МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КПІ»
Інженерно-фізичний факультет
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

Структуроутворення при термоциклюванні композита Ti-Si-Al-Zr

Виконав: студент гр. ФК-41с **Рогожин В. О.**

Керівник: д.т.н., проф. **Мазур В. І.**

Застосування титанових сплавів

- Машинобудування
- Літако – та судно будування
- Хімічна промисловість
- Енергетична промисловість
- Як металеві біоматеріали в медецині
- Військова промисловість

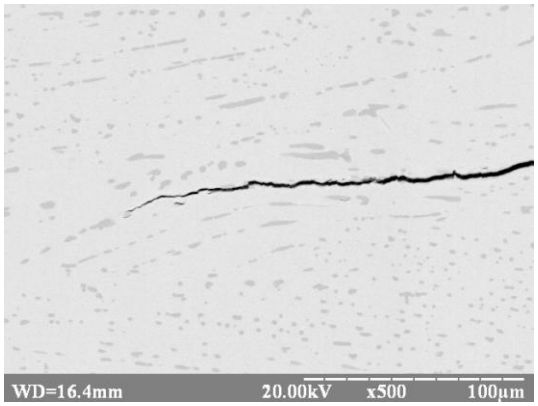
Мета дипломної роботи:

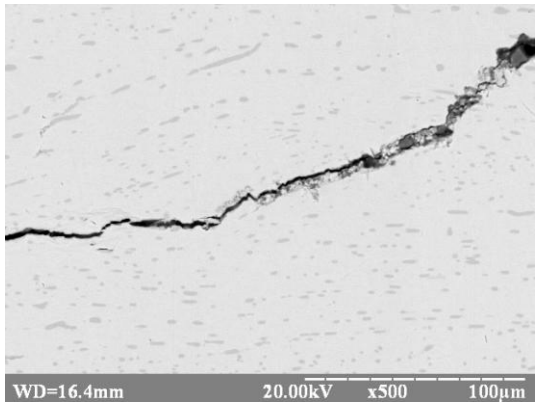
дослідження високоенергетичного впливу на пластинку термоцикльованого композита Ti-Si-Al-Zr.

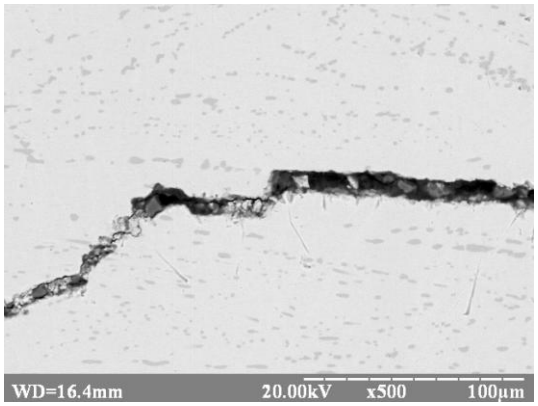
Поставлені задачі:

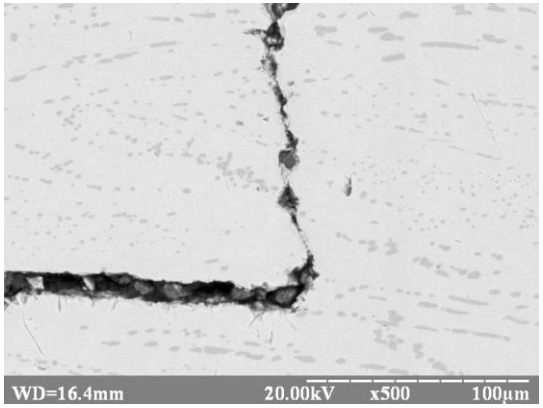
- провести мікроструктурний аналіз композита Ti-Si-Al-Zr;
- провести рентгенофазовий аналіз титанового сплава;
- Дослідити структуру та властивості сплаву, провести обробку та узагальнення отриманих результатів;
- зробити висновки.

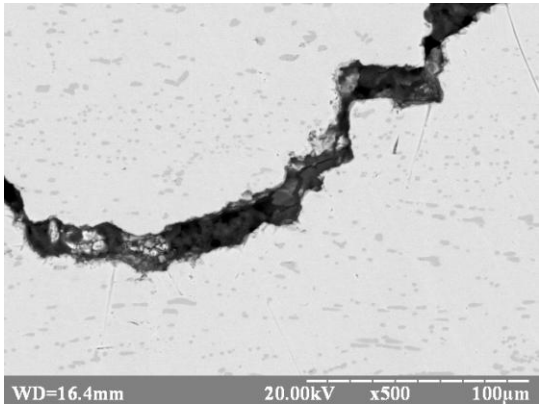
Мікроструктури макротріщин від високоенергетичного впливу

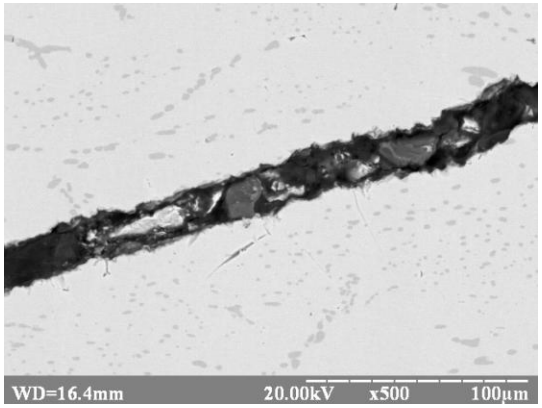




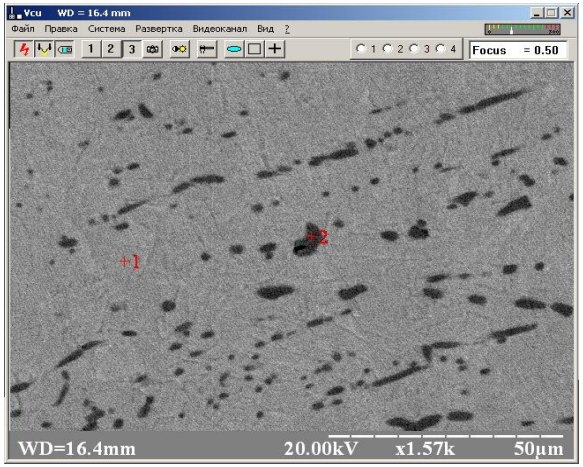








Мікроструктура гаряче-деформованого зразка та її локальний рентгеноспектральний аналіз фазових складових



Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма %: 100.00

Элемент		Инт.	C %
Al	K	485	1.40
Si	K	184	0.47
Ti	K	27244	96.35
Ti	L	-2	0.00
Sn	L	356	1.79
Sn	M	-1	0.00

1

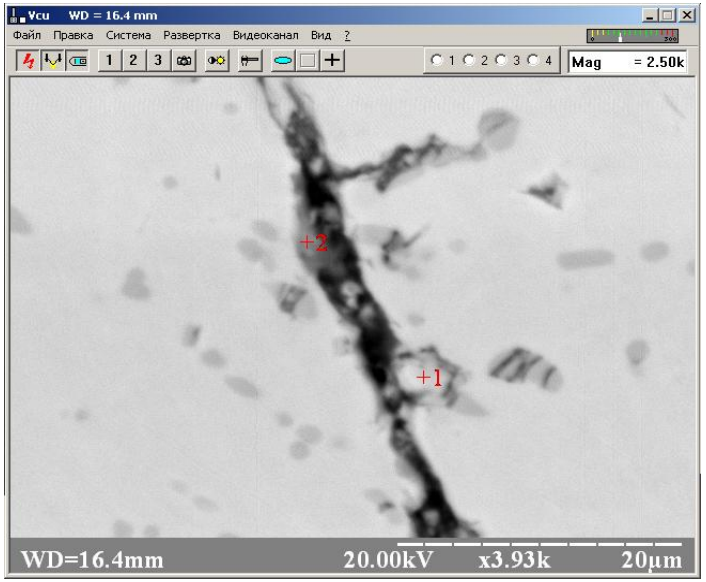
Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент		Инт.	C %	Атом.%	Коэф.
Al	K	156	0.51	0.844	0.844
Si	K	3921	11.37	17.966	17.966
Ti	K	21153	87.25	80.863	80.863
Ti	L	-3	0.00	0.000	0.000
Sn	L	126	0.88	0.327	0.327
Sn	M	-2	0.00	0.000	0.000

2

Мікроструктура гаряче-деформованого зразка та її локальний рентгеноспектральний аналіз фазових складових



Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	Погр.%	C %	C-Pur %	ZAF	ZAF-Pur	Валент.	Атом.%	Коэф.	Текст
Al K	525	7.91	1.88	99.90	1.4644	1.0003	3	3.296	3.296	
Si K	385	10.71	1.22	99.99	1.4065	1.0000	4	2.064	2.064	
Ti K	21873	2.67	94.78	99.90	0.9724	1.0000	4	93.794	93.794	
Ti L	-2	87.33	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	
Sn L	326	28.46	2.12	99.90	1.3290	1.0003	4	0.845	0.845	
Sn M	-2	61.07	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	

1

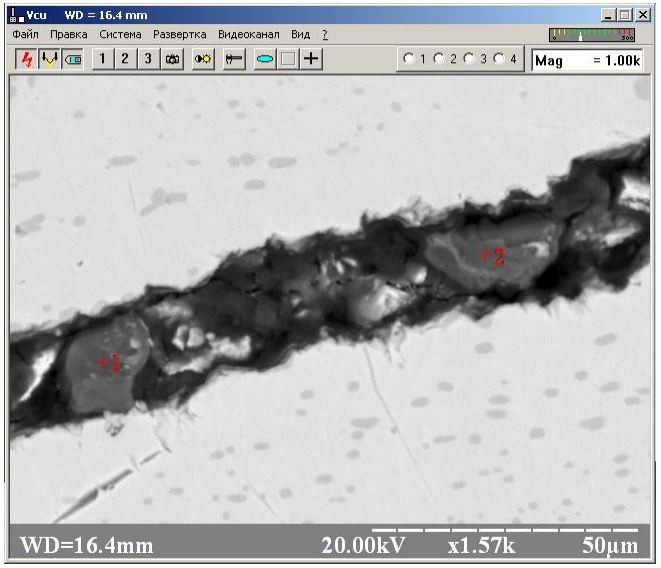
Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	Погр.%	C %	C-Pur %	ZAF	ZAF-Pur	Валент.	Атом.%	Коэф.	Текст
Al K	91	14.85	0.38	99.90	1.4458	1.0003	3	0.685	0.685	
Si K	157	11.70	0.55	99.99	1.4652	1.0000	4	0.956	0.956	
Ti K	19199	2.87	96.19	99.90	0.9745	1.0000	4	97.187	97.187	
Ti L	0	202.45	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	
Sn L	391	21.86	2.87	99.90	1.3599	1.0003	4	1.172	1.172	
Sn M	-1	95.39	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	

2

Мікроструктура гаряче-деформованого зразка та її локальний рентгеноспектральний аналіз фазових складових



Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	Погр.%	C %	C-Pur %	ZAF	ZAF-Pur	Валент.	Атом.%	Коэф.	Текст
Al K	89	135.61	0.60	99.90	0.9867	1.0003	3	0.636	0.636	
Si K	16613	5.41	95.10	99.99	0.9895	1.0000	4	97.104	97.104	
Ti K	444	4.99	3.42	99.90	0.6930	1.0000	4	2.049	2.049	
Ti L	-5	36.49	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	
Sn L	51	22.69	0.88	99.90	0.6373	1.0003	4	0.212	0.212	
Sn M	-4	45.61	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	

1

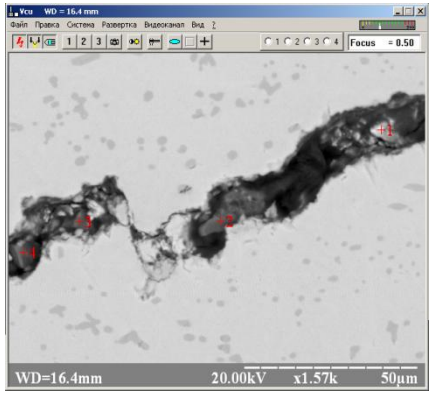
Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	Погр.%	C %	C-Pur %	ZAF	ZAF-Pur	Валент.	Атом.%	Коэф.	Текст
Al K	54	185.91	0.38	99.90	0.9820	1.0003	3	0.398	0.398	
Si K	16392	5.34	97.30	99.99	0.9887	1.0000	4	98.491	98.491	
Ti K	195	9.93	1.57	99.90	0.6889	1.0000	4	0.930	0.930	
Ti L	-3	54.05	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	
Sn L	42	30.47	0.75	99.90	0.6307	1.0003	4	0.181	0.181	
Sn M	-3	48.62	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	

2

Мікроструктура гаряче-деформованого зразка та її локальний рентгеноспектральний аналіз фазових складових



Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	Погр.%	C %	C-Pur %	ZAF	ZAF-Pur	Валент.	Атом.%	Коэф.	Текст
Al K	8	29.75	0.06	99.90	1.4898	1.0003	3	0.100	0.100	
Si K	8	37.02	0.05	99.99	1.5258	1.0000	4	0.080	0.080	
Ti K	11488	2.73	97.73	99.90	0.9829	1.0000	4	98.934	98.934	
Ti L	0	180.35	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	
Sn L	187	21.85	2.17	99.90	1.4781	1.0003	4	0.885	0.885	
Sn M	0	114.69	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	

1

Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	Погр.%	C %	C-Pur %	ZAF	ZAF-Pur	Валент.	Атом.%	Коэф.	Текст
Al K	54	172.12	0.39	99.90	0.9934	1.0003	3	0.404	0.404	
Si K	16086	4.86	97.86	99.99	0.9948	1.0000	4	98.638	98.638	
Ti K	185	9.00	1.53	99.90	0.6900	1.0000	4	0.904	0.904	
Ti L	-4	55.21	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	
Sn L	12	78.62	0.22	99.90	0.6294	1.0003	4	0.053	0.053	
Sn M	-1	157.51	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	

2

Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	Погр.%	C %	C-Pur %	ZAF	ZAF-Pur	Валент.	Атом.%	Коэф.	Текст
Al K	140	88.07	0.93	99.90	0.9954	1.0003	3	0.978	0.978	
Si K	16857	5.17	96.26	99.99	0.9867	1.0000	4	97.444	97.444	
Ti K	333	8.99	2.55	99.90	0.6926	1.0000	4	1.516	1.516	
Ti L	-5	46.70	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	
Sn L	15	99.22	0.26	99.90	0.6332	1.0003	4	0.062	0.062	
Sn M	-6	38.26	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	

3

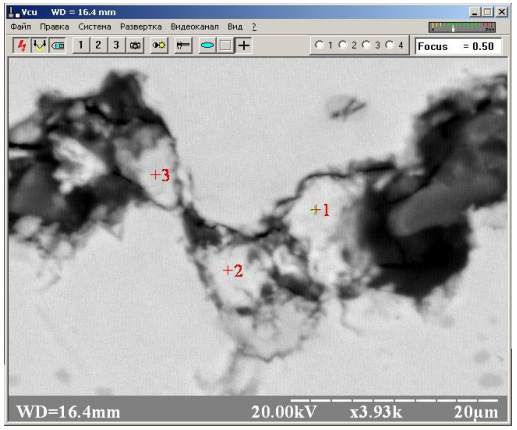
Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	Погр.%	C %	C-Pur %	ZAF	ZAF-Pur	Валент.	Атом.%	Коэф.	Текст
Al K	226	38.31	3.23	99.90	0.9660	1.0003	3	3.554	3.554	
Si K	6796	5.78	85.50	99.99	0.9364	1.0000	4	90.437	90.437	
Ti K	545	5.47	8.62	99.90	0.7024	1.0000	4	5.346	5.346	
Ti L	-2	64.96	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	
Sn L	77	17.29	2.65	99.90	0.6611	1.0003	4	0.663	0.663	
Sn M	-2	50.53	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	

4

Мікроструктура гаряче-деформованого зразка та її локальний рентгеноспектральний аналіз фазових складових



Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	С %	Атом.%	Коэф.
Al K	395	1.61	2.847	2.847
Si K	163	0.58	0.994	0.994
Ti K	19368	95.55	95.243	95.243
Ti L	-2	0.00	0.000	0.000
Zr K	2	0.00	0.000	0.000
Zr L	9	0.06	0.033	0.033
Zr M	-1	0.00	0.000	0.000
Sn L	302	2.19	0.883	0.883
Sn M	-2	0.00	0.000	0.000

1

Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	С %	Атом.%	Коэф.
Al K	418	1.68	2.972	2.972
Si K	149	0.53	0.898	0.898
Ti K	19615	95.53	95.208	95.208
Ti L	-3	0.00	0.000	0.000
Zr K	-2	0.00	0.000	0.000
Zr L	16	0.11	0.059	0.059
Zr M	0	0.00	0.000	0.000
Sn L	299	2.15	0.863	0.863
Sn M	-3	0.00	0.000	0.000

2

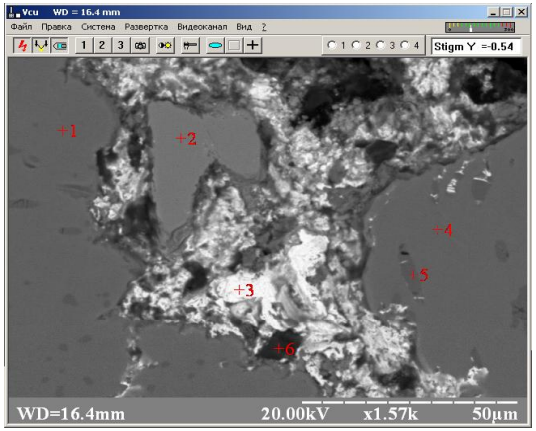
Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	С %	Атом.%	Коэф.
Al K	339	1.55	2.731	2.731
Si K	305	1.22	2.074	2.074
Ti K	17153	94.82	94.196	94.196
Ti L	-1	0.00	0.000	0.000
Zr K	-7	0.00	0.000	0.000
Zr L	36	0.29	0.152	0.152
Zr M	-1	0.00	0.000	0.000
Sn L	253	2.11	0.847	0.847
Sn M	-2	0.00	0.000	0.000

3

Мікроструктура гаряче-деформованого зразка та її локальний рентгеноспектральний аналіз фазових складових



Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	C %	Атом.%	Коэф.
Al K	397	1.62	2.882	2.882
Si K	204	0.73	1.244	1.244
Ti K	19411	94.59	94.593	94.593
Ti L	1	0.00	0.000	0.000
Zr K	9	0.00	0.000	0.000
Zr L	55	0.39	0.205	0.205
Zr M	-1	0.00	0.000	0.000
Sn L	358	2.67	1.077	1.077
Sn M	-2	0.00	0.000	0.000

1

Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	C %	Атом.%	Коэф.
Al K	6	0.02	0.046	0.046
Si K	39	0.12	0.243	0.243
Ti K	91	0.08	0.094	0.094
Ti L	-1	0.00	0.000	0.000
Fe K	12312	99.77	99.612	99.612
Fe L	2	0.00	0.000	0.000
Zr K	0	0.00	0.000	0.000
Zr L	1	0.01	0.004	0.004
Zr M	0	0.00	0.000	0.000
Sn L	-6	0.00	0.000	0.000
Sn M	2	0.00	0.000	0.000

2

Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	C %	Атом.%	Коэф.
Al K	63	0.34	2.420	2.420
Si K	135	0.41	2.798	2.798
Ti K	86	0.40	1.590	1.590
Ti L	1	0.00	0.000	0.000
Fe K	61	0.32	1.082	1.082
Fe L	70	0.00	0.000	0.000
Zr K	9	0.00	0.000	0.000
Zr L	121	0.72	1.504	1.504
Zr M	-3	0.00	0.000	0.000
Cd L	69	0.92	1.555	1.555
Cd M	-18	0.00	0.000	0.000
Sn L	-6	0.00	0.000	0.000
Sn M	50	0.00	0.000	0.000
Pb L	1270	0.00	0.000	0.000
Pb M	10120	96.89	89.052	89.052

3

Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	C %	Атом.%	Коэф.
Al K	379	1.56	2.765	2.765
Si K	145	0.52	0.890	0.890
Ti K	19124	95.04	94.992	94.992
Ti L	-1	0.00	0.000	0.000
Fe K	43	0.43	0.365	0.365
Fe L	-1	0.00	0.000	0.000
Zr K	2	0.00	0.000	0.000
Zr L	8	0.06	0.030	0.030
Zr M	0	0.00	0.000	0.000
Cd L	21	0.14	0.061	0.061
Cd M	0	0.00	0.000	0.000
Sn L	295	2.18	0.879	0.879
Sn M	-1	0.00	0.000	0.000
Pb L	13	0.00	0.000	0.000
Pb M	8	0.08	0.017	0.017

4

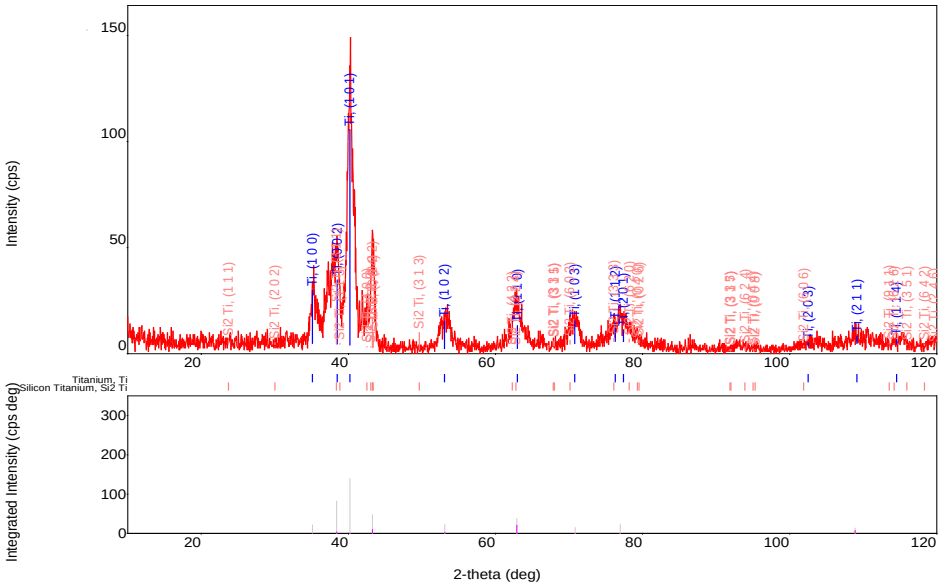
Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма формульных коэффициентов: 100
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	C %	Атом.%	Коэф.
Al K	123	0.53	0.879	0.879
Si K	2997	11.50	18.159	18.159
Ti K	15908	86.90	80.492	80.492
Ti L	0	0.00	0.000	0.000
Fe K	14	0.15	0.118	0.118
Fe L	0	0.00	0.000	0.000
Zr K	1	0.00	0.000	0.000
Zr L	5	0.05	0.023	0.023
Zr M	0	0.00	0.000	0.000
Cd L	53	0.45	0.176	0.176
Cd M	0	0.00	0.000	0.000
Sn L	42	0.39	0.145	0.145
Sn M	1	0.00	0.000	0.000
Pb L	-1	0.00	0.000	0.000
Pb M	3	0.04	0.008	0.008

5

Результати рентгенофазового аналізу



Фаза	a	b	c
α-Ti	2,949	2,949	4,673
$TiSi_2$	8,497	4,828	8,337

Висновки

За результатами проведеної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Досліджено високоенергетичний вплив на пластину термоцикльованого композиту Ti-Si-Al-Zr;
2. Визначено фазовий склад композиту;
3. Дисиліцид титану $TiSi_2$ може утворювати два різновида кристалічної гратки: базоцентрована орторомбічна С 49, яка формується в температурному інтервалі 450 – 650 ◦С та гранецентрована орторомбічна гратка С 54, яка утворюється при температурах, вищих за 650 ◦С;
4. Рентгенофазовий аналіз і температурний інтервал гарячої пластичної деформації, який було реалізовано для даного зразка, а саме 1050 – 950 ◦С, підтверджує те, що дисиліцид титану С 54 $TiSi_2$ з орторомбічною гранецентрованою граткою сформувався в перебігу гарячої пластичної деформації;
5. Після високоенергетичного впливу на пластину сплаву в останньому формується тріщина;

6. Згідно з результатами локального рентгеноспектрального аналізу в тріщинах зафіксовано появу наступних фаз: β-Ti, в кристалічній гратці якого розчинені Sn, Si, Al; SiC (Ti, Sn, Al); Fe як оксид заліза. $TiSi_2$ є фазова складова сплаву, SiC попало в тріщину при приготуванні шліфу як абразивні частинки, а Fe та Pb - як компоненти високоенергетичного впливу;

7. Розрахована планова кошторисна собівартість проведення роботи з урахуванням витрат всіх видів ресурсів, обґрунтована економічна доцільність виконання даної роботи;

8. Проведено аналіз небезпечних та шкідливих чинників також розроблено засоби на їх усунення та забезпечення безпеки в разі виникнення надзвичайної ситуації.

Дякую за увагу