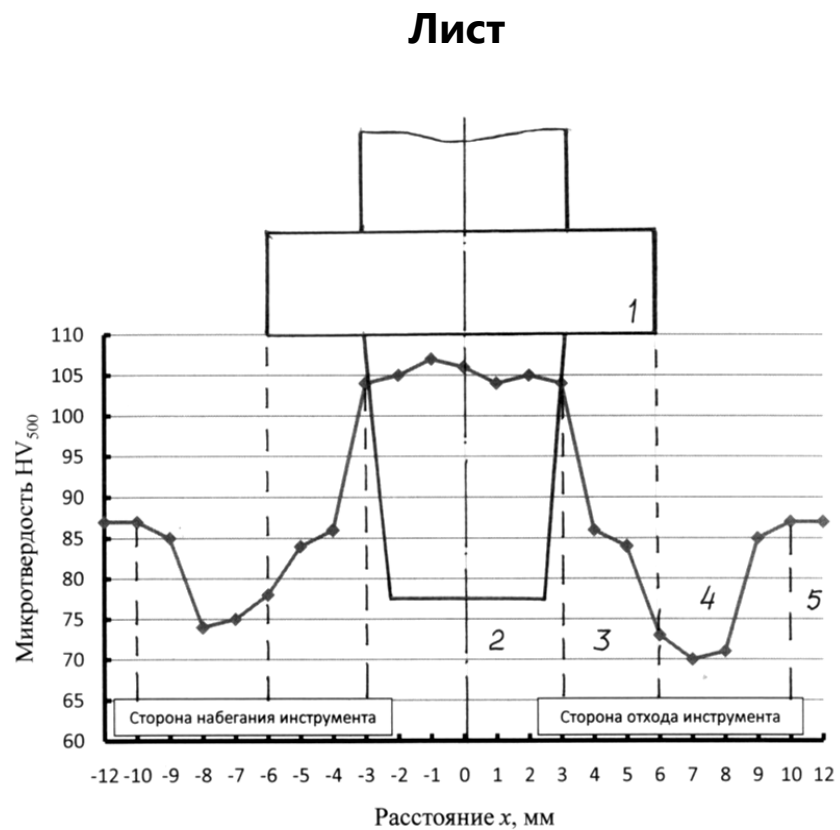
Примечание: диаметр пуансона  $D=2t$ , где  $t$  – толщина образца;

## Механические свойства соединений плиты толщиной 15 мм из сплава 1565чН2 (Н116)

Место определения свойств	Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа	Относительное удлинение, $\delta$ , %	Угол изгиба $\alpha$ , град	Ударная вязкость КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
Основной металл	390	15,2	70	20,0
Сварное соединение	375	19,0	100	-
Шов	395	-	-	80,0

 Примечание: диаметр пуансона  $D=2t$ , где  $t$  – толщина образца;

# Распределение микротвердости в сварном соединении листов и плит сплава 1565чН2 (H116)



1 – инструмент, 2 – шов; 3 – зона термомеханического воздействия; 4 – зона термического влияния; 5 – основной металл

## Протяженность структурных зон в сварном соединении плиты и листа сплава 1565чН2

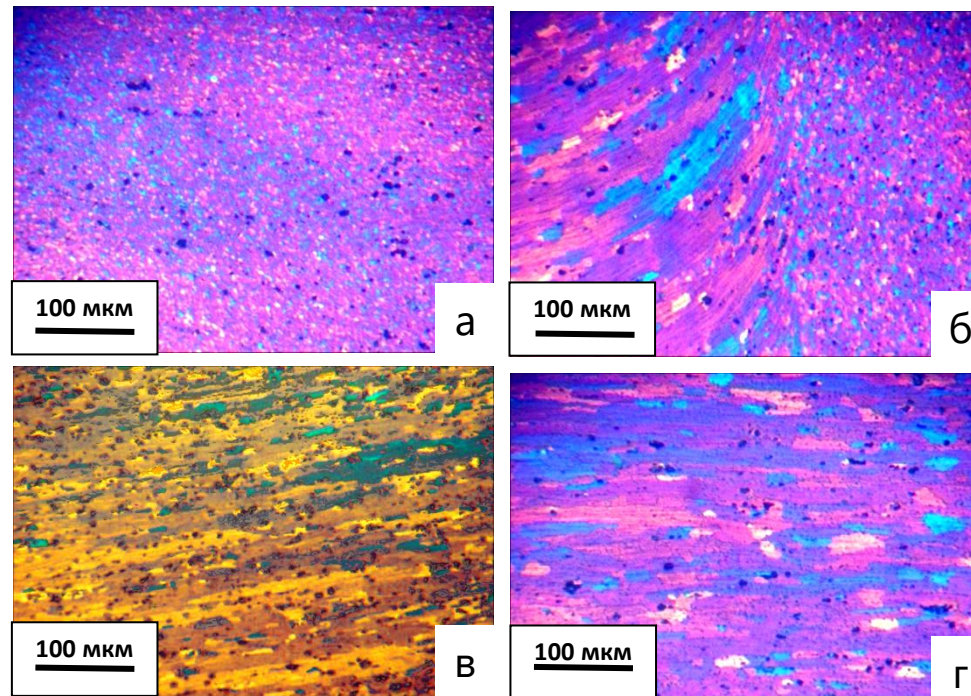
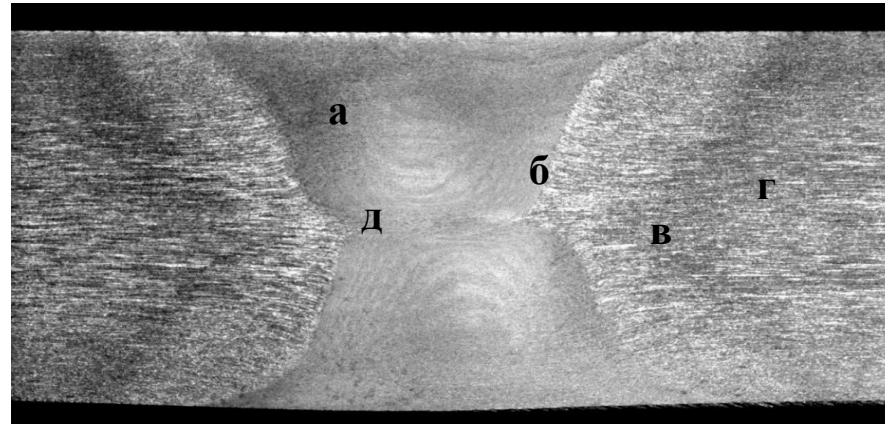
Полуфабрикат	Толщина, мм	Протяженность структурных зон в соединении, мм		
		Шов	Зона термомеханического воздействия (ЗТМВ)	Зона термического влияния (ЗТВ)
Лист	3	5,5–5,8	1,2–1,6	2,5–3,2
Плита	15	9,5–10,2	2,9–3,6	9,8–10,5

## Средний размер зерна различных зон соединения листа и плиты сплава 1565чН2 (Н116)

Полуфабрикат	Средний размер зерна, мкм			
	Шов	Зона наложения швов	Зона термического влияния (ЗТВ)	Основной металл
Лист	6	-	24	25
Плита	8,5	8,5-9	38	38



# Микроструктура соединения плиты сплава 1565чН2 (H116)



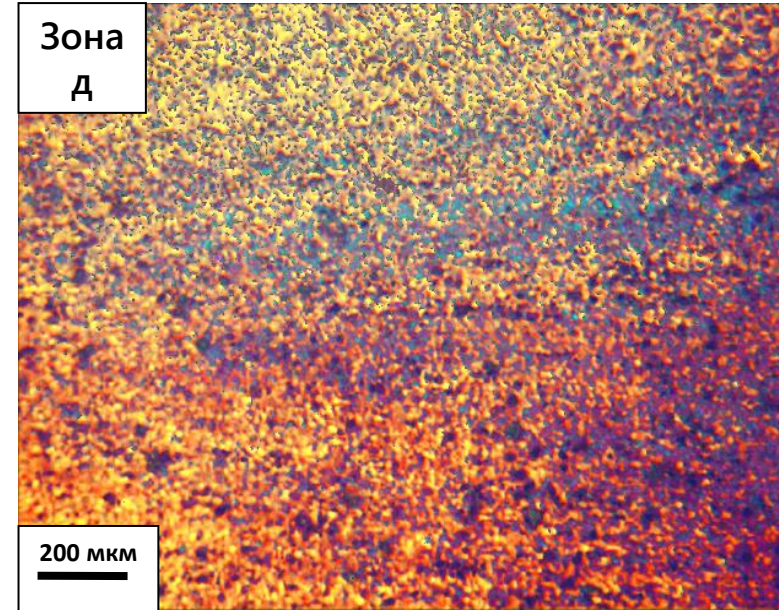
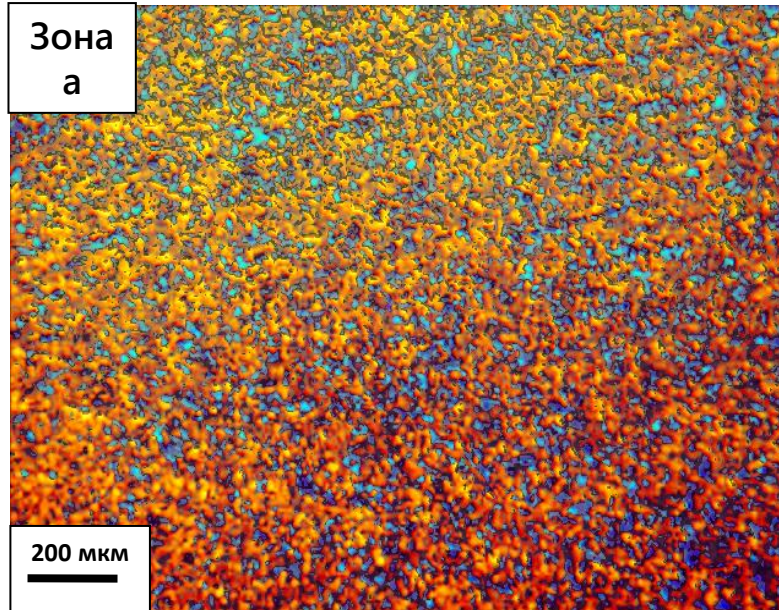
а – металл шва (зона перемешивания);

б – зона термомеханического воздействия (ЗТМВ);

в – зона термического влияния (ЗТВ);

г – основной металл

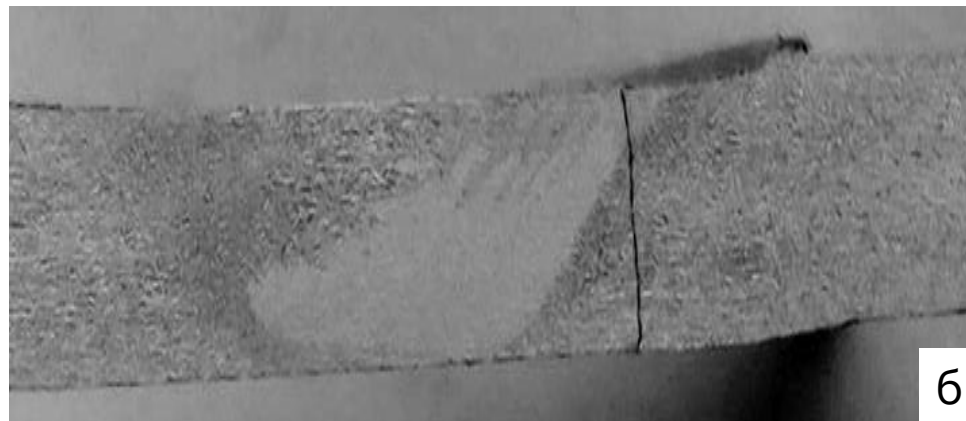
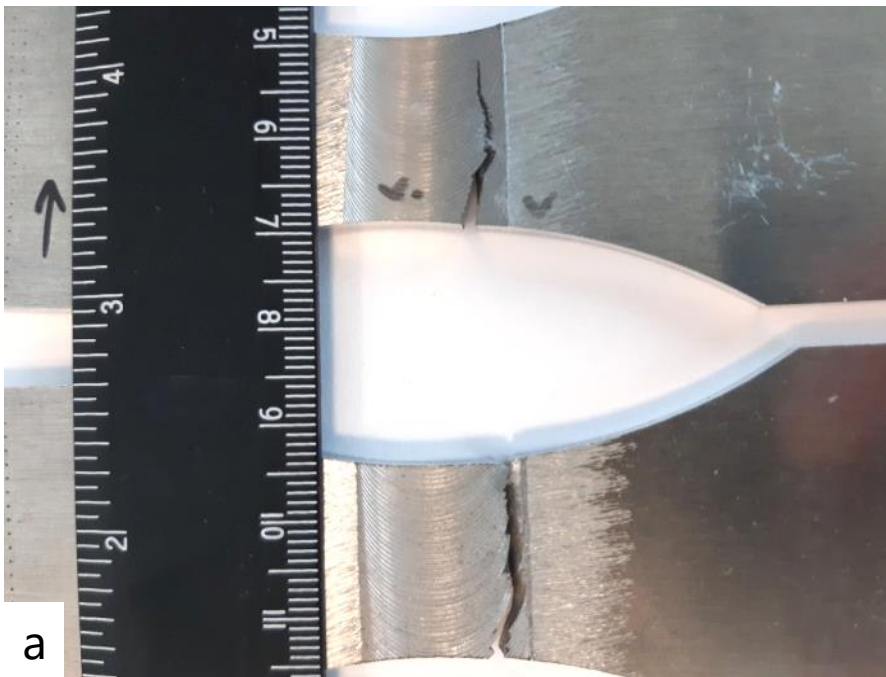
# Микроструктура центральной части шва и зоны наложения двух швов соединения плиты сплава 1565чН2 (Н116\Н321)



## Результаты испытаний сварных соединений листов сплава 1565чН2 (Н116/Н321) на усталость

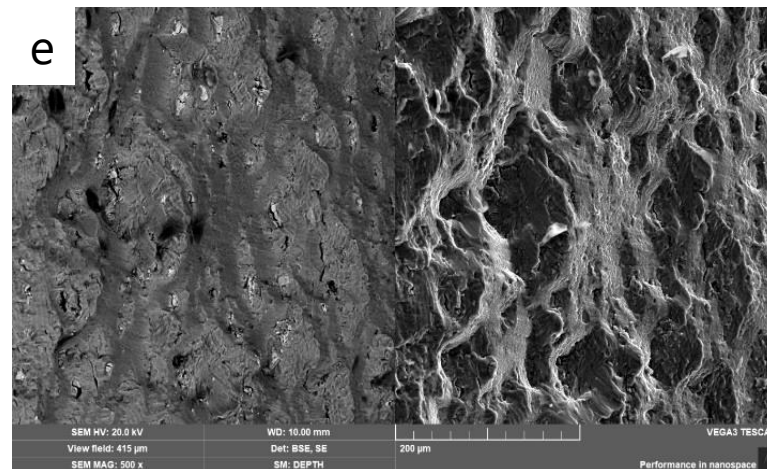
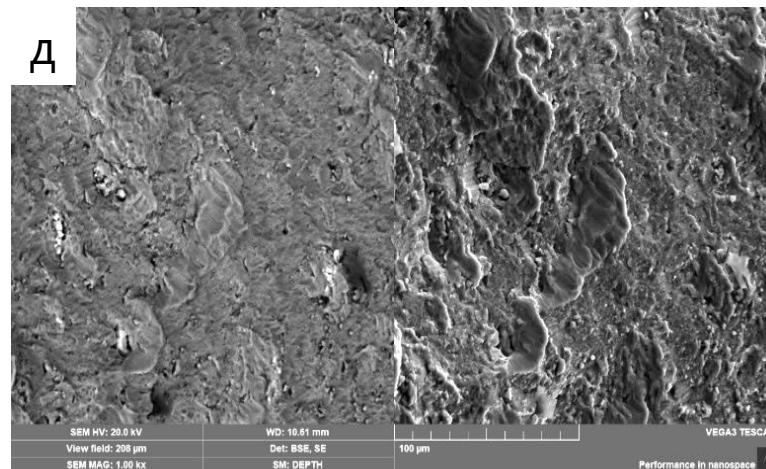
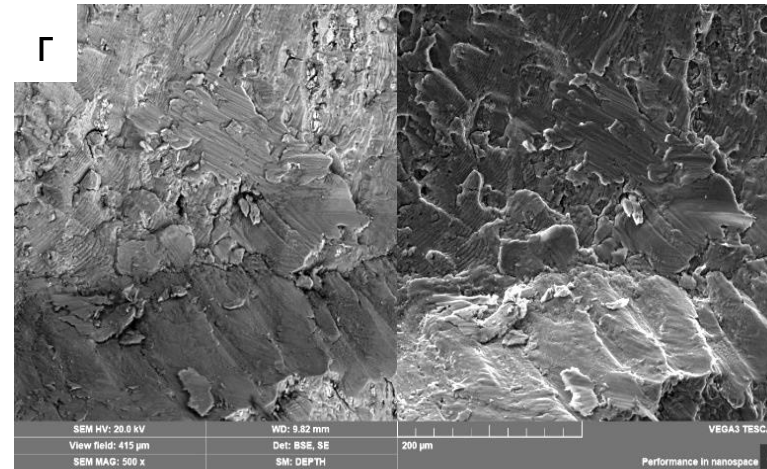
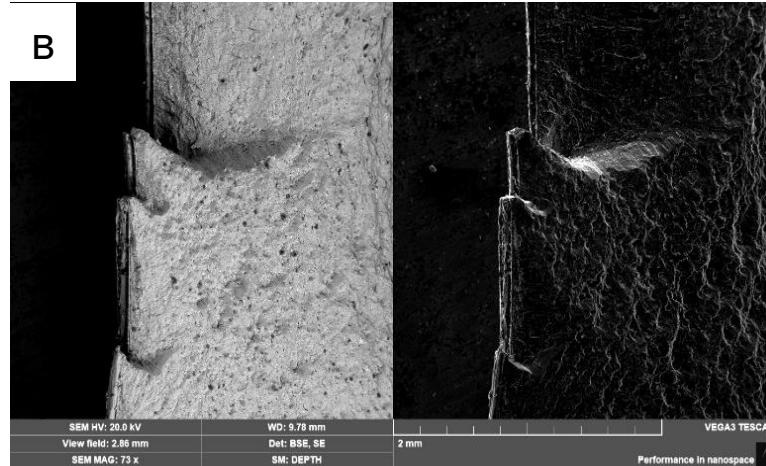
Сплав, состояние термической обработки	Вид образца	Предел выносливости на базе $10^7$ , циклов, ( $R = -1, P=50\%$ ) МПа	Место начала разрушения
1565ч М	Лист 5 мм, основной металл	94	Край боковой поверхности образца
1565чМ	Лист 5 мм, сварное соединение (АрДЭС)	63	Зона термического влияния
1565чН2(Н116)	Лист 3 мм, Основной металл	116	Край боковой поверхности образца
1565чН2(Н116)	Лист 3 мм, сварное соединении (СТП)	77	С лицевой поверхности от бороздок и далее распространяется по зоне термического влияния

# Усталостное разрушение соединения листа сплава 1565чН2 (Н116) толщиной 3 мм



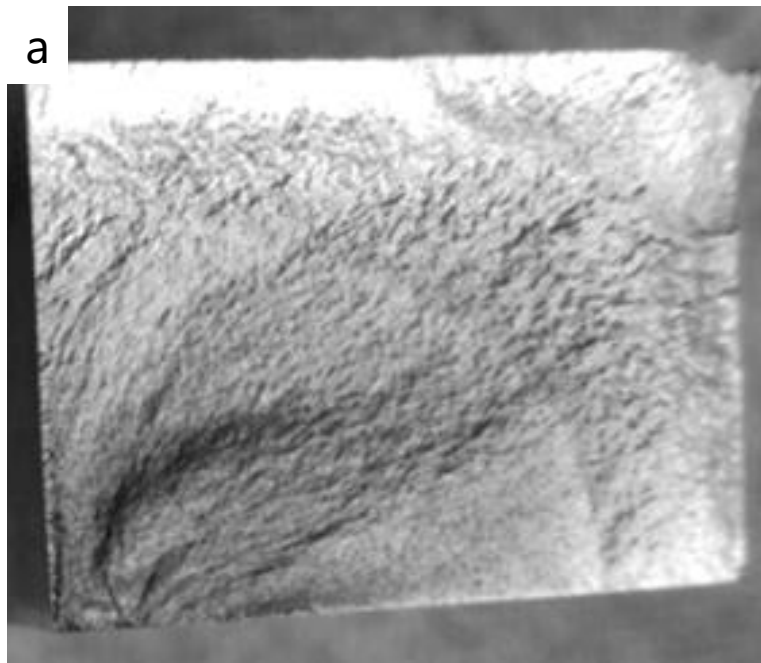
а – поверхностный рельеф шва и расположение усталостной трещины;  
б – распространение трещины по зоне термического влияния

# Усталостное разрушение соединения листа сплава 1565чН2 (Н116/Н321) толщиной 3 мм

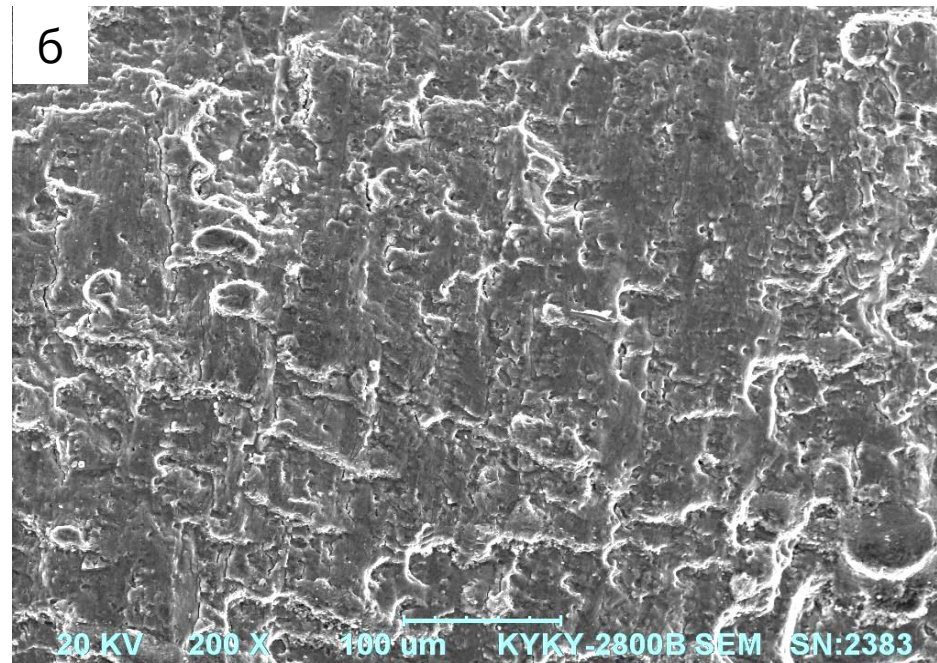


в – многоочаговый характер зарождения усталостной трещины; г – строение поверхности излома по направлению распространения трещины; д – строение поверхности долома; е – рыхлота в зоне долома

# Характер разрушения образца плиты сплава 1565чН2 (Н116) после испытаний на мцу

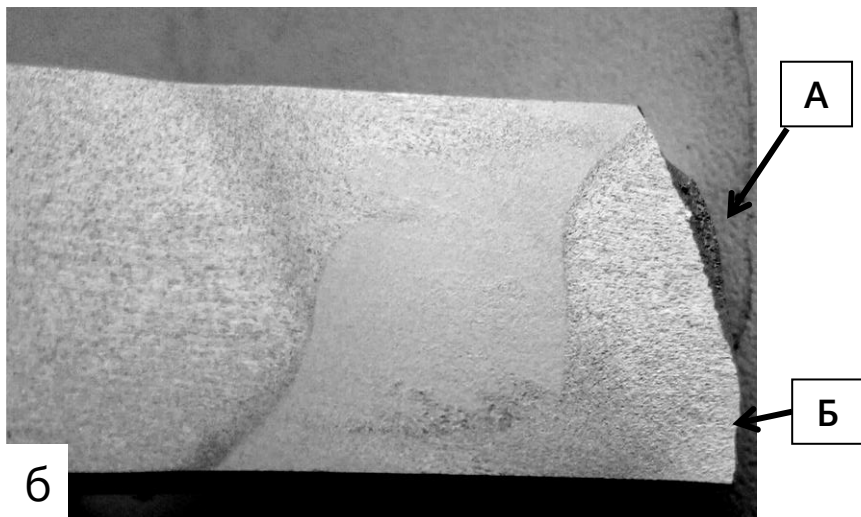
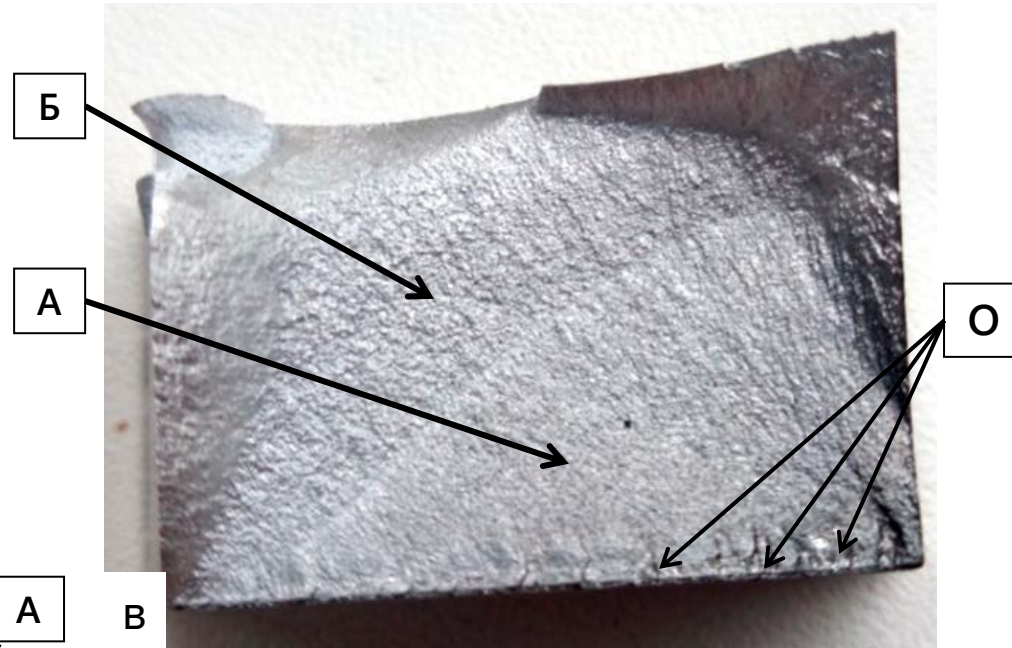
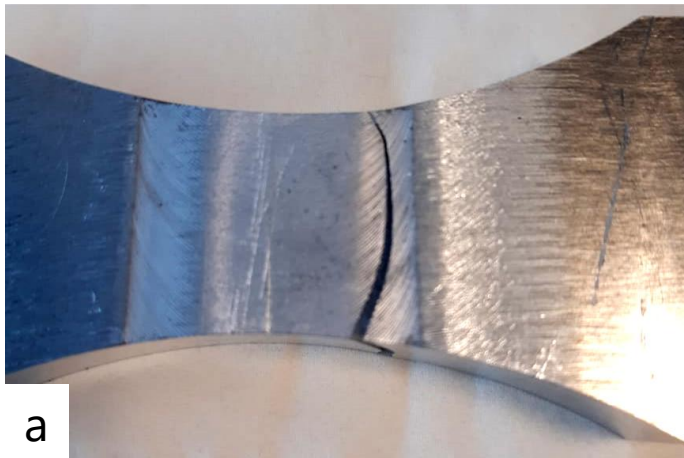


а - световая микроскопия (x4);



б - растровая электронная микроскопия

# Усталостное разрушение соединения плиты сплава 1565чН2 (Н116) толщиной 15 мм



Характер разрушения образца сварного соединения плиты сплава 1565чН2 (Н116) (а, х1,2), макроструктура разрушенного образца сварного соединения (б, х3) и поверхность разрушения (в, 4):

А – область распространения усталостной трещины; Б – область долома; О – очаги зарождения усталостной трещины

## Коррозионные свойства листов из сплава 1565ч в зависимости от состояния поставки

Состояние поставки	Расслаивающая коррозия (РСК)		Межкристаллитная коррозия (МКК)	
	ГОСТ 9.904-82 (балл)	ASTM G66-99	ГОСТ 9.021-74 (мм)	ASTM G67-04 (мг/см <sup>2</sup> )
Г/К (F)	2÷3	РА, РВ	до 0,08	до 8,0
М (О/Н111)	2	РА	до 0,08	до 6,0
Н1; Н2 (Н116; Н321)	2	Н, РА	до 0,08	до 6,0

1. По ASTM G66-99

Н – коррозионные повреждения отсутствуют;

РА – первая стадия питтинговой коррозии (расслаивающей коррозии нет)

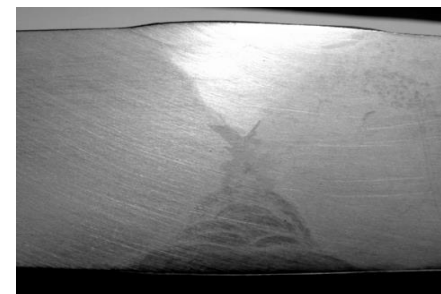
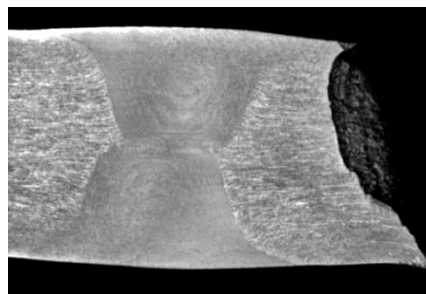
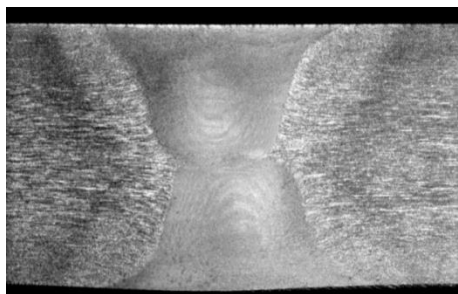
РВ – вторая стадия питтинговой коррозии (расслаивающей коррозии нет)

2. По ASTM G67-04: при потере массы до 15 мг/см<sup>2</sup> материал считается стойким к МКК.



## Свойства стыковых соединений катанных полуфабрикатов из сплава 1565чН2 (Н116/Н321)

Вид сварки	Толщина, мм	Фактический предел прочности при растяжении $\sigma_B$ , МПа	Минимальный (гарантированный) предел прочности при растяжении по ГОСТ $\sigma_B$ , МПа	Предел прочности сварного соединения $\sigma_B$ , МПа	Коэффициент прочности сварного соединения, К
АРДЭС * (MIG)	3-5	<u>398-410</u> 404	360	<u>350-365</u> 355	0,86 (0,96)
Ручная многопроходная сварка*	15-20	<u>405-415</u> 410	370	<u>330-340</u> 335	0,81(0,91)
СТП	15	<u>405-415</u> 410	370	<u>375-390</u> 380	0,93 (1,02)



# Спасибо за внимание !



**ARCONIC**

