

прискорення  $C = |c_k|_{\max}$  та кінетичної потужності  $D = |d_k|_{\max}$ . Згідно з [7], перехід від аналогів швидкостей та прискорень до інваріантів подібності, при зворотно-поступальному русі ланки, можна здійснити за допомогою залежностей:

– для кута наближення

$$b_k = \frac{\varphi_n}{S_{\max}} s'_i, c_k = \frac{\varphi_n^2}{S_{\max}} s''_i, d_k = b_k c_k = \frac{\varphi_n^3}{S_{\max}^2} s'_i s''_i; \quad (3)$$

– для кута віддалення

$$b_k = \frac{\varphi_e}{S_{\max}} s'_i, c_k = \frac{\varphi_e^2}{S_{\max}} s''_i, d_k = b_k c_k = \frac{\varphi_e^3}{S_{\max}^2} s'_i s''_i. \quad (4)$$

**Висновок.** За допомогою поданих карт синтезу можна знайти розміри механізму, які задовольняють певні критерії пошуку. Більш докладно порядок синтезу викладено у роботі [6]. Крім цього, у процесі досліджень була створена комп'ютерна база даних, яка у подальшому може використовуватись для синтезу механізмів програмним способом. В наступних публікаціях буде розглянуто такий варіант синтезу просторових важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки за заданими геометричними та кінематичними параметрами.

### Література

1. Киницкий Я. Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена. – К.: Вища шк. – 1990. – 231 с.
2. Тавхелидзе Д. С. Кинематика и синтез трёх- и четырёхзвеньевых пространственных механизмов. – Тбилиси: Мецниереба, 1971. – 168 с.
3. Механика промышленных роботов. – В 3 кн. / Под ред. К. В. Фролова, Е. В. Воробьева. – М.: Высш. шк., 1988. – Кн. I: Кинематика и динамика / Е. И. Воробьев, С. А. Попов, Г. И. Шевелева.
4. Саркисян Ю. Л. Аппроксимационный синтез механизмов. – М.: Наука, 1982. – 304 с.
5. Киницкий Я. Т., Жеребецкий В. В. Синтез просторових важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки з використанням радіусів дотичних сфер // Вісник ХНУ. – 2006. – № 4. – С. 11-18.
6. Киницкий Я. Т., Жеребецкий В. В. Синтез просторових важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки за деякими геометричними параметрами // Вісник ХНУ. – 2008. – № 3. – С. 7-13.
7. Киницкий Я. Т. Теория механизмов и машин. – К.: Наук. думка – 2002. – 660 с.

Надійшла 27.3.2009 р.

УДК 669.14.018.44/45

В.П. ГАВРИЛЮК

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України

П.М. ВАСИЛЮК

Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СТАНУ ЗАЛІЗО ХРОМОВИХ СПЛАВІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*Дослідженнями показано, що зміна структурно-фазового стану деталей із залізохромових сплавів в умовах експлуатації пов'язана із зміною хімічного складу сплавів. Зокрема, встановлено, що зниження сумарного вмісту алюмінію та кремнію до 0,85 % за вмісту до 2 % молібдену чи вольфраму призводить до утворення відповідно  $\sigma$ -FeCrMo та  $\sigma$ -FeCrW-фаз.*

*It was found out, that change of the structural -phase state of the FE-CR alloys in service conditions is connected with the change of the chemical composition.*

*In particular, it was found out, that the decrease of the total Al and Si content down to 0,9 % while Cr more 38 %, W (Mo) content always more 1 % leads to formation of the  $\sigma$ -FeCrMo та  $\sigma$ -FeCrW phases.*

На підставі проведених досліджень вибрали склад сплавів (табл. 1), з яких були виготовлені фідерні плити, корпусні деталі склоплавильних печей, фільтрні живильники для експлуатації у виробничих умовах. В якості базового вибрали сплав, що містить (мас. %): 35Cr, 2Mo, 1Si, 0,3Ti, 0,3Ce, Fe-решти.

З метою вивчення впливу продуктів реакції на структуру пограничної зони в якості об'єкту дослідження вибрали сплави складу № 1, № 2, № 4, № 7, № 8, з якого були виготовлені плунжери, що використовуються у вузлі дозування при виробництві склотари. За умовами експлуатації робочу поверхню плунжерів можна розділити на три зони: перша зона – це частина поверхні плунжера, що знаходиться в середовищі згоряння газу за температури близько 1623К. Друга зона (середня частина) – циклічно занурювалася із газу (1623К) в силікатний розплав (SiO<sub>2</sub>-72,4 %, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-27,6 %) за температури 1473К.

## Хімічний склад сплавів

№	Cr	Mo	W	Al	Si	Ti	Ce	La
1	34,87	1,89		0,48	0,45	0,43	0,28	
2	36,9	1,87		1,48	0,4	0,41	0,27	
3	34,88		1,9	0,47	0,42	0,4	0,29	
4	36,86		1,92	1,48	0,41	0,39	0,27	
5	34,95		3,87		0,43	0,38	0,28	
6	34,93	1,89			0,45	0,41	0,27	
7	36,86	1,94		2,87	0,43	0,4		0,48
8	36,85		1,86	2,91	0,43	0,42		0,45
9	36,87			2,86	0,4	0,43		0,47Y
10	36,86			2,88	0,42	0,42		0,48
11	36,92	1,9		1,45	0,43	0,38	0,26	
12	36,93		1,91	1,47	0,45	0,42	0,29	

Fe-решта

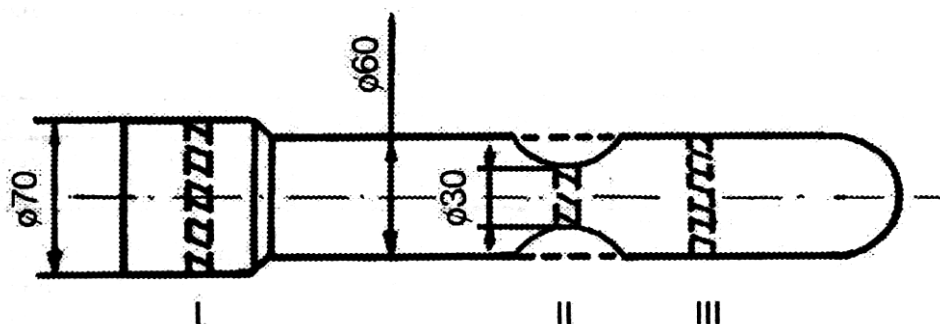


Рис. 1. Схематичне зображення плунжера

Третя зона- нижня частина плунжера постійно знаходилася в силікатному розплаві з температурою 1473К. Хімічний аналіз сплаву після 2 місяців неперервної роботи показав суттєву різницю вмісту елементів в різних частинах плунжера.

Таблиця 2

## Хімічний склад сплаву (мас. %) по січенню плунжера

№	Cr		Mo		W		Al		Si	
	Ц	П	Ц	П	Ц	П	Ц	П	Ц	П
Зона 1										
склад1	30,93	23	0,7	0,7			0,072	0,1	0,2	0,24
склад2	33,5	28	0,9	0,8			0,4	0,8	0,3	0,34
склад4	33,8	28,7			1,57	0,83	0,55	0,9	0,37	0,42
склад7	34,6	29,7	1,2	1,07			2,47	2,67	0,43	0,45
склад8	35,2	30,4			1,7	1,34	2,56	2,75	0,45	0,47
Зона 2										
№	Cr		Mo		W		Al		Si	
	Ц	П	Ц	П	Ц	П	Ц	П	Ц	П
склад1	29,3	22,3	0,57	0,7			0,07	0,18	0,18	0,23
склад2	32,5	28,8	0,79	0,83			0,34	0,58	0,23	0,27
склад4	32,8	29,71			1,65	1,2	0,43	0,96	0,27	0,3
склад7	33,1	30,1	1,1	0,93			2,14	2,46	0,35	0,41
склад8	34,5	31,8			1,67	1,3	2,35	2,57	0,42	0,45
Зона 3										
№	Cr		Mo		W		Al		Si	
	Ц	П	Ц	П	Ц	П	Ц	П	Ц	П
склад01	32,6	24,6	0,73	0,78			0,082	0,12	0,21	0,23
склад2	33,5	28	0,9	0,8			0,4	0,87	0,28	0,32
склад4	33,8	28,7			1,57	0,83	0,55	0,93	0,32	0,34
склад7	34,6	29,7	1,2	1,07			2,47	2,67	0,36	0,45
склад8	35,2	30,4			1,7	1,34	2,56	2,75	0,43	0,48

Позначення: Ц – центральна частина, П – поверхнева частина

Найпомітніше зниження концентрації хрому порівняно з вихідним станом спостерігається в другій зоні, яка поперемінно знаходиться в розплаві і газовому середовищі в середньому до 20 циклів на хвилину. Якщо різниця за вмісту хрому в другій (центральної) частині складає близько 3 %, то в розплаві вона досягає 5 %. Така різниця пояснюється більшими витратами хрому на утворення власних оксидів в силікатному розплаві в зв'язку з інтенсивнішим його підводом на поверхню і різними механізмами їх взаємодії.

Найменше зниження концентрації хрому виявлено для сплаву, що постійно знаходиться в розплаві з меншою температурою порівняно з температурою газового середовища.

Другим елементом, що зазнає зміну концентрації є алюміній. Найбільша швидкість зниження концентрації зафіксована за найменшого його вмісту у сплаві. Концентрація хрому, як і алюмінію, суттєво знижується в середині металу порівняно з поверхнею сплаву. З підвищенням вмісту алюмінію понад 1 % в сплаві швидкість зменшення концентрації хрому та кремнію значно зменшуються.

Мікроструктура сплаву з вмістом алюмінію 0,5 % (склад № 1), та 1,5 % (склад № 2) представляє собою хромистий ферит з виділеннями на границях зерен  $\sigma$ -фази, а також незначними виділеннями нітридів та карбідів. Найбільші виділення  $\sigma$ -FeCrMo фази виявлено для сплаву № 1, № 2 практично у всіх зонах. Сумарний вміст алюмінію та кремнію для сплаву № 1, № 2 не перевищує 0,85 % як в поверхневих шарах, так і по об'єму сплаву в першій зоні та в центрі зразків в другій та третій зонах. У відповідності до запропонованого критерію для таких сплавів характерно утворення  $\sigma$ - фази, що виявлено в першій зоні та в незначних кількостях в другій і третій зонах.

Для сплаву № 4 виявлено незначні виділення фази типу  $\sigma$ -FeCrW у всіх зонах переважно в центрі зразків. В цих зонах сумарний вміст алюмінію та кремнію в центрі зразків складає (0,8-0,9) %, а на поверхні до 1,3 %, що перевищує їх концентрацію порівняно із запропонованим критерієм. Така неузгодженість пояснюється тим, що запропонований критерій вибирався за часу витримки (30-50) год. В реальних умовах роботи час експлуатації плунжера перевищував 800 год. Проведеними дослідженнями виявлено міжзеренну ліквідацію хрому з його концентрацією (35-38) %. За таких умов утворення  $\sigma$ - фази має місце і при значно вищій сумарній концентрації алюмінію і кремнію. Проведені дослідження показують про необхідність розглядати структурно-фазові перетворення в об'ємі сплаву, по границях зерен і в його поверхневих шарах.

З аналізу досліджень сплаву № 2 і № 4 випливає, що сплави з вольфрамом та вмістом алюмінію до 0,5 % в меншій мірі спричинюють утворенню  $\sigma$  – фази порівняно із молібденвмісними сплавами. Цікавим є той факт, що для як з молібденом-, так і вольфрамвмісними сплавами (складу № 7 та № 8) не виявлено утворення такої фази, що пояснюється високим вмістом в них алюмінію і, відповідно, сумарного вмісту алюмінію і кремнію. За даними рентгеноструктурних досліджень фазовий склад зовнішніх шарів поверхні плунжера складається з хромиту, нітридів титану та хрому і не залежить від температури та середовища. В лабораторних умовах за часу випробувань (30-50) год. нітридів титану виявлено не було.

Таблиця 3

Фазовий склад оксидних шарів поверхні плунжера після експлуатації

№ п/п	Мас. %	Внутрішній шар	Зовнішній шар	T, K
1.	склад 1	FeOCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	FeO (Fe, Cr) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiN, Cr <sub>2</sub> N	1473, 1623
2.	склад 2	FeO (Cr, Al) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeOCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , TiN, Cr <sub>2</sub> N	1473, 1623
3.	склад 4	FeO (Cr, Al) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiN	FeO (Cr, Al) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1473
4.	склад 4	FeO (Cr, Al) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiN	(Fe, Cr) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1623
5.	склад 7	FeO (Cr, Al) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>	1473
6.	склад 7	Fe Cr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	FeO (Cr, Al) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1623
7.	склад 8	FeO (Cr, Al) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>	1473
8.	склад 8	Fe Cr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	FeO (Cr, Al) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1623

Нами встановлено, що результатом збільшення вмісту алюмінію в сплаві є підвищення захисної дії поверхневих оксидів. Таке явище пояснюється, виходячи з механізму формування оксидів. Впродовж 10-15 хв такої взаємодії спостерігається розчинення поверхні металу з подальшим утворенням суцільних оксидів хромистої шпінелі. Збільшення вмісту алюмінію до 1,5 % (склад № 4) спричинює утворенню в зовнішніх оксидних шарах шпінелі типу FeO (Cr, Al)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> що містить оксид алюмінію за температури 1423K, а підвищення температури до 1623K дає таку шпінель у внутрішніх оксидах поверхні сплаву. Крім того, у внутрішніх оксидних шарах поверхні сплаву виявлено незначний вміст нітридів титану та хрому. За вмісту алюмінію в сплаві 3 % (склад № 7, № 8) на поверхні плунжера утворюються алюмосилікати за температури 1423K, а підвищення температури до 1623K (центральна частина) приводить до утворення в зовнішніх шарах хромоалюмінієвої шпінелі (табл. 3).

Таким чином, найефективнішу захисну дію проявляє алюміній за його вмісту в сплаві 3 % та температури 1423K, а за температури 1623K-захисна дія краще проявляється за вмісту алюміній більше 1,5 % та кремній більше 0,35 %. Крім того фазовий склад оксидів однаковий для сплавів, що містять молібден і вольфрам. Фазовий склад оксидних шарів дає пояснення низької швидкості зниження концентрації хрому за рахунок ефективною захисної дії алюмосилікатів.

Збільшення вмісту алюмінію більше 1 % спричинює збільшення дифузійного потоку атомів алюмінію і кремнію до поверхні, внаслідок чого проходить перерозподіл легувальних елементів таким

чином, що в зовнішніх оксидних шарах утворюються оксиди алюмінію і кремнію.

Спільне легування сплаву алюмінієм в кількості 3% і кремнієм в кількості 1% сприяє заліковуванню пор за рахунок малого атомного радіусу кремнію і утворення алюмосилікатів.

Таким чином, як на початковій стадії окиснення, так і в умовах експлуатації виробів характерним є утворення оксидів шпінельного типу FeO (Fe, Cr)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> за температури 1573 К, і утворення оксидів алюмінію та кремнію за їх вмісту в сплаві більше 1,5% і 0,35% відповідно.

Якщо при окисненні сплавів з вмістом від 2 до 4% W, при 3% Al на поверхні сплавів виявлені оксиди α- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> протягом (30-50) год., за нашими дослідженнями плунжера після експлуатації виявлені оксиди шпінельного типу. Аналогічну картину спостерігали і для сплаву, які містять 2% Mo і 3% Al. В результаті проведених досліджень встановлено роль структурно-фазових перетворень в об'ємі сплаву, по границях зерен і в поверхневих шарах.

На відміну від лабораторних випробувань в реальних умовах спостерігається зміна хімічного складу за рахунок зменшення концентрації хрому, алюмінію та кремнію, що суттєвим чином впливає на утворення σ-фази та формування захисних поверхневих оксидів. Крім того, в реальних умовах експлуатації сплавів спостерігається ліквідація хрому по границях зерен, що суттєвим чином впливає на формування σ-фази за значно вищої концентрації алюмінію та кремнію порівняно з лабораторними випробуваннями. Також встановлено, що утворення оксидів алюмінію на поверхні сплаву не запобігає утворенню σ-фази в умовах експлуатації, де сумарний вміст алюмінію та кремнію не перевищують (1,2-1,3)%. Таким чином, утворення однофазної структури в умовах експлуатації досягається за сумарною концентрацією алюмінію і кремнію більше (1,2-1,3)%, титану біля 0,4%, а хрому (32-34)%.

Найвищу жаростійкість у вказаних умовах мають ті сплави, на поверхні яких утворюються багатшарові оксиди: зовнішні-оксиди алюмінію, що мають найвищу захисну дію, а внутрішні- оксиди шпінельного типу, що підтверджується і лабораторними дослідженнями.

Об'єктом досліджень структурно-фазових перетворень також служила фідерна плита призначена для дозування силікатного розплаву і виплавлена з двох сплавів (табл. 2).

Зразки для досліджень вирізали із зон, що відповідали температурам 1073-1123, 1273-1323 та 1553-1593 К. Порівняно з вихідним сплавом, мікроструктура досліджуваного сплаву № 1 складається з хромистого фериту з дрібними виділеннями нітридів, карбідів хрому і титану. Для першого сплаву в зоні I-II і, в меншій мірі в III зоні, виявлена світла фаза σ-FeCrMo різної форми з мікротвердістю Н 1660-1690. Для сплаву № 2 виявлено незначні виділення σ-FeCrW фази в третій зоні.

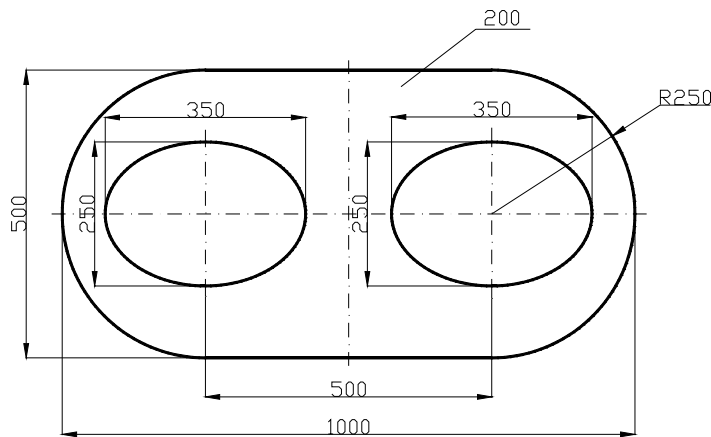


Рис. 2. Схематичне зображення фідерної плити

Таким чином як для сплавів плунжера, так і сплавів фідерної плити виділення інтерметалідних визначаються переважно хімічним складом і в меншій мірі температурою. Незначні виділення нітридів, карбідів хрому і титану спостерігається для III зони (сплав № 2).

Аналіз хімічного складу зразків плити після 4300 год. (сплав1) та після 6300 год. (сплав № 2) її експлуатації покаже найбільше зменшення концентрації хрому в зоні з найвищою температурою – майже на 13% для першого сплаву і на 10% для другого сплаву.

Для фідерної плити на прикладі сплаву № 1 та № 2 спостерігається пропорційна залежність між зменшенням концентрації хрому і всіма іншими елементами сплаву. Разом з тим, порівняльна характеристика сплаву № 1 та № 2 показує, що з підвищенням концентрації алюмінію підвищується концентрація і всіх інших елементів сплаву.

Таблиця 4

#### Хімічний склад сплавів

Температура T, К	Вміст елементів (мас. %) сплав 1: Fe-35Cr-2Mo-1,5Si-1Ti-0,5Al					
	Cr	Mo	W	Al	Si	Ti
1073-1123	31,65	1,38		0,33	0,3	0,35
1273-1323	29,6	1,37		0,27	0,27	0,3
1553-1593	21,7	1,2		0,09	0,07	0,27
	сплав 2: Fe-37Cr-2W-1,5Al--1,5Si-1Ti					
1073-1123	33,2		1,43	1,23	0,45	0,43
1273-1323	31,4		1,41	1,17	0,42	0,41
1553-1593	27,3		1,31	0,76	0,37	0,38

Таким чином еквівалентом існування  $\sigma$ -фази є наступний хімічний склад сплаву (мас. %):

$$E = (32-38)Cr - (0,6-0,8)Al - (0,3-0,4)Si - (0,32-0,45)Ti \quad (1)$$

за умови 1 % молібдену чи вольфраму. Підвищення концентрації хрому більше 38 % чи зменшення концентрації інших елементів у формулі (1) призводить до утворення  $\sigma$ -фази.

Крім забезпечення однофазної структури-хромистого фериту експлуатаційні властивості сплавів, як жаростійкість та корозійна стійкість, визначаються захисною дією поверхневих оксидів.

Якщо на поверхні першого сплаву в зоні I-II утворюється переважно хромиста шпінель, то для другого сплаву I-III зони виявлені оксиди типу  $FeO (Cr, Al)_2O_3$  з вищою захисною дією, що забезпечує підвищенню ресурсу роботи виробів.

Суттєве зниження концентрації хрому, як і решти елементів, також спостерігається з переходом від другої до третьої зони. Це пов'язано із зміною властивостей оксиду, що містить хром вище температури 1523 К.

Швидкість зниження концентрації хрому плунжера за найвищої температури (1623 К) складає 0,01 %/год. і знижується наполовину для сплаву з 37 % хрому (склад № 7, № 8). Швидкість зменшення концентрації хрому для фідерної плити (сплав № 1) за найвищої температури (1553-1593) К складає 0,0042 %/год. і знижується до 0,0035 %/год. для сплаву № 2. Таким чином, швидкість зменшення концентрації хрому для фідерної плити може пояснюватись масштабним фактором, так як маса плити складає близько 120 кг., а плунжера – до 30 кг. Швидкість зменшення концентрації алюмінію для плунжера складає близько 0,001 %/год., а для фідерної плити- до 0,00018 %/год.

Швидкість зменшення концентрації хрому та алюмінію в деталях, як і втрата питомої маси сплаву описуються степеневою залежністю виду  $\Delta q = kt^{1/n}$  з показником  $n > 2$ , що характеризує бар'єрну дію поверхневих оксидів. В кожному разі ресурс роботи деталей збільшується (15-20) % за наявності алюмінію 1,5 % та хрому 37 %.

Суттєве зниження концентрації хрому, як і решти елементів, також спостерігається з переходом від другої до третьої зони. Це пов'язано із зміною властивостей оксиду, що містить хром вище температури 1523 К.

Таким чином, для виробництва плунжера, як і для виробництва фідерної плити, рекомендовано сплави з вмістом алюмінію понад 1,5 %, що не містять молібдену та вольфраму, або їх вміст не перевищує 1 %. Для їх роботи в силікатному розплаві № 1 із зазначених в табл. 1 рекомендовані сплави складу № 9 та № 10. Для роботи в силікатному розплаві № 2 рекомендовані сплави складу № 11 та № 12, які характеризуються найвищою корозійною стійкістю.

Особливості взаємодії сплавів в умовах дії електромагнітного поля.

Вплив електромагнітного поля на процес масоперенесення розглянуто на прикладі роботи живильників. Рельєф поверхні живильників після 20 діб роботи набуває форми концентричних еліпсоїдів, що відображає процес тепло-, масоперенесення (рис. 3).

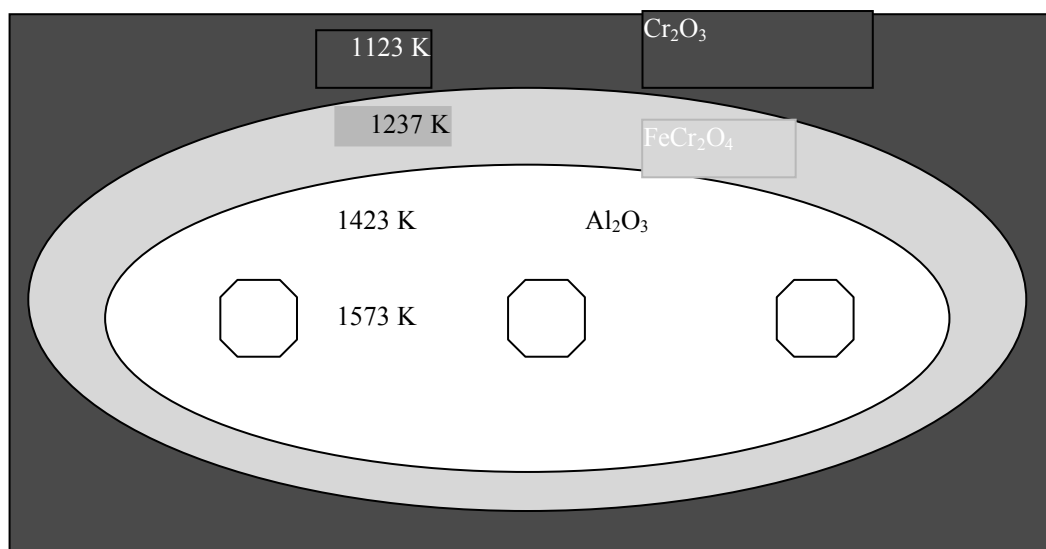


Рисунок 3. Схематичне зображення температурного поля живильника в умовах дії ЕМП

Температура крил живильників сягає 1123 К, тоді як у середній частині – 1623 К. Щільність струму найбільшого значення теж сягає в середній частині деталі. Потужність, що подається на деталь, складає приблизно 80 кВт. Після 20 діб роботи крила живильників мають великий вміст оксидів хрому і хромітів, а в середній частині, і, особливо довкола фільтер, переважають оксиди алюмінію сріблястого відтінку. На відміну від окиснення на повітрі, товщина оксидів не перевищує 60 мкм, а оксиди алюмінію не мають інородних атомів.

Після 340 год за найвищої температури експлуатації живильника вміст хрому для базового сплаву

№ 1 знижується з 35 до 28,7 %, а алюмінію – з 0,5 до 0,31 %. Для сплаву № 2 вміст хрому знижується з 37 до 33,6 %, а алюмінію – з 1,5 до 1,22 %.

Дія електромагнітного поля визначається особливістю електричних та магнітних характеристик елементів сплаву.

За даними мікрорентгеноспектрального аналізу розподіл елементів на відміну від сплавів, які працюють в умовах газового нагрівання, стабільніший.

На відміну від сплавів плунжера та фідерної плити для сплавів живильника не виявлено утворення подвійної структури –  $\alpha + \sigma$  фаз. Такий факт пов'язуємо з тим, що в умовах дії ЕМП нашими дослідженнями не виявлено розшарування твердого розчину, ліквідації хрому, необхідних для утворення  $\sigma$ -фази.

Аналіз експериментальних даних (табл. 5) показує найменшу швидкість зниження елементів для живильника із сплаву № 2, а найбільшу – для живильника із сплаву № 1.

Таким чином, залишковий вміст хрому та алюмінію визначається в більшій мірі початковим його вмістом та температурою і в меншій мірі середовищем.

Таблиця 5

**Хімічний склад сплавів**

Температура Т, К	Вміст елементів (мас. %) сплав № 1: Fe-35Cr-2Mo-0,5Si-0,4Ti-0,5Al					
	Cr	Mo	W	Al	Si	Ti
1123-1273	32,85	1,63		0,39	0,31	0,33
1423	30,5	1,47		0,37	0,28	0,3
1573	28,7	1,38		0,31	0,21	0,24
сплав № 2: Fe-37Cr-2W-1,5Al-0,5Si-0,5Ti						
1123-1273	35,8		1,73	1,33	0,4	0,37
1423	35,3		1,54	1,21	0,32	0,34
1573	34,85		1,43	1,12	0,29	0,31
сплав № 3: Fe-37Cr-0,5Si-0,5Ti- 1,5Al-0,5La						
1123-1273	35,5			1,37	0,31	0,34
1423	34,9			1,28	0,27	0,32
1573	34,2			1,22	0,21	0,29

Порівняно з газовим нагріванням (фідерна плита, плунжер) швидкість зменшення елементів сплаву живильника суттєво нижча. Як і у випадку з фідерною плитою спостерігається пропорційна залежність між зміною концентрації всіх елементів сплавів. Разом з тим слід зазначити, що з підвищенням концентрації алюмінію підвищується концентрація і всіх інших елементів сплаву.

Для живильників з шириною поля біля 200 мм із сплавів, що містять до 2 % молібдену виявлено утворення тріщин по зовнішньому периметру. Тому для таких живильників рекомендовано сплави, що не містять ні молібдену, ні вольфраму. Для живильників з шириною поля до (70-100) мм. утворення тріщин не виявлено. Тому для таких живильників рекомендовано сплави з вмістом молібдену чи вольфраму до 2 %.

Хоча випробування зразків сплаву в різних середовищах тривалістю (30-50) год. показують, що жаростійкість сплаву майже на порядок вища за його корозійну стійкість. Причина таких розбіжностей пов'язана з тим, що лише частина чи окремі поверхні деталі взаємодіють з розплавом, а інші – з повітрям. За однакової швидкості зменшення концентрації хрому та алюмінію ресурс роботи визначається початковим вмістом цих елементів. Отже з підвищенням початкового вмісту хрому і алюмінію підвищується ресурс роботи деталей і в значно меншій мірі залежить від кремнію та титану. Слід зазначити, що для вольфрамвмісних сплавів швидкість зменшення концентрації хрому та алюмінію менша порівняно із молібденвмісними сплавами. Таким чином, для виробництва живильників рекомендовані сплави за № 11 та № 12.

**Висновки**

Таким чином, для виробництва плунжера, як і для виробництва фідерної плити, рекомендовано сплави з вмістом алюмінію більше 1,5 %, кремнію більше 0,3 %, що не містять молібдену та вольфраму, або їх вміст не перевищує 1 %.

**Література**

1. Гаврилюк В.П., Василюк П.М., Лазарюк В.В. Оптимізація складу жаростійких Fe-Cr сплавів // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – Т.2. – № 6. – С.56-62.

Надійшла 23.2.2009 р.