

вавшихся в процессе осаждения  $\text{Al}(\text{OH})_3$  из пересыщенного раствора алюмината натрия, что хорошо заметно при небольшом увеличении. При большом увеличении выявляется однородная структура конгломерата, состоящая из пластинок одинаковых размеров. Выдержка при температуре  $1300^\circ\text{C}$  не привела к образованию мостиков, соединяющих отдельные пластины. В то же время выдержка красок на основе  $\text{ZrSiO}_4$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  привела к образованию мостиков между отдельными зернами. Сама зерновая структура в обоих случаях характеризуется неоднородностью размеров отдельных частиц. Остается невыясненной причина отсутствия проникновения крепителя в конгломераты  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , в результате чего исключается связь между частицами при низких температурах и спекание частиц при высоких.

Таким образом, установлено, что небольшие добавки алюмината натрия во всем диапазоне исследованных температур способствуют росту твердости, а, следовательно, и прочности противопожарных красок на базе дистен-силлиманита и лигносульфоната. Показано, что  $\text{NaAlO}_2$  может выступать в качестве самостоятельного связующего для дистен-силлиманита и циркона ( $\text{ZrSiO}_4$ ).

УДК 662.76

**С.В. Конончук, В.В. Пукалов, О.В. Скрипник**

Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград

## **ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДІВ**

В останній час як в Україні так і в усьому світі спостерігається постійне зростання дефіциту металовмісної сировини. Особливо гостро проблема нестачі металу відчувається в ливарному виробництві. Оскільки процеси отримання металів є енергоємними, дослідження спрямовані на підвищення енергоефективності цих процесів є актуальними.

Процес відновлення металів схематично можна представити реакцією:



де  $\text{MeO}$  – оксид металу;  $\text{B}$  – відновлювач;  $\text{Me}$  – метал;  $\text{BO}$  – оксид відновлювача.

В якості відновлювачів можуть використовуватись метали (металотермія), вуглець (пряме відновлення), газ  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  (непряме відновлення).

Оскільки основними продуктами газогенераторного процесу є  $\text{CO}$  і  $\text{H}_2$ , генераторний газ доцільно використовувати для відновлення оксидів металів:



Згідно з правилом фаз Гібса число термодинамічних ступенів свободи процесу  $c = k + n - f = 3 + 2 - 3 = 2$ . Оскільки процеси відновлення здійснюються переважно при сталому тиску то у попередньому виразі  $n = 1$  і  $c = 1$ . Це означає, що для визначення системи необхідно вказати лише один параметр – температуру. Тоді константа рівноваги буде функцією температури:  $K_p = f(T)$ .

Оскільки  $K_p = p_{\text{CO}_2} / p_{\text{CO}}$ , а  $p_{\text{CO}} = f(p_{\text{CO}_2})$ , то можна розрахувавши  $K_p$  для різних температур, визначити хімічний склад газової фази для цих температур.

Для прикладу розглянемо процес відновлення оксиду заліза за реакцією:



Константу рівноваги можна виразити також через концентрації реагентів в газовій фазі  $K_p = \% \text{CO}_2 / \% \text{CO}$ . Оскільки  $\% \text{CO} + \% \text{CO}_2 = 100\%$ , то  $K_p = (1 - p_{\text{CO}}) / p_{\text{CO}} = (100\% - \% \text{CO}) / \% \text{CO}$ , звідки  $\% \text{CO} = 100 / (K_p + 1)$ .

Розрахунки термодинамічних характеристик хімічної реакції (3) виконуємо в інтервалі температур 298...1698 K за допомогою розробленої на кафедрі ливарного виробництва КНТУ комп'ютерної програми Reagent [1, 2]. Результати розрахунку представлено в табл. 1 і на рис.1.

Таблиця1 – Результати розрахунку термодинамічних характеристик хімічної реакції  $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$

$T, K$	$\Delta H,$ кДж/моль	$\Delta S,$ Дж/моль K	$\Delta G,$ кДж/моль	$\ln K_p$	$K_p$	%CO	%CO <sub>2</sub>
298,00	-13,95	-13,20	-10,70	4,64	103,54	0,96	99,04
396,00	-14,85	-15,67	-8,65	2,63	13,83	6,74	93,26
494,00	-15,41	-16,94	-7,42	1,72	5,56	15,25	84,75
543,00	-15,60	-17,30	-6,20	1,37	3,95	20,20	79,80
641,00	-15,81	-17,66	-4,49	0,84	2,32	30,11	69,89
739,00	-15,83	-17,69	-2,75	0,45	1,57	38,98	61,02
837,00	-15,68	-17,51	-1,26	0,15	1,16	46,33	53,67
935,00	-15,37	-17,16	0,67	-0,09	0,92	52,17	47,83
1033,00	-14,91	-16,69	2,33	-0,27	0,76	56,76	43,24
1131,00	-12,87	-14,73	3,79	-0,40	0,67	59,94	40,06
1226,00	-12,14	-14,10	5,15	-0,51	0,60	62,39	37,61
1318,00	-12,74	-14,58	6,47	-0,59	0,55	64,36	35,64
1410,00	-13,36	-15,32	7,84	-0,67	0,51	66,11	33,89
1502,00	-14,00	-15,47	9,24	-0,74	0,48	67,70	32,30
1594,00	-14,65	-15,89	10,68	-0,81	0,45	69,13	30,87
1641,00	-14,99	-16,10	11,43	-0,84	0,43	69,80	30,20
1674,00	-46,26	-35,16	12,59	-0,91	0,40	71,20	28,80

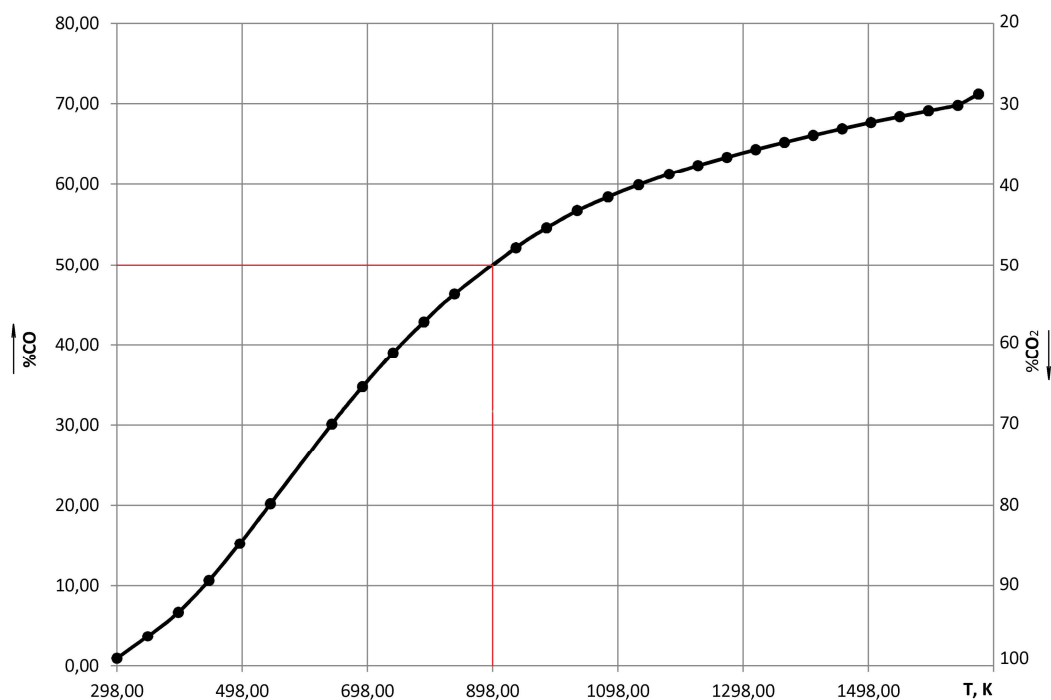


Рисунок 1 – Графік залежності рівноважного хімічного складу газової фази реакції  $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$  від температури

З результатів розрахунку (див. табл.1) видно, що ентальпія  $\Delta H$  від'ємна на всьому температурному інтервалі. Це означає, що реакція екзотермічна, протікає з виділенням теплоти. Виходячи з першого слідства з принципу Потилицина–Ле-Шалельє–Брауна (ПЛБ) підвищення температури буде гальмувати протікання даної реакції зміщуючи рівновагу вліво. З графіку залежності (див. рис.1) видно, що в інтервалі температур 298...898 К в газовій фазі переважає  $\text{CO}_2$  – реакція протікає вправо, в бажаному напрямку; при температурі 898 К – рівновага; при температурі вище 898 К в газовій фазі переважає  $\text{CO}$  – реакція протікає вліво в зворотному напрямку. Отже, для протікання реакції відновлення оксиду заліза в бажаному напрямку необхідно здійснювати процес в інтервалі температур 298...898 К.

Згідно з другим слідством з принципу ПЛБ зміна тиску на зміщення рівноваги даної реакції практично не впливає, оскільки кількість газоподібних молекул не змінюється.

Виходячи з третього слідства з принципу ПЛБ зміщенню рівноваги в бажаному напрямку буде сприяти підвищення активної концентрації початкових речовин. Це можливо досягти збільшенням площі реакційної поверхні шляхом подрібнення оксиду заліза.

Аналіз результатів термодинамічних розрахунків підтвердив доцільність використання генераторного газу для відновлення оксидів. Розроблена комп'ютерна програма дозволяє розраховувати термодинамічні характеристики металургійних реакцій при різних температурах та розробляти рекомендації по інтенсифікації відновлювальних процесів.

### Список літератури

1. Конончук С.В. Термодинамічні характеристики безкисневого газогенераторного процесу / С.В. Конончук, В.В. Пукалов // Материали XI Международной научно-практической конференции «Литье-2015». – Запорожье: ЗТПП, 2015. – С.135–138.

2. Програма розрахунку термодинамічних характеристик реакцій газогенераторного процесу / С.В. Конончук, В.І. Кравченко, В.В. Клименко та ін. // Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві. – Кіровоград: КНТУ, 2015.–С. 47 – 49.

УДК 621.746.6:542.65

**С.Є. Кондратюк, О.М. Стоянова, Ж.В. Пархомчук**

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

### **ВИКОРИСТАННЯ КОМПОНЕНТІВ ШИХТИ З ПІДГОТОВЛЕНОЮ СТРУКТУРОЮ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ СТАЛЕЙ**

Кристалізація і структуроутворення є найбільш доступними і ефективними процесами керування литою структурою і закладення потрібних спадкових елементів в сталях як компонентах шихти так і в якості модифікуючих добавок з підготовленою структурою. Закладені в литих сталях на стадіях кристалізації і твердофазних перетворень металогенетичні особливості зберігаються при наступних технологічних операціях переплаву і модифікування. У зв'язку з цим досліджено закономірності впливу вихідної литої структури сталей 25Л, 25ХГСТФЛ, 45Л, 45ХГСТФЛ, Р6М5Л, одержаних за умов нормального ( $V_{ox} = 5 \text{ }^\circ\text{C/s}$ ) і швидкісного ( $V_{ox} = 350 \text{ }^\circ\text{C/s}$ )

тепловідбору при кристалізації, гарячої деформації і зміцнювальної термічної обробки на формування литої структури при використанні їх як модифікаторів сталей аналогічного хімічного складу.