

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Волгоградский государственный технический университет»

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему:

«Влияние нагревов на структуру и фазовый состав композитов  
системы Al-Ti»

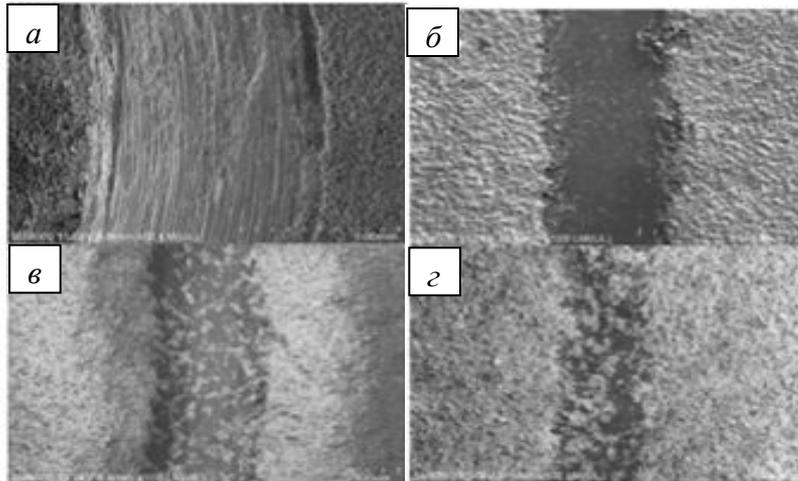
Студент группы: МВ-431  
Шумилова С. В.

Научный руководитель: к.т.  
н доцент  
Богданов А. И.

Волгоград, 2020

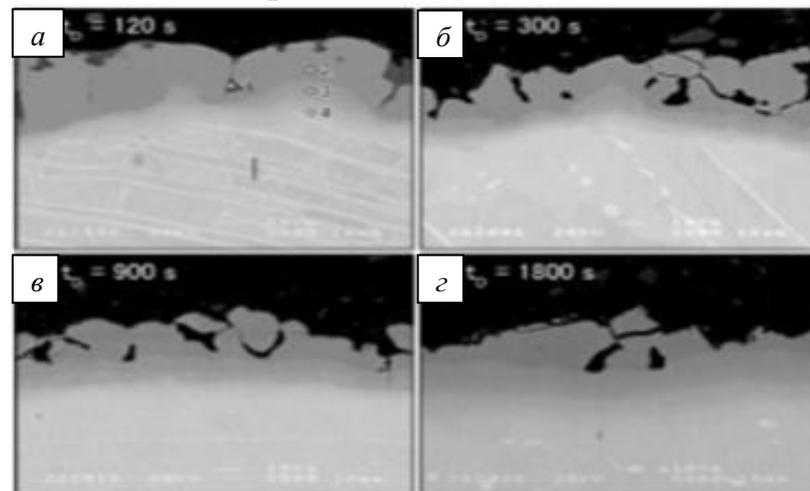
# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЖАРО- И ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИДОВ ТИТАНА

Микродуговое оксидирование



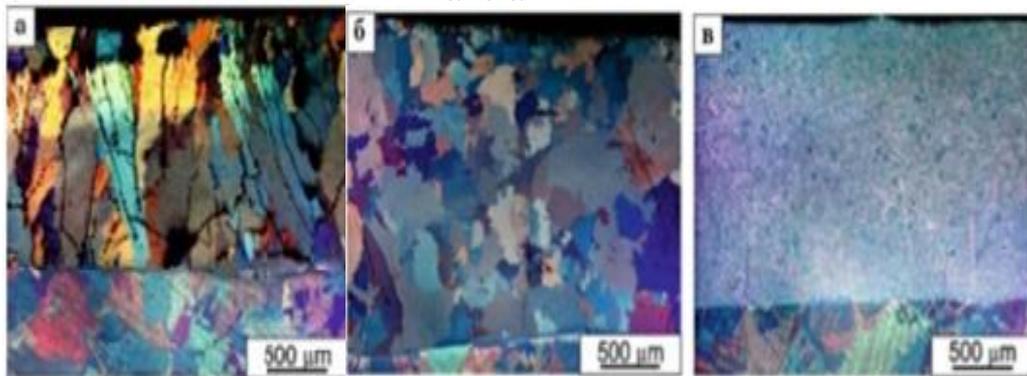
Следы износа покрытий МДО, сформированных на горячем алитированном титане:  
(а) 10 мин, (б) 20 мин, (в) 30 мин и (г) 40 мин

Термическое напыление



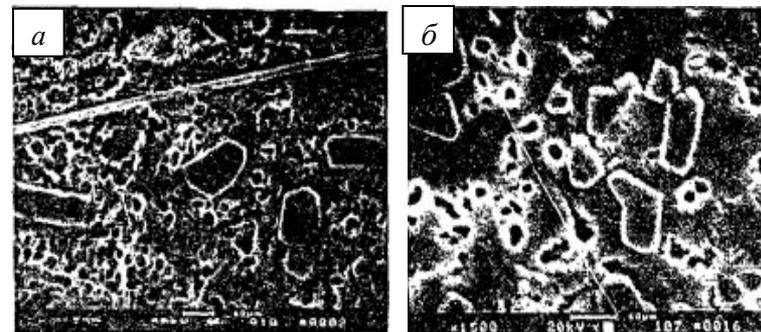
Отражение электронных изображений образцов, обработанных диффузией: (а) 120 с, (б) 300 с, (в) 900 с, (г) 1200 с

Метод вневакуумной электроннолучевой наплавки



Результаты оптической металлографии: а – Ti-Al (10/35); б – Ti-Al (25/25); в – Ti-Al (38/15)

СВС

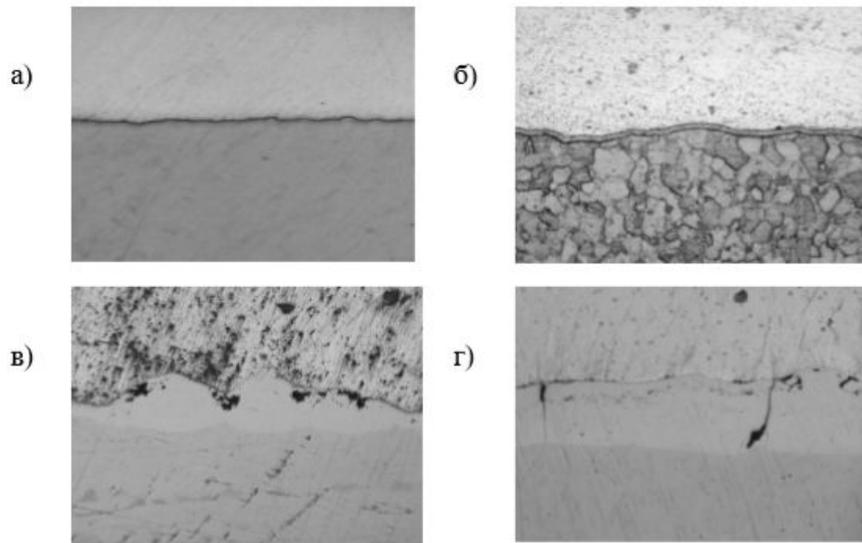


Микроструктура СВС- лигатуры Al-Ti (x1500) при разных соотношениях порошков Al:Ti: а- 3:1, б- 3,75:1

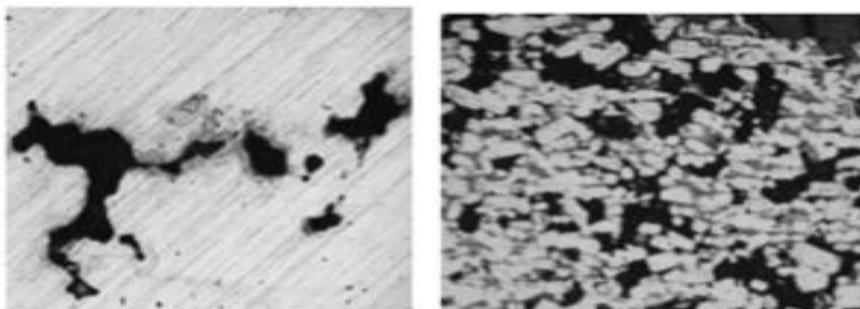
				VKP-40461806-22.03.01-1.24-20			
Имя	И.П.Р.	Долг.	Место	Методы получения покрытий		Авт.	Модиф.
Исполн.	Иванов С. В.			Авт.	Модиф.		
Исполн.	Богданов А. И.						
Исполн.	Таров А. Ф.						
Исполн.	Иурович Е. М.						
				Коллектор		Формат А1	

# СЛОИСТЫЕ МЕТАЛЛО-ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫЕ КОМПОЗИТЫ СИСТЕМЫ Al-Ti, ПОЛУЧЕННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА

## Твердофазная диффузия



Вид сплошной интерметаллидной прослойки на границе VT1-0-АД1 после отжига композита при 630 °С: *а* – без ТО; *б* – 4 ч; *в* – 30 ч; *г* – 90 ч

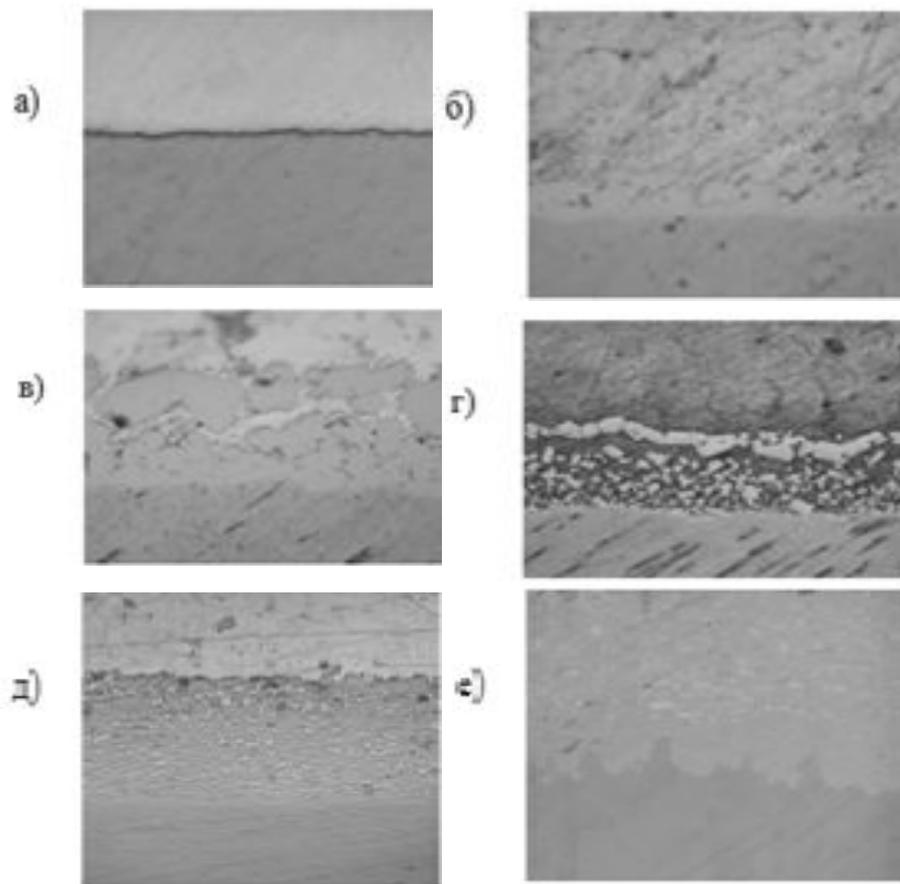


*а)*

*б)*

Микроструктура закристаллизовавшегося алюминиевого слоя без осадки: *а* – 750 °С , 5 часов x500, *б* – 750 °С , 18 часов x500

## Диффузия в присутствии жидкой фазы

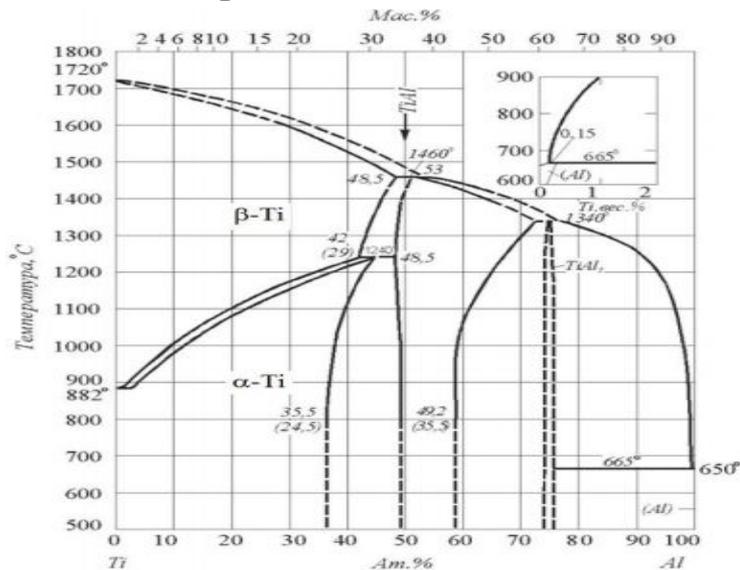


Вид сплошной интерметаллидной прослойки на границе VT1-0-АД1 после отжига композита при 750 °С: *а* – без ТО; *б* – 2 ч; *в* – 5ч; *г* – 8 ч; *д* – 14 ч; *е* – 18 ч

				ВКР-40461806-22.03.01-1.24-20			
Исполн.	И. В. Виноградов	Докл.	И. В. Виноградов	Взаимодействие титана с расплавом алюминия		Докл.	И. В. Виноградов
Рецензент	Виноградов С. В.						
Проф.	Безруков А. И.						
Исполн.	Григорьев Л. Ф.						ВолГТУ МВ-431
Проф.	Уразаев Д. М.						

# МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

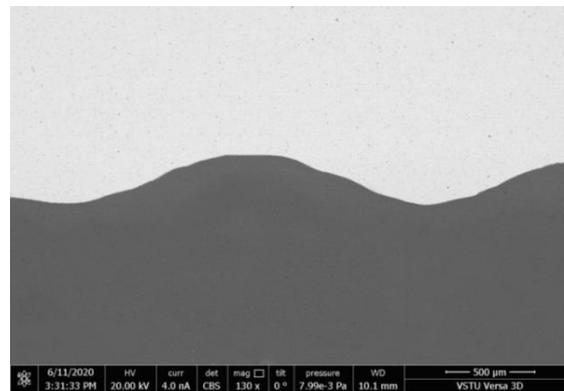
## Диаграмма состояния Ti-Al



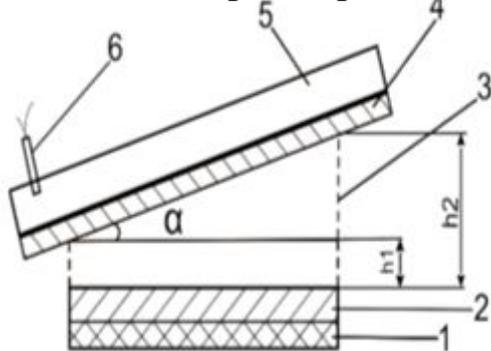
## Химический состав исследуемых материалов

Материал	Содержание элементов, %										
	Mg	C	N	O	H	Si	Mn	Fe	Cu	Ti	Al
АД1	≤0,1	-	-	-	-	≤0,3 5	≤0,1	≤0,3	≤0,0 5	≤0,0 1	Ост
BT1-0	-	0,07	0,0 4	0,1 2	0,01	-	-	0,18	-	Ост	-

## СЭМ-изображение зоны соединения BT1-0-АД1 после СВ



## Схема сварки взрывом



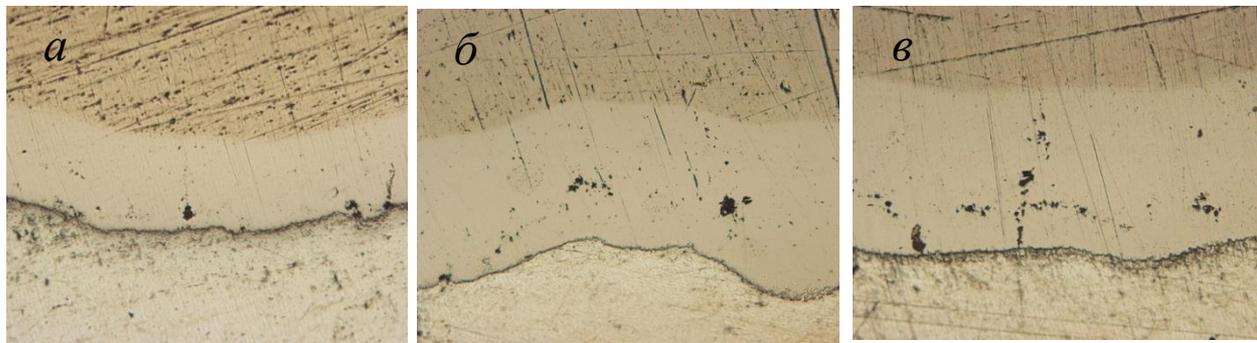
1 – основание (древесная плита); 2 – неподвижная пластина BT1-0; 3 – технологические зазоры; 4 – метаемая пластина АД1; 5 – заряд ВВ (50% аммонита №6ЖВ + 50% кварцевый песок, высота – 55 мм); 6 – электродетонатор

## Методы исследования

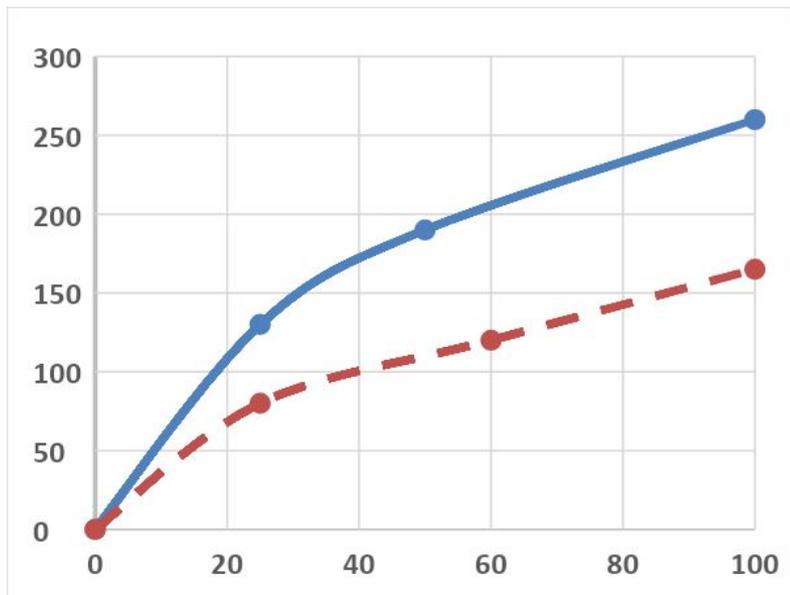
- Высокотемпературные нагревы печь SNOL 8,2/1100
- Металлографические исследования Versa 3D
- Исследование фазового и химического состава Bruker D8 Advance , Versa 3D

				ВКР-40461806-22.03.01-1.24-201			
Исполн.	Проверен.	Дата	Лист	Материалы и методы	Лист	Материалы	Методы
Исполн.	Исследован А. Н.						
Исполн.	Урван А. Ф.						
Исполн.	Фурсов С. М.						
				ВолгГТУ МВ-431			
				Контроль			
				Ферит Al			

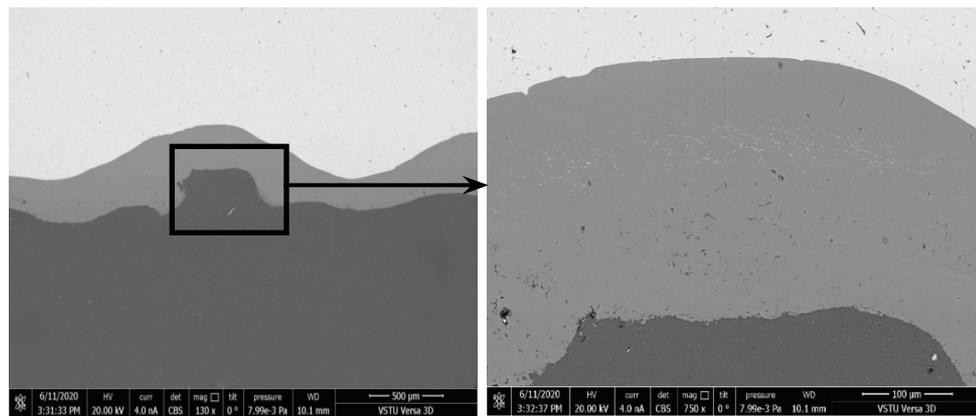
# КИНЕТИКА РОСТА ДИФФУЗИОННОЙ ПРОСЛОЙКИ НА МЕЖСЛОЙНОЙ ГРАНИЦЕ ВТ1-0+АД1



Микроструктуры зоны соединения ВТ1-0-АД1 после ТО при 650 °С: в течение 25 (а), 50 (б) и 100 (в) часов ×200



Кинетика роста ДЗ на межслойной границе композитов ВТ1-0-АД1 при температуре 650 °С (1) и 630 °С (2)

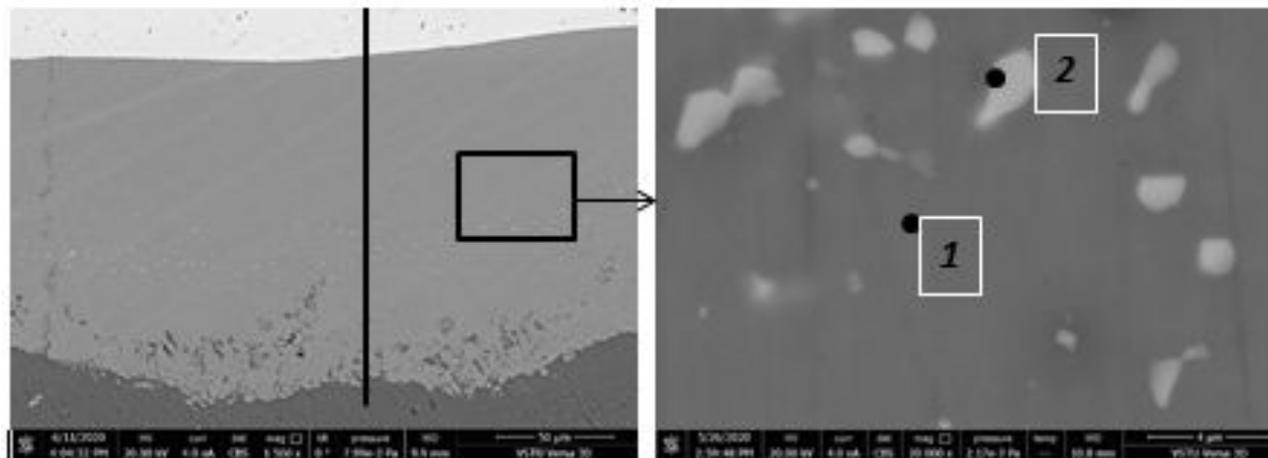


Микроструктура ДЗ в КМ ВТ1-0-АД1 после ТО 650 °С , 100 ч с различным увеличением

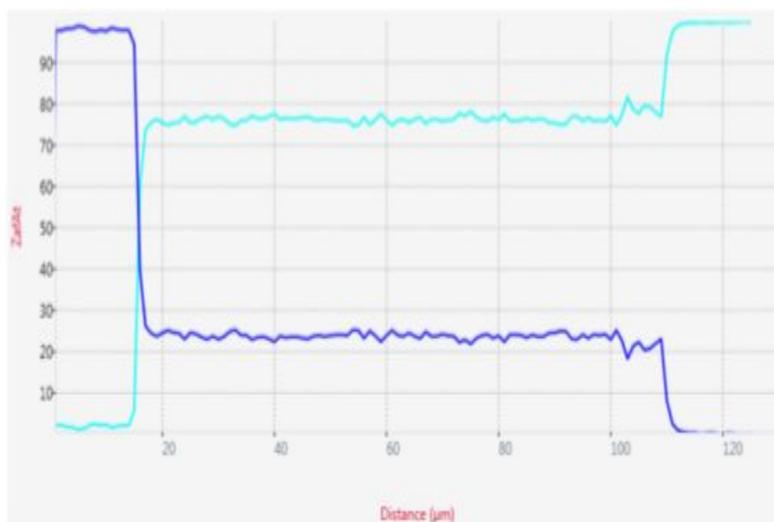
				ВКР-40461806-22.03.01-1.24-20			
Исполн.	Провер.	Дата	Масштаб	Металлографические исследования	Дет.	Микро	Макро
Исполн.	Провер.	Дата	Масштаб		Дет.	Микро	Макро
Исполн.	Провер.	Дата	Масштаб	ВоентГУ МВ-431			
Исполн.	Провер.	Дата	Масштаб	Формат А1			

# ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДИФфуЗИОННОЙ ПРОСЛОЙКИ НА МЕЖСЛОЙНОЙ ГРАНИЦЕ ВТ1-0+АД1

СЭМ-изображения ДЗ в КМ ВТ1-0-АД1 после ТО 650 °С, 25 ч с различным увеличением. Вертикальной линией и точками показаны области ЭДС анализа химического состава.



Распределение химических элементов по толщине ДЗ



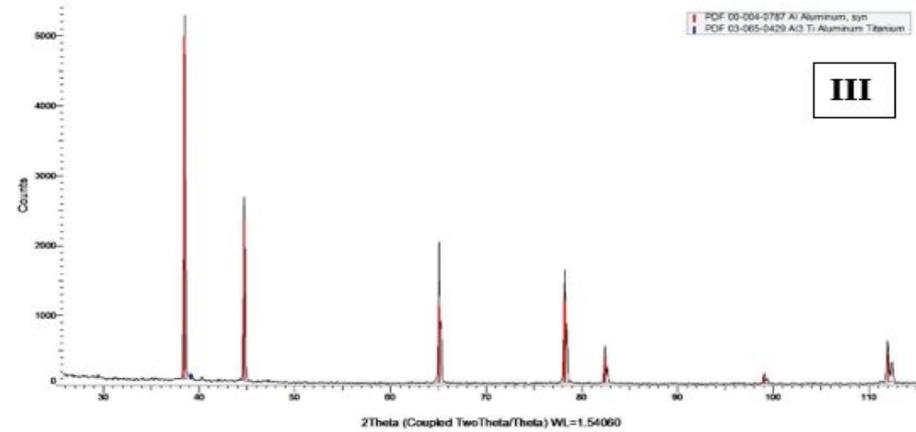
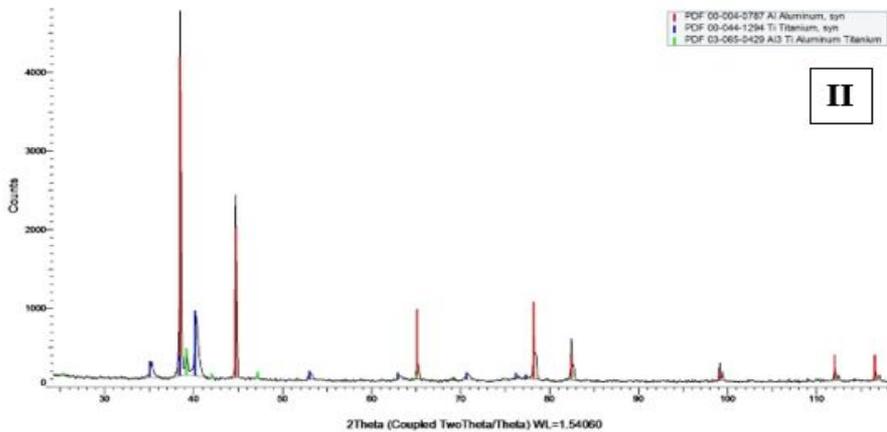
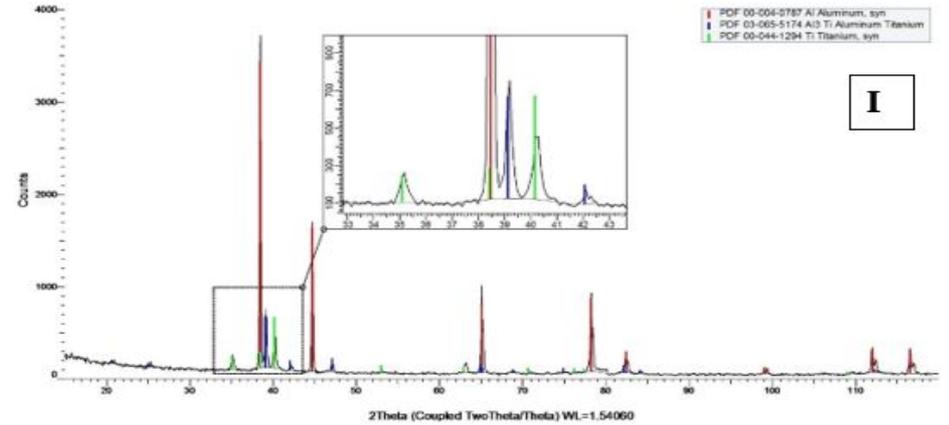
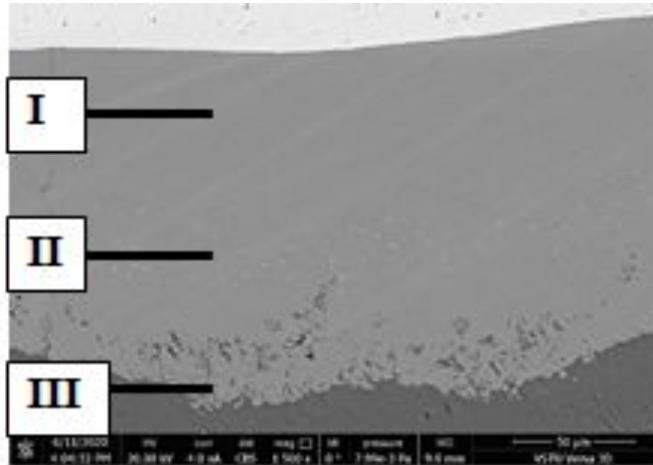
Al K  
Ti K

Результаты точеного ЭДС анализа состава ДЗ

Точка анализа	Содержание элемента, ат. %			Предполагаемая Фаза
	Al	Ti	Fe	
1	75,64	24,36	-	TiAl <sub>3</sub>
2	74.7	9.96	15.34	Al <sub>3</sub> Ti <sub>0.7</sub> Fe <sub>0.25</sub>

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ДИФфуЗИОННОЙ ПРОСЛОЙКИ НА МЕЖСЛОЙНОЙ ГРАНИЦЕ ВТ1-0+АД1

Дифрактограммы, снятые на различной глубине ДЗ в КМ состава ВТ1-0-АД1 после ТО по режиму 650 °С, 25 ч



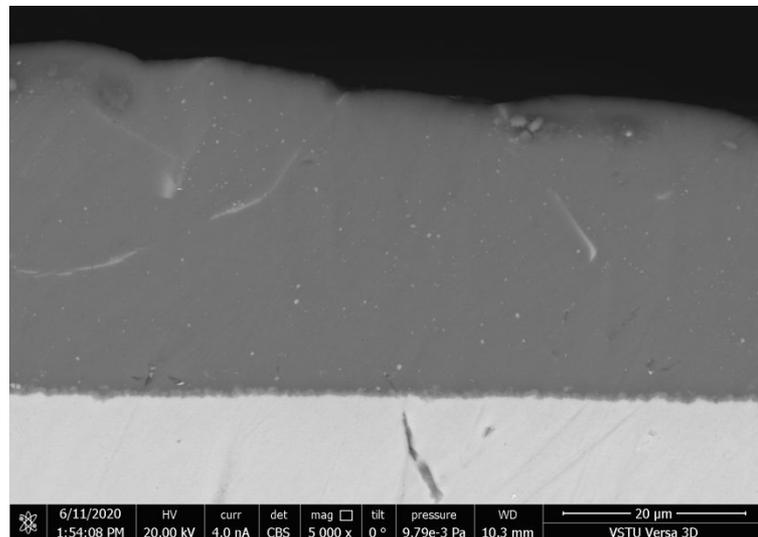
				ВКР-40461806-22.03.01-1.24-20			
Исполн.	М.Розуц	Техн.	Мини	Рентгеноструктурные исследования	Дир.	Нач.	Мастер
Проф.	Земсков С. В.	Проф.	Богданов А. И.		Дир.	Нач.	Мастер
Исполн.	Трахов А. Ф.	Исполн.	Курочкин Л. М.		ВолГТУ МВ-431		
				Копировать Формат А1			

# ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ Al-Ti НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА

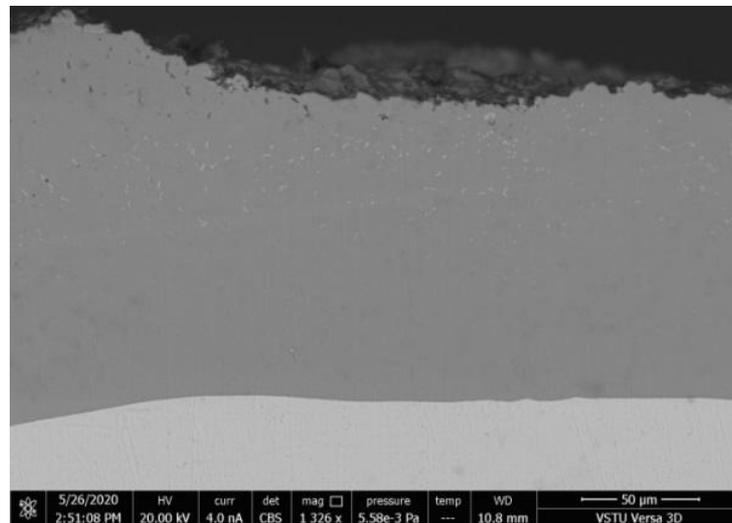
СЭМ-изображения структуры КМ ВТ1-0-АД1

после ТО 650 °С и ускоренного охлаждения в воде: в течение 10 (а), 50 (б) и 100 ч (в)

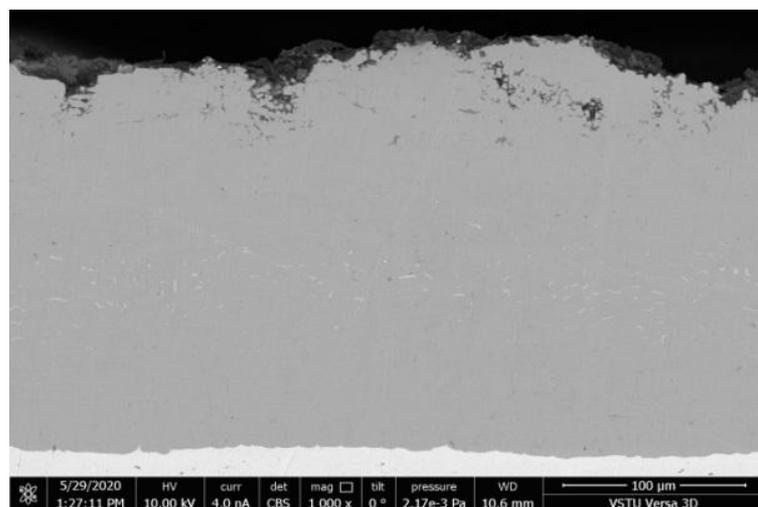
**Толщина покрытия 50 мкм**



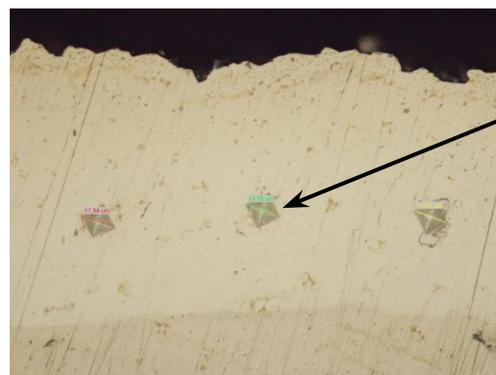
**Толщина покрытия 120 мкм**



**Толщина покрытия 210 мкм**



**Микротвердость  
покрытия  
5,3 – 5,5 ГПа**



				ВКР-40461806-22.03.01-1.24-20			
Имя	И.И. Рогов	Долг	Место	Рентгеноструктурные исследования			
Рисов	Иванов С. В.	Долг	Место				
Литер	Богданов А. И.	Долг	Место				
Исполн	Трунов А. Ф.			ВолГТУ МВ-431			
Учр	Буровик Э. М.						
				Коллектор			
				Формат А1			