УДК 621.039.586

Экспериментальное исследование влияния структуры ванны расплава и поверхностной оксидной корки на кинетику окисления расплава кориума

А. А. Сулацкий, В. Б. Хабенский, В. С. Грановский, В. И. Альмяшев, Е. В. Крушинов, Е. В. Шевченко, С. А. Витоль, С. Ю. Котова, Е. К. Каляго, Е. Б. Шуваева, В. Р. Булыгин, Е. М. Беляева

ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова»,
г. Сосновый Бор Ленинградской области, Россия

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментального исследования влияния структуры ванны расплава (одно- и двухжидкостной расплав) и наличия оксидной корки на поверхности расплава на кинетику окисления расплава кориума. Показано, что при отсутствии оксидной корки на поверхности расплава структура ванны расплава не влияет ни на качественные (режим голодания по окислителю), ни на количественные характеристики кинетики окисления. При наличии на поверхности расплава оксидной корки скорость окисления резко снижается, однако процесс окисления по-прежнему находится в режиме голодания по окислителю. Полученные экспериментальные результаты применимы как для разработки компьютерных алгоритмов поведения расплава в кодах, относящихся к внутрикорпусному удержанию кориума при тяжелых авариях, так и для верификации данных кодов.

Ключевые слова: тяжелые аварии, внутрикорпусное удержание, кориум, кинетика окисления, индукционная плавка в холодном тигле.

UDC 621.039.586

Experimental study of the influence of molten pool structure and surface oxidic crust on the molten corium oxidation kinetic

A. A. Sulatsky, V. B. Khabensky, V. S. Granovsky, V. I. Almjashev, E. V. Krushinov, E. V. Shevchenko, S. A. Vitol, S. Yu. Kotova, E. K. Kalyago, E. B. Shuvaeva, V. R. Bulygin, E. M. Belyaeva

Alexandrov Research Institute of Technology (NITI),
Sosnovy Bor, Leningrad region, Russia

Abstract

The article presents the results of experimental study of the influence of molten pool structure (single- and two-liquid melt) and the presence of the surface oxidic crust on the kinetics of oxidation of the corium melt. It is shown that in the absence of an oxide crust on the surface of the melt, the structure of the molten pool does not affect either the qualitative (oxidant starvation mode) or the quantitative characteristics of the oxidation kinetics. If oxide crust is present on the surface of the melt, the oxidation rate decreases sharply, however, the oxidation process is still in the oxidant starvation mode. The obtained experimental results are applicable both for the development of computer algorithms for the melt behavior in codes related to the in-vessel corium retention in severe accident conditions, and for verification of these codes.

Key words: severe accidents, in-vessel retention, corium, oxidation kinetic, induction melting in the cold crucible.

Введение

Тяжелая авария АЭС с легководными реакторами, сопровождающаяся плавлением активной зоны, приводит к формированию оксидно-металлической ванны расплава на днище корпуса реактора. В зависимости от степени окисленности кориума и массовой доли стали в двухжидкостной ванне расплава металлическая жидкость может занимать верхнее или донное положение и содержит в своем составе, кроме компонентов стали, уран и цирконий [1]. Кроме того, при некоторых сценариях аварии, существует возможность реализации одно- и трехжидкостной структуры ванны расплава, причем, как и в случае двухжидкостной ванны, с поверхностной оксидной коркой или без нее. Отметим также, что стабильная трехжидкостная структура возможна только при наличии промежуточной оксидной корки между верхним металлическим и нижележащими слоями расплава.

Одним из процессов, оказывающих влияние на характеристики ванны, является окисление расплава. Окислитель может поступать во внутриреакторный объем над поверхностью ванны в процессе или по завершении ее формирования при подаче воды в корпус реактора или в результате массообмена газовой среды реактора и паровой (паровоздушной) среды контейнмента. Окислительно-восстановительные реакции могут приводить к изменению состава и структуры ванны, к уменьшению толщины металлического слоя, к дополнительному тепловыделению в расплаве, зависящему от скорости окисления, а также к генерации водорода. Моделирование указанных процессов требуется как для обоснования возможности удержания расплава кориума в охлаждаемом корпусе реактора или определения условий проплавления неохлаждаемого корпуса, так и для анализа водородной безопасности.

В ряде экспериментальных работ в рамках проектов МНТЦ METCOR, METCOR-P, EVAN и программы АЯЭ/ОЭСР MASCA на установках платформы «Расплав» в ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова» было выполнено исследование окисления расплава прототипного кориума в условиях, различающихся: составом кориума (субокисленный кориум, нержавеющая сталь); составом окислительной атмосферы (воздух, аргоно-кислородная смесь, водяной пар); структурой ванны (одножидкостная, двухжидкостная с донным расположением металлического слоя); состоянием поверхности расплава (отсутствие или наличие оксидной корки). Результаты указанных исследований и их анализ приведены в [2, 3]. Установлено, что скорость поглощения окислителя расплавом (скорость окисления) практически во всех случаях определяется скоростью подвода окислителя к зоне реакции — поверхности расплава, т. е. процесс окисления проходит в режиме голодания по окислителю. Отмечается, что наличие оксидной корки на поверхности расплава уменьшает скорость подвода окислителя к реакционной зоне, ограничивая тем самым скорость окисления расплава. Причем, как при наличии оксидной корки на поверхности расплава, так и при ее отсутствии скорость окисления не зависит от концентрации восстановителей в расплаве и остается практически постоянной до их полного исчерпания.

Полученные в проведенных опытах количественные данные по скорости окисления, выходу водорода и дополнительному тепловыделению могут быть применены в приближенных моделях окисления расплава, используемых в тяжелоаварийных расчетных кодах. Однако, в этих опытах не исследовалось окисление двухжидкостного оксидно-металлического расплава с верхним расположением слоя металлической жидкости. Необходимость данного исследования диктуется возможностью того, что поверхностный слой металлического расплава может выполнять роль дополнительного и существенного диффузионного/транспортного сопротивления на пути окислителя к основному источнику восстановителей — субокисленному расплаву. Кроме того, недостаток данных по окислению расплава при наличии поверхностной корки требует дополнительных экспериментальных исследований влияния

ее наличия на кинетику окисления. Основные результаты этого исследования приводятся в настоящей статье.

Эксперимент

Экспериментальное исследование проводилось в НИТИ на установке «Расплав-3» с использованием технологии индукционной плавки в холодном тигле. Схемы индукционной печи и газоаэрозольной системы приведены, соответственно, на рис. 1, 2. На рис. 3 приведен вид печи в сборе.

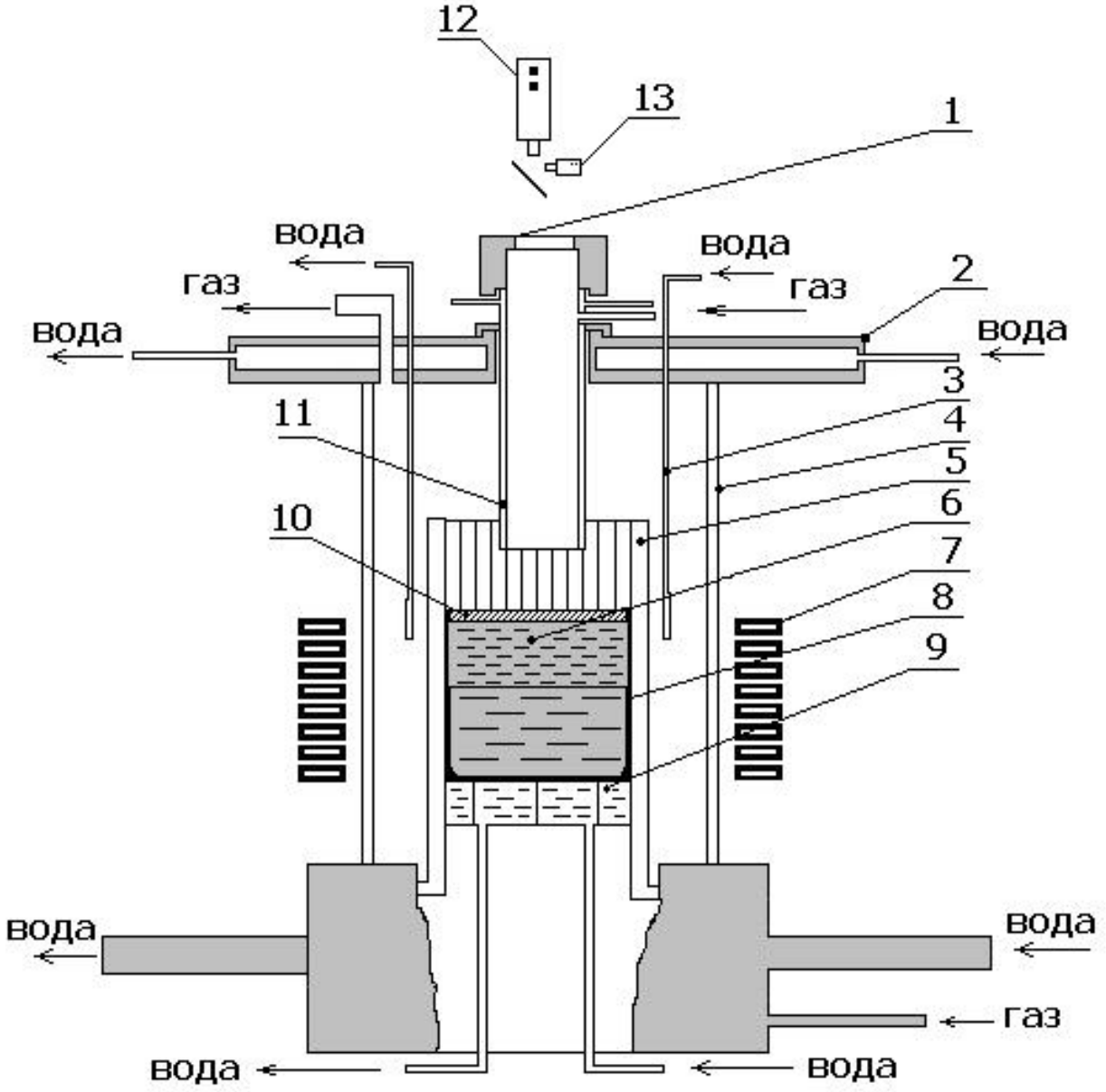


Рис. 1. Схема печи «Расплав-3»:

1 — кварцевое окно в шахте пирометра; *2* — водоохлаждаемая крышка печи; *3* — водоохлаждаемый электромагнитный экран; *4* — кварцевая обечайка; *5* — трубки секций тигля; *6* — оксидно-металлический расплав кориума; *7* — водоохлаждаемый индуктор; *8* — гарнисажная корка; *9* — донный многосекционный водоохлаждаемый калориметр; *10* — поверхностная оксидная корка; *11* — водоохлаждаемая шахта пирометра, порт отбора проб стали и измерения температуры слоя стали W-Re термопарами; *12* — пирометр; *13* — видеокамера

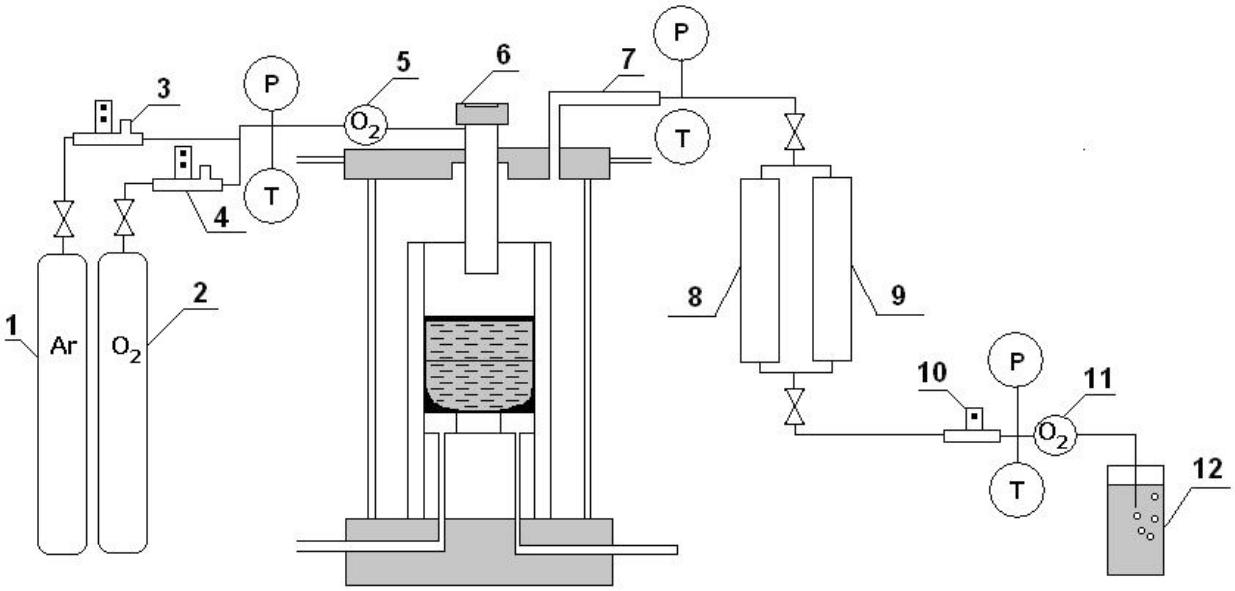


Рис. 2. Схема газоаэрозольной системы:

1 — баллон Ar; *2* — баллон O_2; *3*, *4* — регулятор расхода «Bronkhorst»; *5*, *11* — датчики кислорода; *6* — шахта пирометра; *7* — газо-аэрозольная линия; *8*, *9* — фильтры Петрянова; *10* — датчики расхода; *12* — гидрозатвор; P — датчики абсолютного давления; T — термопары K-типа

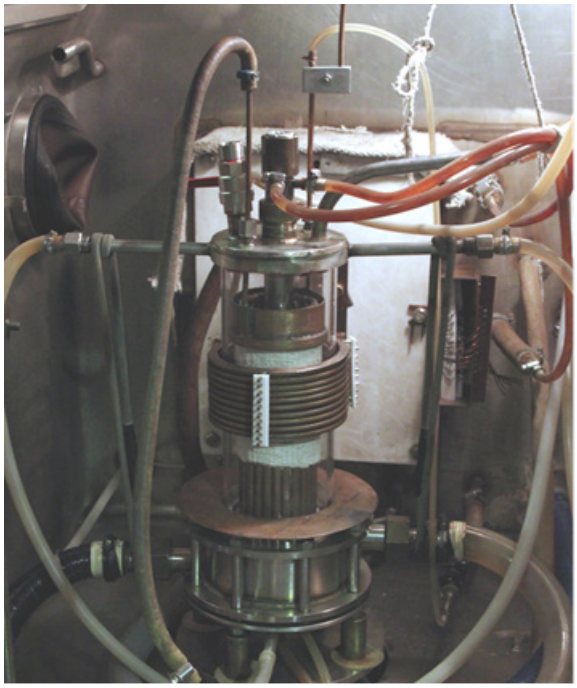


Рис. 3. Вид печи в сборе

Аргоно-кислородная смесь готовилась смешением кислорода и аргона. Соотношение аргона и кислорода задается регуляторами расхода фирмы «Bronkhorst». Содержание кислорода на входе и выходе из печи определяется электрохимическими датчиками кислорода фирмы «Оксоний». На выходе из печи для очистки газа от аэрозолей применяются фильтры из ткани Петрянова. Аргоно-кислородная смесь подавалась в объем печи через шахту пирометра.

В эксперименте ОХ1 была реализована следующая спецификация: индекс окисленности кориума С-30; атомное отношение U/Zr = 1.2; отношение массы нержавеющей стали к массе оксидного кориума — 0.4, т.е доля стали во всей системе — 0.286. Формирование ванны расплава проводилось в атмосфере сухого аргона высокой чистоты. Окисление расплава осуществлялось подачей в печь смеси Ar+O_2 расходом 600 л/час. Объемная доля O_2 в смеси: 2, 20, 30, 40 и 60 об.%.

Состав шихты, загруженной в тигель, представлен в табл. 1.

Таблица. 1

Расчетный состав загрузки тигля для эксперимента ОХ1

Наименование	**Масса, г**	**Содержание, масс.%**
UO_2	1672	54.3
ZrO_2	198	6.4
Zr	330	10.7
Масса шихты без стали	2200	71.4
Сталь марки 12Х18Н10Т	880	28.6
Итого	3080	100.0

Эксперимент ОХ1 был проведен в три стадии. На первой стадии производилось окисление субокисленного расплава с указанными выше степенью окисленности и уран-циркониевым соотношением при отсутствии оксидной корки на поверхности расплава. Для окисления расплава на первой стадии использовалась аргоно-кислородная смесь с содержанием O_2 в смеси 20, 40 и 60 об.%. На второй стадии над слоем субокисленного расплава была сформирована ванна металлического расплава с указанной выше массовой долей стали. Взаимное расположение субокисленного и металлического слоев расплава перед окислением обеспечивалось соответствующей совокупностью степени окисленности расплава и соотношения массовой доли оксидов и стали в расплаве [1]. Для окисления расплава на второй стадии использовалась аргоно-кислородная смесь с содержанием O_2 в смеси 20 и 40 об.%. Окисление и на этой стадии было проведено в бескорочном режиме. На третьей стадии эксперимента на поверхности двухжидкостной ванны расплава подачей аргоно-кислородной смеси с малым содержанием O_2 (2 об.%) была сформирована оксидная корка. Для окисления расплава на третьей стадии использовалась аргоно-кислородная смесь с содержанием O_2 в смеси 2, 20, 30 и 40 об.%. На рис. 4 схематично показаны структуры ванны расплава для всех трех стадий эксперимента ОХ1. Широкой красной линией на рисунке показана зона локализации окислительно-восстановительных реакций в расплаве.

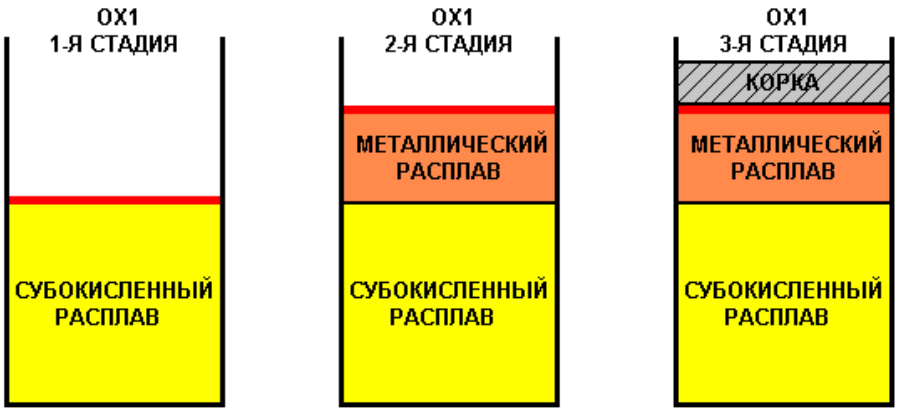


Рис. 4. Схема расположения слоев в ванне расплава

Описание процедуры эксперимента OX1

После загрузки печи шихтой для удаления сорбированного в порошках воздуха и создания инертной атмосферы провели продувку печи аргоном в течение примерно 10 минут с расходом 5 л/мин. Далее был включен ВЧ-нагрев, увеличен расход газа, подаваемого в печь, до 10 л/мин и проведено наплавление ванны расплава. Изменение температуры поверхности расплава (T_{col}) в стартовом режиме и в течение всего опыта, а также изменение во времени анодных тока (I_a) и напряжения (U_a) и тока сетки (I_g) представлены на рис. 5, изменение тепловой и электромагнитной мощности, выделяемой в элементах печи — на рис. 6, а изменение во времени расходов газа в печь (G_{ar}, G_{ox2}) и показаний датчиков кислорода на входе Ox_{in} и на выходе печи Ox_{out} представлены на рис. 7 и 8. Наблюдавшиеся в эксперименте и отражённые на рис. 5 существенные пульсации температуры поверхности расплава объясняются хаотическим затенением аэрозолями поля визирования пирометра.

После гомогенизации ванны на 2807 с с помощью вольфрамового зонда провели измерение глубины расплава и толщины донного гарнисажа, которые составили 74 и 2 мм, соответственно. На 3114 с произвели отбор пробы расплава № 1 и замену фильтра средней площади (ФСП № 1). Температура поверхности расплава составила ≈ 2440 °С (рис. 5).

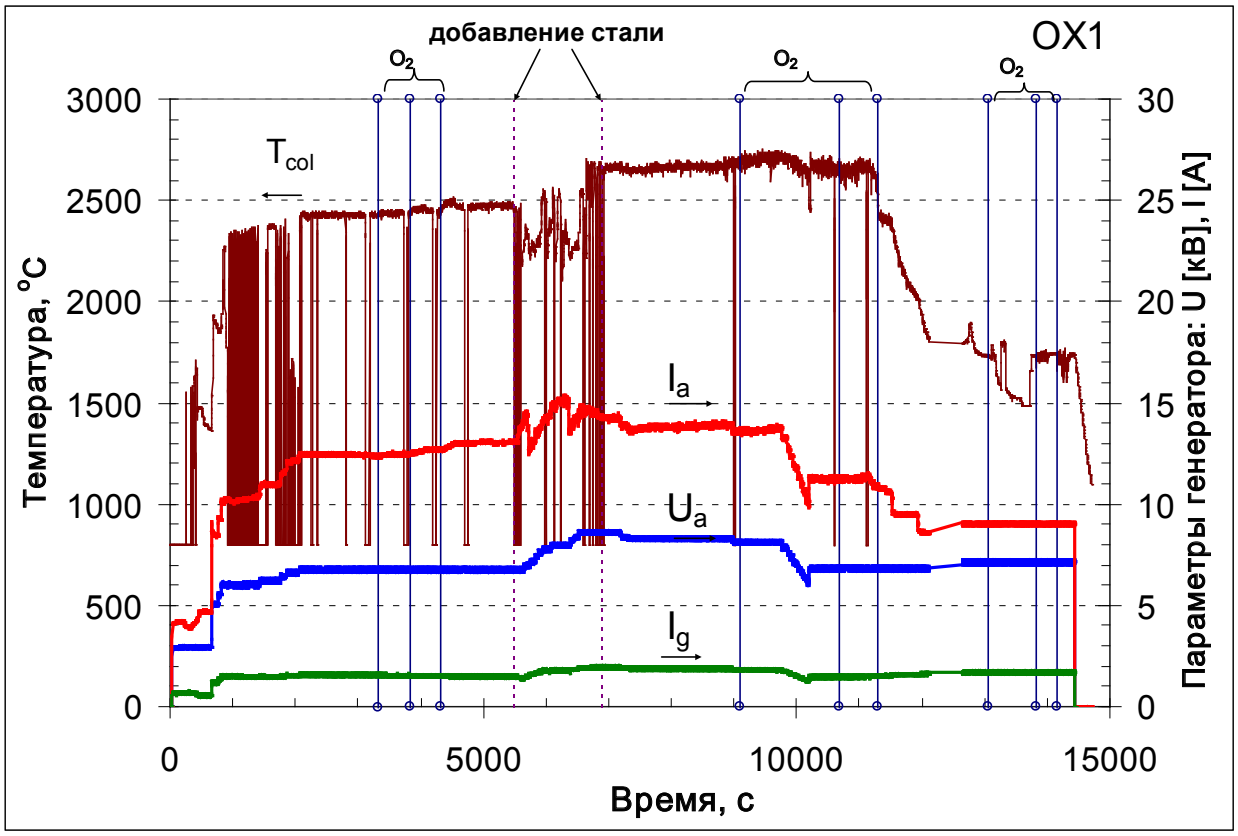


Рис. 5. Изменение во времени напряжения (U_a), анодного тока (I_a), тока сетки (I_g) и показаний пирометра (T_{col}) в эксперименте OX1

Стадия 1. С 3322 секунды с целью окисления субокисленного расплава начали подавать в печь аргоно-кислородную смесь с общим расходом 10 л/мин и с содержанием кислорода 20 об.%. На 3700 с прекратили подачу аргонокислородной смеси и перешли на

аргон. Затем на 3730 с отобрали пробу № 2. Температура поверхности расплава при этом составила ≈ 2430 °С.

С 3840 с начали подавать в печь аргоно-кислородную смесь с общим расходом 10 л/мин и с содержанием кислорода 40 об.%. На 4070 с подача аргоно-кислородной смеси была прекращена и в печь снова начали подавать аргон. На 4190 с отобрали пробу № 3. Температура поверхности расплава при этом составила ≈ 2450 °С.

С 4325 с начали подавать в печь аргоно-кислородную смесь с общим расходом 8.33 л/мин и содержанием кислорода 60 об.%. На 4539 с прекратили подачу аргоно-кислородной смеси, перешли на Ar с общим расходом 10 л/мин и на 4690 с отобрали пробу № 4. Температура поверхности расплава при этом составила ≈ 2480 °С.

Стадия 2. На 5416 с произвели замену фильтра средней площади (ФСП № 2).

С 5480 по 6908 с на поверхность ванны с целью окисления субокисленного расплава произвели ввод нержавеющей стали (общей массой 884.56 г) в виде шестигранных призм с высотой 38…41 мм тринадцатью порциями. При этом наблюдали плавление и перемещение слоя расплава стали на поверхность ванны расплава. Температура поверхности ванны расплава составила ≈ 2670 °С.

После ввода последней порции стали произвели получасовую выдержку.

На 8350 с произвели замену фильтра средней площади (ФСП № 3), и в связи с падением давления на выходе из печи, прочистили общую газовую магистраль. На 8991 с произвели отбор пробы расплава № 5.

С 9100 с начали подавать в печь аргоно-кислородную смесь с общим расходом 10 л/мин и с содержанием кислорода 20 об.%. С 9775 по 10120 с для выявления влияния температуры поверхности расплава на скорость поглощения кислорода снизили температуру расплава посредством уменьшения мощности, вводимой в расплав. На 10500 с прекратили подачу аргоно-кислородной смеси и перешли на подачу аргона. На 10603 с отобрали пробу № 6. Температура поверхности расплава составила ≈ 2690 °С.

С 10690 с начали подавать в печь аргоно-кислородную смесь с общим расходом 10 л/мин и с содержанием кислорода 40 об.%. На 10928 с прекратили подачу аргоно-кислородной смеси, перешли на подачу аргона. На 11124 с отобрали пробу № 7. Температура поверхности расплава составила ≈ 2670 °С.

Стадия 3. Затем, с 11164 с, путем перемещения водоохлаждаемого электромагнитного экрана относительно тигля и тигля относительно индуктора, начали формировать на поверхности оксидно-металлического расплава оксидную корку, а с 11290 с дополнительно начали подавать в печь аргоно-кислородную смесь с общим расходом 10 л/мин и с содержанием кислорода 2 об.%.

После того, как на поверхности оксидно-металлического расплава была сформирована оксидная корка, с 13050 с по 13570 с в печь подали аргоно-кислородную смесь с общим расходом 10 л/мин и с содержанием кислорода 20 об.%. С 13830 с по 13980 с в печь подавали аргоно-кислородную смесь с общим расходом 10 л/мин и с содержанием кислорода 30 об.%, а с 14150 с по 14290 с — с содержанием O_2 40 об.%.

На 14442 с отключили ВЧ-нагрев. Охлаждение расплава и его полную кристаллизацию провели в атмосфере аргона.

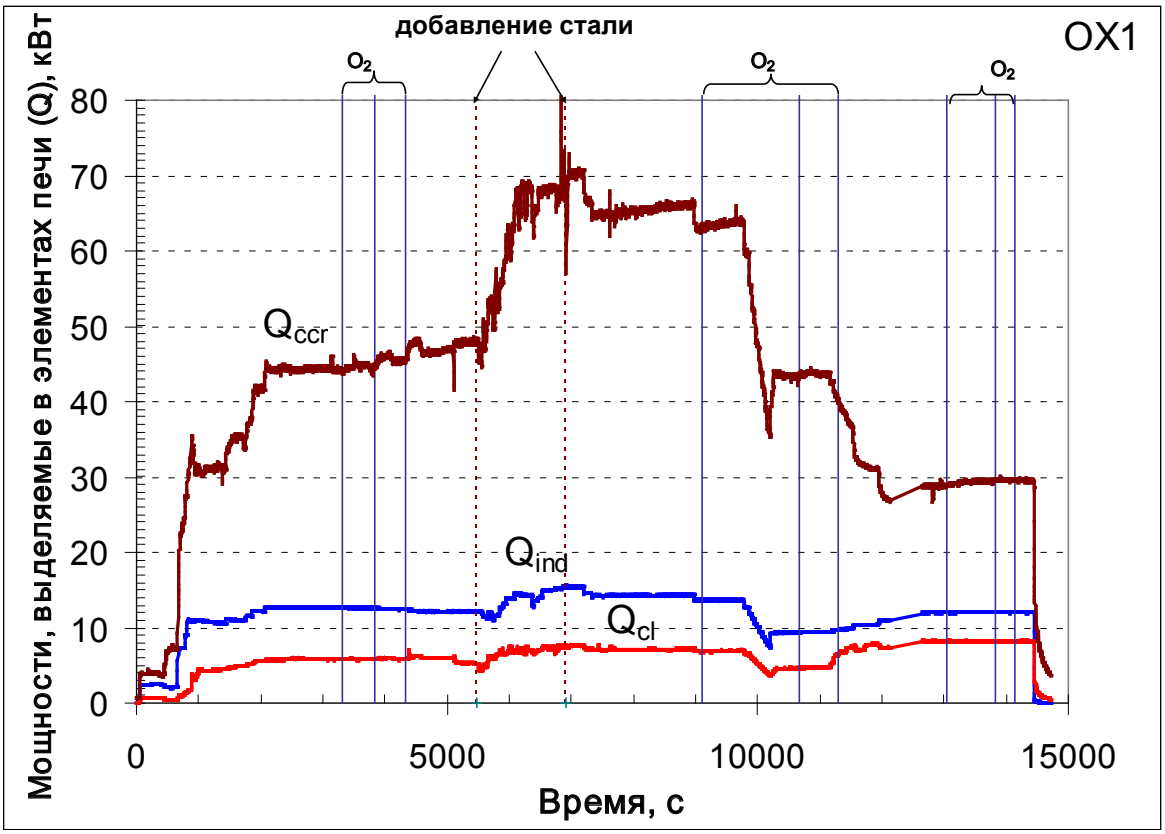


Рис. 6. Изменение во времени мощностей, отводимых от тигля (Q_{ccr}), индуктора (Q_{ind}) и донного калориметра (Q_{cl}) в OX1

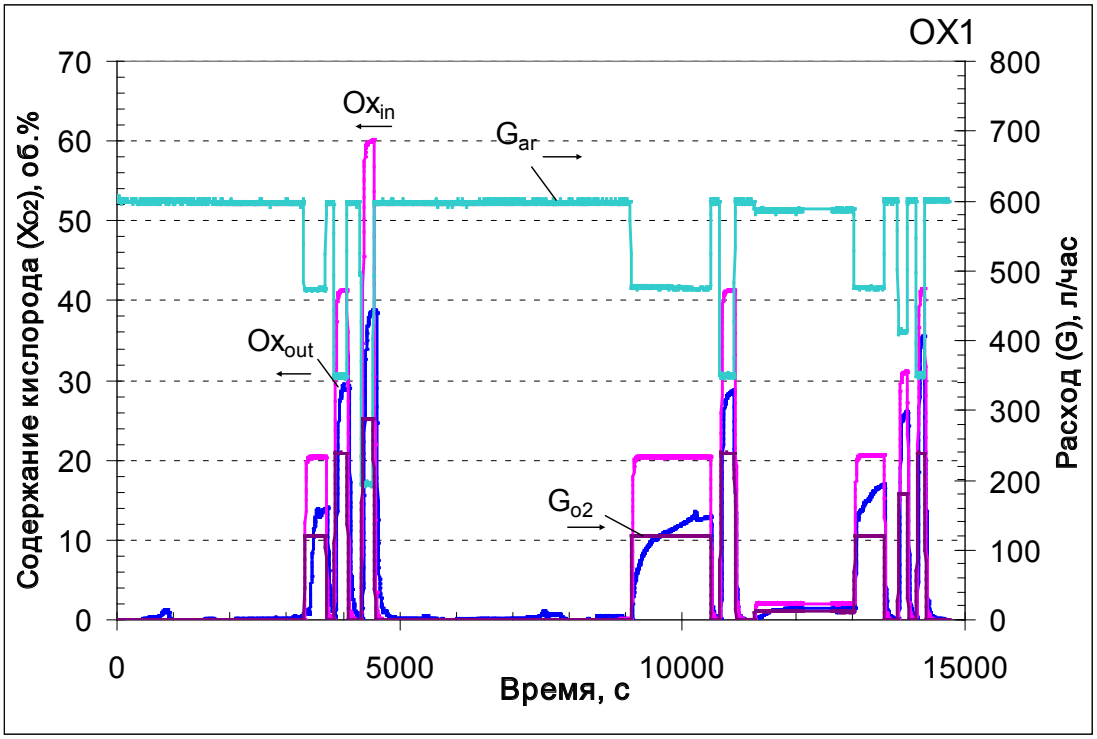
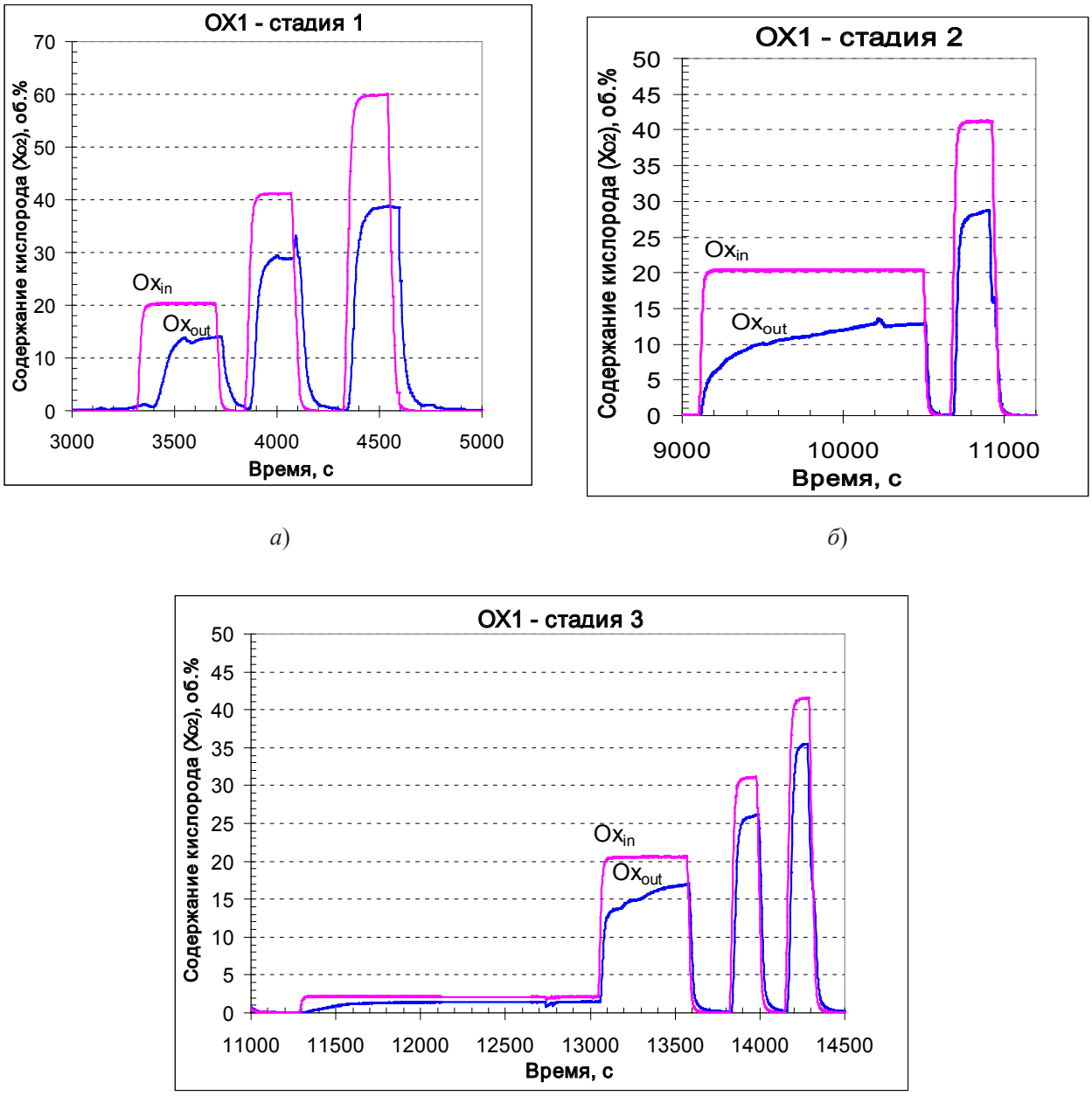


Рис. 7. Изменение во времени расхода подачи газа в печь G_{ar} (Ar), G_{o2} (O_2) и показаний датчиков кислорода на входе (Ox_{in}) и на выходе (Ox_{out}) из печи в OX1



а) *б*) *в*)

Рис. 8. Изменение во времени показаний датчиков кислорода на входе (Ox_{in}) и на выходе (Ox_{out}) из печи на стадиях 1 (*а*), 2 (*б*) и 3 (*в*) эксперимента OX1

Пост-тест анализ макроструктуры слитка эксперимента OX1

Вид слитка в тигле представлен на рис. 9. Стрелкой показана поверхностная оксидная корка. На рис. 10 представлено осевое сечение слитка, предварительно залитого для фиксации составляющих его частей эпоксидной смолой. Оксидная часть слитка занимает донное положение. Над ней расположена металлическая составляющая. На верхней поверхности металла расположена оксидная корка, имеющая толщину 6…8 мм. На разрезе также виден гарнисаж между донным калориметром и слитком кориума, имеющий толщину менее 1 мм. Таким образом, можно констатировать, что в эксперименте были реализованы структуры расплава, схематично показанные на рис. 4.

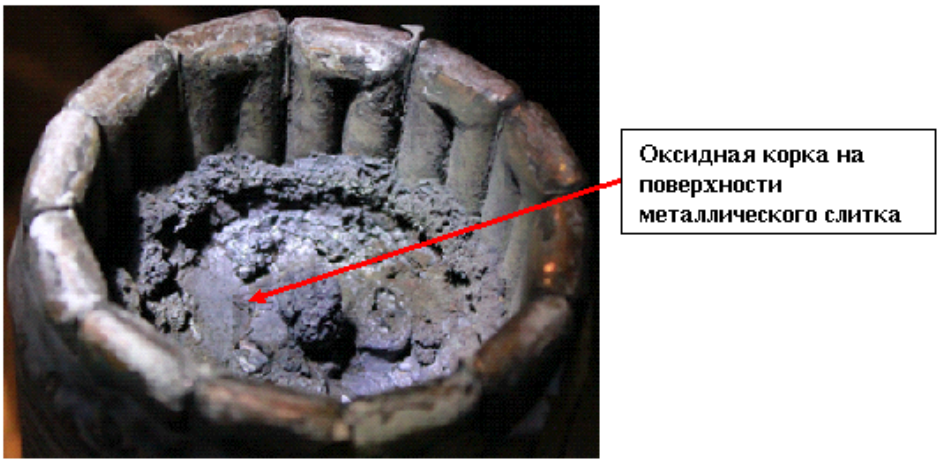


Рис. 9. Вид поверхности слитка в тигле после эксперимента ОХ1

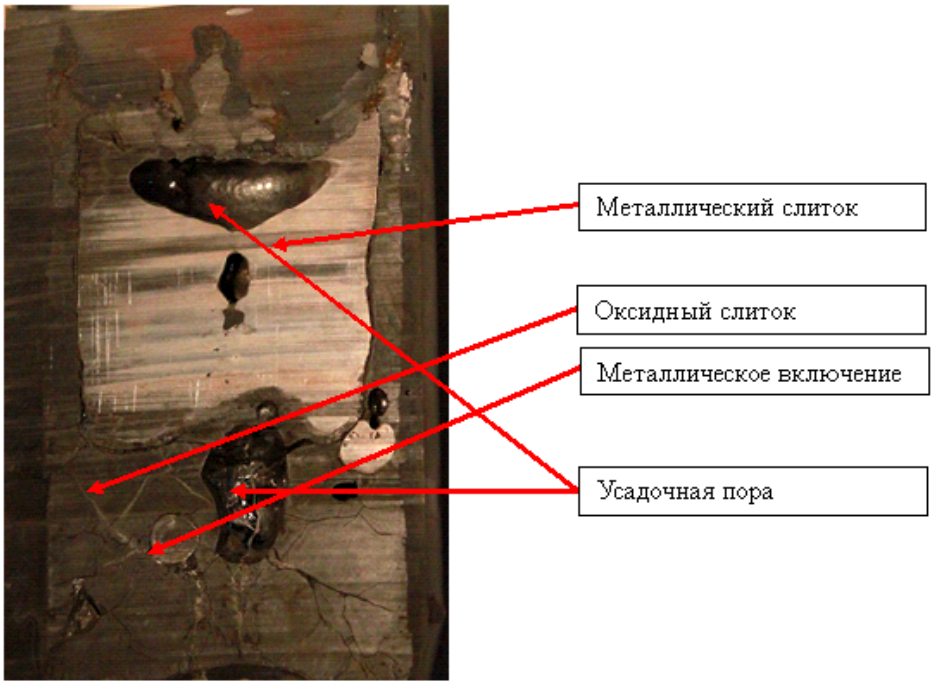


Рис. 10. Осевой разрез слитка из эксперимента ОХ1

Кинетика окисления расплава

Для корректной оценки скорости поглощения кислорода расплавом необходимо учесть систематическую погрешность, связанную с транспортным запаздыванием печных газов на пути от печи до выходного датчика кислорода. Учет этого фактора можно произвести простым сдвигом кривой, соответствующей концентрации кислорода на выходе из печи, влево вдоль оси абсцисс на величину транспортного запаздывания. При обработке данных, полученных в ходе эксперимента ОХ1, была определена величина транспортного запаздывания в этом опыте, равная 19 (±1) с. Данная величина была учтена при обработке результатов по кинетике окисления, хотя при большом времени экспозиции системы в окислительных условиях (много больше величины транспортного запаздывания), как в настоящем опыте, наличие или отсутствие сдвижки выходных параметров газовой смеси не вносит какой бы то ни было значимой погрешности в величину поглощенного кислорода.

На рис. 11÷13 приведены изменения в ходе трех стадий окисления, первой, второй и третьей, соответственно: содержание кислорода на входе в печь (кривые 1), содержание кислорода в печных газах (кривые 2), расчетное количество поглощенного кислорода нарастающим итогом (кривые 3) и линейные интерполяции количества поглощенного кислорода на установившихся или близких к ним участках (прямые 4, 5, 6 и 7).

Расчёт количества кислорода, поглощённого расплавом и оксидной коркой, производился на основании экспериментальных данных (рис. 11÷13) по формуле:

$$N_{O_2}(t) = \frac{P}{RT}\int_{t_0}^{t} Q(t')\cdot\frac{\left(X_{O_2,\mathrm{inp}}(t') - X_{O_2,\mathrm{out}}(t')\right)}{\left(100 - X_{O_2,\mathrm{out}}(t')\right)}\,dt', \qquad (1)$$

где $N_{O_2}(t)$ — количество молей поглощённого O_2 на момент времени t, измеряемого в секундах; t_0 — время начала окисления, с; $Q(t')$ — актуальный объёмный расход аргоно-кислородной смеси, м³/с; $X_{O_2,\mathrm{inp}}(t'), X_{O_2,\mathrm{out}}(t')$ — актуальное содержание кислорода в подаваемой в печь газовой смеси и в отходящих печных газах, соответственно, об.%; P — давление печных газов (приблизительно постоянно), Па; T — температура поверхности расплава (приблизительно постоянна), К; R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К).

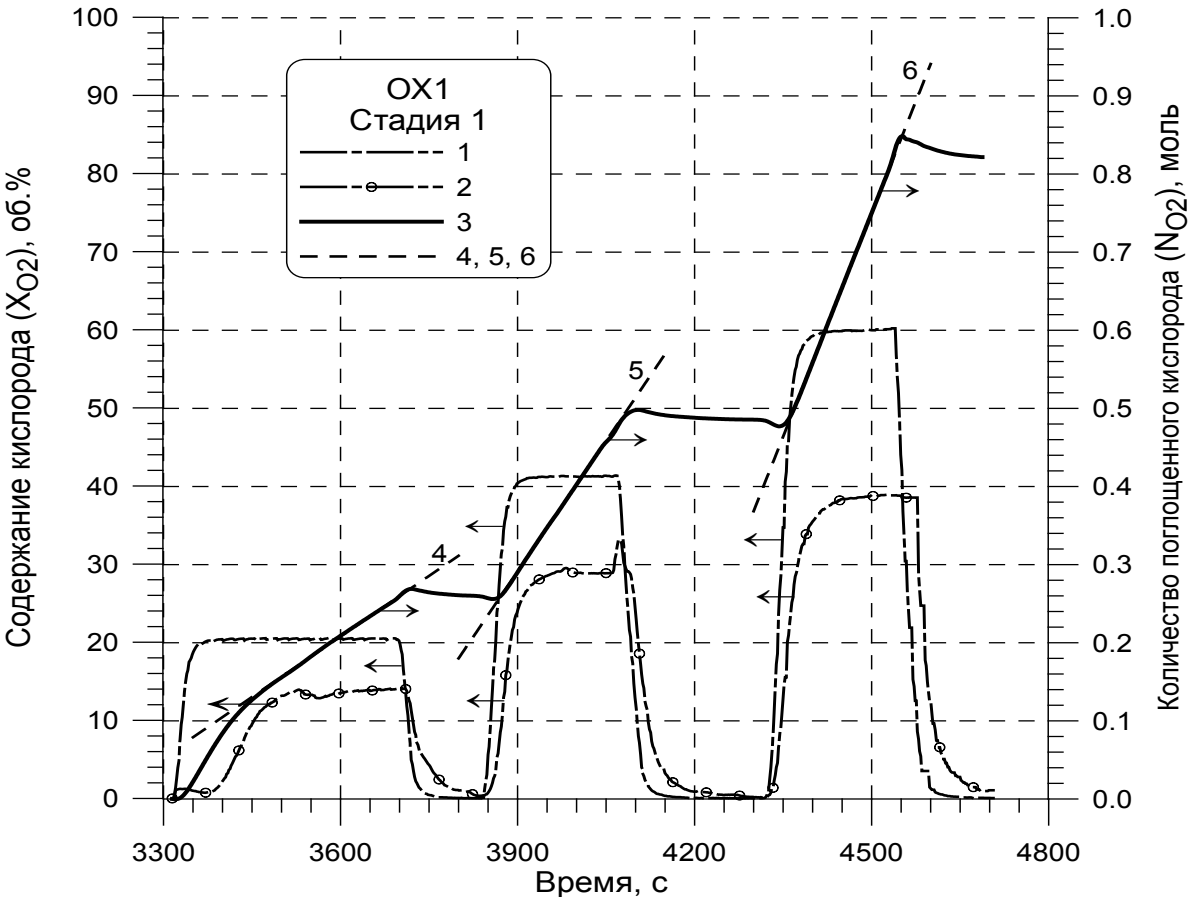


Рис. 11. Содержание кислорода на входе/выходе печи и кинетика его поглощения расплавом на 1-й стадии эксперимента:

1, *2* — содержание кислорода: *1* — в подаваемой в печь аргонокислородной смеси, *2* — в печных газах, *3÷6* — поглощенный кислород: *3* — расчет по (1), *4÷6* — линейные интерполяции

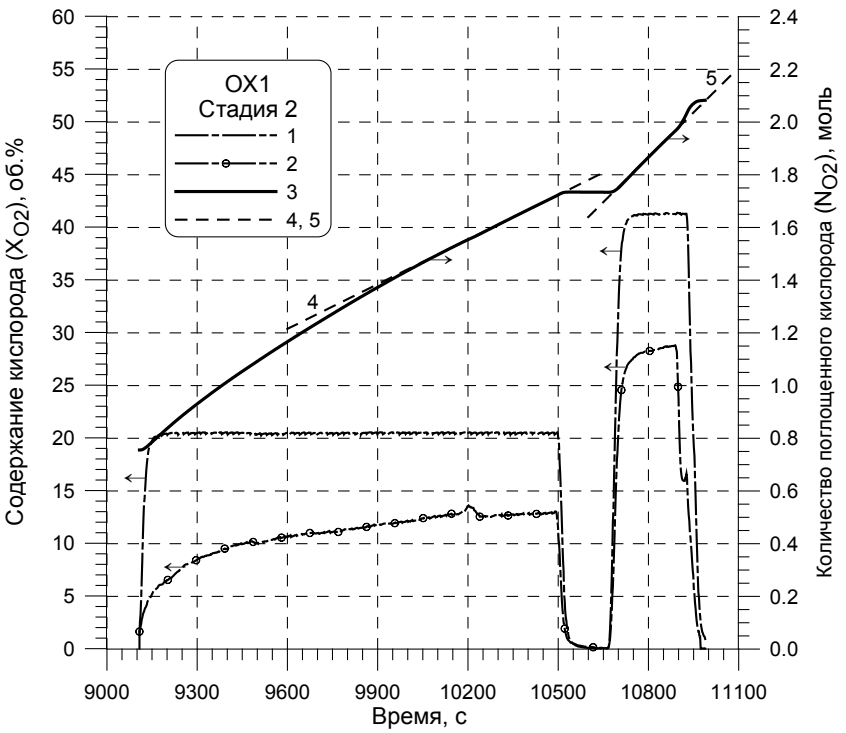


Рис. 12. Содержание кислорода на входе/выходе печи и кинетика его поглощения расплавом на 2-й стадии эксперимента:

1, *2* — содержание кислорода: *1* — в подаваемой в печь аргонокислородной смеси, *2* — в печных газах, *3*÷*5* — поглощенный кислород: *3* — расчет по (1), *4*, *5* — линейные интерполяции

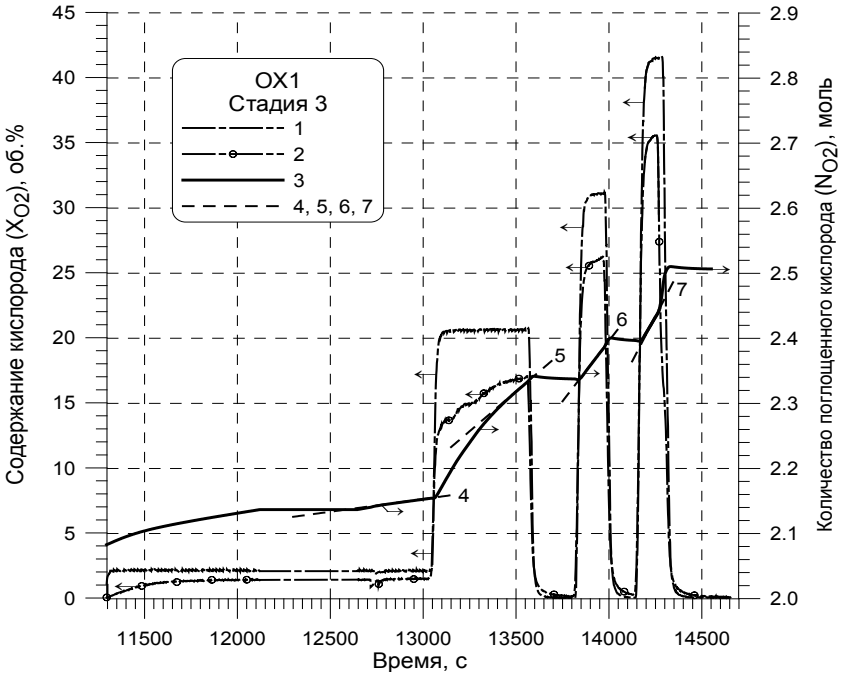


Рис. 13. Содержание кислорода на входе/выходе печи и кинетика его поглощения расплавом на 3-й стадии эксперимента:

1, *2* — содержание кислорода: *1* — в подаваемой в печь аргонокислородной смеси, *2* — в печных газах, *3*÷*7* — поглощенный кислород: *3* — расчет по (1), *4*÷*7* — линейные интерполяции

Актуальный индекс окисленности системы $c_n(t)$ можно рассчитать по формуле:

$$C_n(t) = \frac{N^{(0)}_{\mathrm{Zr\ in\ ZrO_2}} + N_{\mathrm{O_2}}(t)}{N_{\mathrm{Zr},\Sigma}} \cdot 100\%, \qquad (2)$$

где

$N^{(0)}_{\mathrm{Zr\ in\ ZrO_2}}$ — начальное количество молей циркония в оксиде циркония загрузки,

$N_{\mathrm{Zr},\Sigma}$ — полное количество молей циркония в загрузке.

Полученные в ходе обработки данных газового анализа значения скорости поглощения кислорода расплавом в установившемся режиме для всех трех стадий эксперимента приведены в табл. 2. Зависимость скорости поглощения кислорода от его содержания в подаваемой в печь аргоно-кислородной смеси показана на рис. 14. Из результатов, приведенных в табл. 2 и на рис. 14, видно, что скорость окисления расплава при отсутствии оксидной корки на его поверхности не зависит от структуры ванны расплава (наличия или отсутствия слоя расплавленного металла). Данный факт находится в полном соответствии с выводами работы [2], в которой доказано, что окисление расплава кориума при отсутствии корки на его поверхности происходит в режиме голодания по окислителю, когда его подвод к поверхности определяется условиями атмосферы над расплавом: геометрией газового объема, схемой подачи окислителя, его свойствами и т. п.

Таблица 2

Скорость поглощения кислорода расплавом

Стадия	Содержание кислорода в аргоно-кислородной смеси на входе в печь, об.%	Удельная скорость поглощения кислорода, ммоль/(м^{2}с)
1	20.2	134
	40.8	289
	59.7	496
2	20.3	147
	41.2	295
3	2.1	10.2
	20.6	63.7
	31.0	96.6
	41.4	144

Из представленных результатов также ясно видно, что наличие оксидной корки на расплаве, во-первых, приводит к заметному снижению скорости поглощения окислителя, во-вторых, сохраняется очевидная пропорциональная зависимость скорости окисления от концентрации кислорода в газовой смеси, подаваемой в печь. Эти два факта в совокупности свидетельствуют о том, что процесс окисления по-прежнему находится в режиме голодания по окислителю, но контролируется (лимитируется) уже не условиями газовой атмосферы над расплавом, а диффузией кислорода через оксидную корку.

В соответствии с результатами газового анализа, за первую стадию окисления расплавом было поглощено 0.76 моль кислорода (O_2). За это же время окисления индекс окисленности всей системы (c_n) изменился с 30.8 до 45.2. За вторую стадию окисления расплавом было поглощено 1.33 моль O_2. За это же время окисления индекс окисленности всей системы изменился с 45.2 до 70.6. За последнюю, третью, стадию окисления расплавом было поглощено 0.42 моль O_2. А индекс окисленности изменился с 70.6 до 78.7. Таким образом,

согласно данным газового анализа, за все время окисления расплавом было поглощено 2.51 моль O_2.

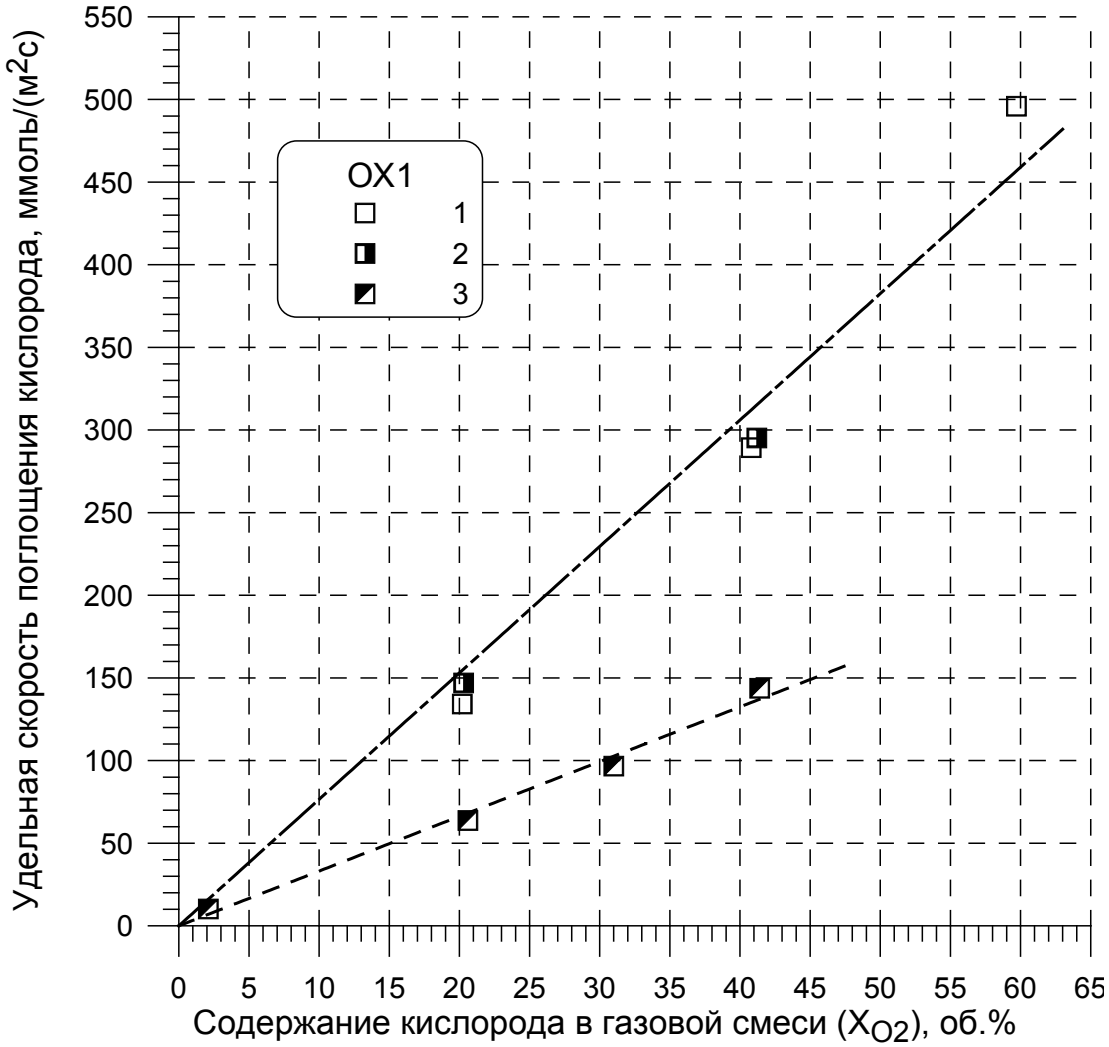


Рис. 14. Зависимость удельной скорости поглощения кислорода от его содержания в подаваемой в печь аргоно-кислородной смеси:

1 — стадия 1 (субокисленный расплав, отсутствие оксидной корки на его поверхности),
2 — стадия 2 (двухжидкостной расплав, отсутствие оксидной корки на его поверхности),
3 — стадия 3 (двухжидкостной расплав, наличие оксидной корки на его поверхности)

Необходимо также отметить, что проведенное на 2-й стадии исследование влияния температуры расплава на кинетику окисления не выявило сколь-нибудь существенного влияния этого параметра в пределах его изменения в ходе этой экспериментальной проверки.

Заключение

1. Получены новые экспериментальные количественные данные по кинетике окисления одно- и двухжидкостного расплава при отсутствии и при наличии поверхностной оксидной корки.

2. При отсутствии оксидной корки на поверхности расплава его окисление происходит в режиме голодания по окислителю, не зависящем от структуры ванны расплава (отсутствия или наличия слоя расплавленного металла и его расположения), но, как доказано в более

ранних работах [2, 3], полностью определяемом условиями атмосферы над расплавом: геометрией газового объема, схемой подачи окислителя, его свойствами и т. п.

3. При наличии оксидной корки на поверхности расплава его окисление происходит по-прежнему в режиме голодания по окислителю, но контролируется, лимитируется диффузией кислорода через оксидную корку и, соответственно, зависящей от ее свойств. В силу сохранения режима голодания по окислителю и в этом случае структура жидкой ванны, т. е. взаимное расположение субокисленного и металлического слоев, не сказывается на кинетике окисления расплава.

4. Температура поверхности расплава в пределах ее изменения в эксперименте при отсутствии поверхностной оксидной корки не влияет на кинетику окисления.

5. Несмотря на то, что данные экспериментальные результаты получены на маломасштабной установке, они применимы как для разработки компьютерных алгоритмов поведения расплава в кодах, относящихся к внутрикорпусному удержанию кориума при тяжелых авариях, так и для верификации данных кодов.

Литература

1. Molten Corium Stratification and Component Partitioning / V. G. Asmolov [et al.] // OECD/NEA MASCA2 Seminar 2007. Cadarache, France, 2007. Paper 2.1.
2. Oxidation kinetics of corium pool / A. A. Sulatsky [et al.] // Nuclear Engineering and Design, 2013. V. 262. P. 168–179.
3. Oxidation effects during corium melt in-vessel retention / V. I. Almjashev [et al.] // Nuclear Engineering and Design. 2016. V. 305. P. 389–399.