

**Скорость и время оседания частиц двуокиси урана в расплавленной стали**

Диаметр частиц, мкм	Скорость оседания, мм/сек	Время оседания частиц в капле стали диаметром *			
		3 мм	5 мм	7 мм	10 мм
40	$5,1 \cdot 10^{-2}$	58,8	98,0	139,3	196,0
60	1,8	1,7	2,8	4,0	5,6
100	5,1	0,6	1,0	1,4	2,0
1000	95,0	$\ll 1$	$\ll 1$	$\ll 1$	0,1
2000	190,0	$\ll 1$	$\ll 1$	$\ll 1$	$\ll 1$

\* Время оседания частиц выражено в секундах.

где  $r$  — радиус частицы, см;  $\eta$  — вязкость среды в пузах ( $г \cdot см^{-1} \cdot сек^{-1}$ );  $D, D'$  — плотности материалов частицы и жидкости,  $г/см^3$ ;  $g$  — ускорение силы тяжести,  $см \cdot сек^{-2}$ .

Вычислив по уравнениям (1), (2) скорости оседания частиц, определим время, необходимое для их выхода на поверхность капли расплавленной стали. При расчете принималось: плотность двуокиси урана  $10,95 г/см^3$  [9], плотность стали при  $1500^\circ C$   $7,10 г/см^3$  [10—12]; вязкость среды  $4,1 \cdot 10^{-2}$  пз определяли из уравнения  $\eta = \nu D$ , где  $\nu$  — кинематическая вязкость стали ЭЯЗС [13], равная  $4,1 \cdot 10^{-2}$  пз.

В таблице приведены вычисленные значения скорости и времени оседания частиц двуокиси урана различных размеров в каплях жидкой стали. Из таблицы следует, что частицы диаметром 400 мкм выходят на поверхность капли стали за 1—2 сек, а частицы более 1000 мкм — за доли секунды. И только для частиц диаметром 10 мкм время оседания больше минуты. Если учитывать высокий эффект спекания частиц диаметром менее 100 мкм и большое поверхностное натяжение расплавленной стали, вероятность попадания мелких частиц в слиток весьма незначительна. Кроме того, потери горючего, а следовательно, и активность стали определяются захватом крупных

частиц горючего. В то же время разность плотностей горючего и среды обуславливает выход из стали более крупных частиц и обеспечивает высокую степень разделения стали и горючего.

Проведенные расчеты подтверждают сделанный ранее [14] вывод о том, что процесс разделения может быть успешно осуществлен в самой капле стали, так как за время формирования последней возможно осуществление непрерывного бестигельного процесса вскрытия твэлов термическим путем.

Поступило в Редакцию 26/IV 1973 г.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- Новоселов Г. П., Агеенков А. Т. XXXVI Международный конгресс по промышленной химии (Брюссель, 1966), доклад № 11/755 (СССР).
- Верятин У. Д. и др. «Атомная энергия», 1971, т. 31, с. 375.
- Новоселов Г. П., Агеенков А. Т. «Атомная энергия», 1969, т. 26, с. 232.
- Доброхотов Н. Н., Прохоренко К. К. «Сталь», 1961, № 11, с. 997.
- Горохов Л. С. и др. «Сталь», 1964, № 7, с. 604, 605.
- Гуревич Ю. Г. «Изв. вузов. Черная металлургия», 1969, т. 6, с. 27.
- Хлынов В. В., Ишимов В. И. «Изв. вузов. Черная металлургия», 1970, т. 10, с. 10.
- Фигуровский Н. А. Седиментометрический анализ. М., Изд-во АН СССР, 1948, с. 45—51.
- Шевченко В. Б., Судариков Б. Н. Технология урана, М., Госатомиздат, 1961, с. 35.
- Гудремон Э. Специальные стали. М., «Металлургия», 1966, с. 105.
- Эллиот Д. Ф. и др. Термохимия сталеплавильных процессов. М., «Металлургия», 1969, с. 225.
- Царевский Б. В., Попель С. И., Дожиков Б. Ф. Влияние молибдена и хрома на поверхностные свойства и плотности железа. Нальчик, Кабардино-Балкарское книжное изд-во, 1969, с. 319.
- Швидковский Е. Г. Некоторые вопросы вязкости расплавленных металлов. М., Гостехтеориздат, 1955, с. 107.
- Новоселов Г. П. II Симпозиум СЭВ «Исследование в области переработки облученного топлива» (Марианске-Лазне, ЧССР, 1971). Прага, изд. СЭВ, 1972, т. 1, с. 304.

**Термическое вскрытие окисных твэлов с отделением стали от ядерного горючего фильтрацией**

НОВОСЕЛОВ Г. П., АГЕЕНКОВ А. Т., САВЕЛЬЕВ В. Ф., БИБИКОВ С. Е.

УДК 621.039.5

Степень отделения ядерного горючего от стали при использовании термического способа вскрытия твэлов [1, 2] зависит от физико-химических свойств расплавленной стали, ядерного горючего, а также от конструкции аппарата. В настоящей работе предпринята попытка установить некоторые закономерности эффективности отделения стали.

Эксперименты проводили в печи сопротивления с графитовым нагревателем (рис. 1). Внутри нагревателя установлены тигель с отверстиями в дне и подвижная изложница с подставкой-экраном из окиси магния. Для перемещения изложницы по вертикали предназна-

чен механизм, состоящий из опорного винта, штока и сильфона, обеспечивающего герметичность печи при фильтрации. Дно изложницы в верхнем положении закрывает фильтрующие отверстия тигля. При фильтрации изложница опускается и расплавленная сталь из тигля стекает в изложницу.

В опытах использовались твэлы в виде трубок из стали X16N16M2B длиной 300 мм и диаметром 6 мм, заполненных брикетами спеченной двуокиси урана; каждая сборка состояла из 12—15 твэлов. Сборки загружались в тигель, печь вакуумировалась [ $p = (1 \div 5) \cdot 10^{-2}$  мм рт. ст.] и нагревалась со скоростью

Эффективность отделения горючего от стали

Номер опыта	Загружено		Отношение сталь-горючее	Выгружено		Содержание стали в горючем, %
	горючее, г	сталь, г		смесь горючего со сталью, г	слиток стали, г	
1	528,3	452,2	0,86	590,8	389,7	10,6
2	660,0	523,0	0,79	707,0	476,0	6,6
3	574,0	487,0	0,85	602,5	458,5	4,7
4	621,0	507,0	0,82	648,1	479,9	4,2
5	660,5	751,2	1,14	684,6	727,1	3,5
6	480,8	590,9	1,23	494,3	577,4	2,7
7	517,8	655,7	1,27	536,2	637,3	3,4
8	401,2	596,1	1,48	407,8	589,5	1,6
9	270,0	395,0	1,46	271,2	393,8	0,5
10	300,0	800,0	2,67	301,5	789,5	0,5

10—20 град/мин до температуры 1450—1550° С, которую измеряли оптическим пиrometerом ОПШИР-09.

В первых опытах изложница находилась в нижнем положении, что позволяло стали при расплавлении стекать в нее через каналы между брикетами и отверстия в дне тигля. Из таблицы видно, что часть стали (опыты № 1, 2) оставалась на брикетах в виде отдельных капель. Вес таких включений колебался от 0,5

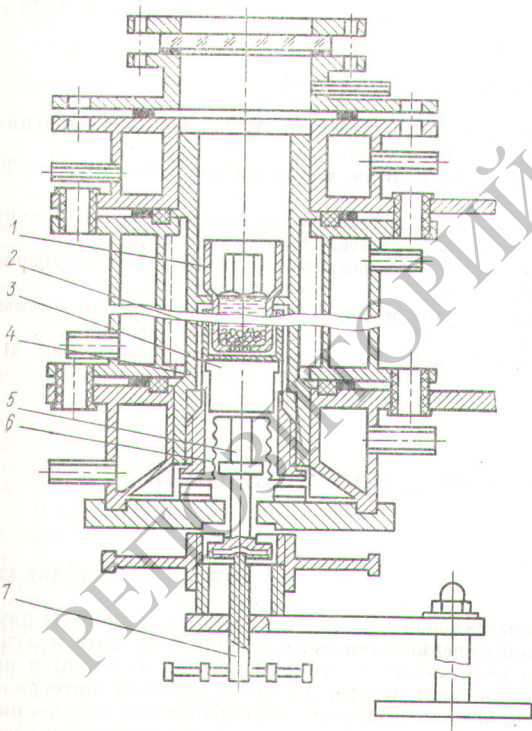


Рис. 1. Высокотемпературная печь сопротивления:

1 — тигель; 2 — подвижная изложница; 3 — подставка-экран; 4 — графитовый нагреватель; 5 — шток; 6 — сифон; 7 — опорный винт.

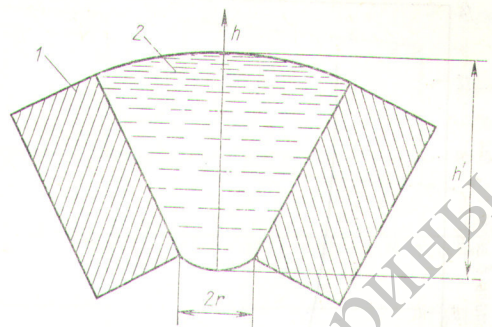


Рис. 2. Схема ячейки с зависшей каплей: 1 — брикеты двуокиси урана; 2 — капля стали.

до 10 г, причем наиболее крупные включения обнаружены в верхних слоях горючего. Это объясняется, вероятно, тем, что при плавении в каналах между брикетами расплавленная сталь образует мениски (рис. 2). Поверхностное натяжение препятствует ее стеканию. При этом давление столба расплавленной стали  $h$  уравнивается. Давление, создаваемое мениском расплавленной стали, определяется по формуле [3]:

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r\rho} \quad (1)$$

где  $h$  — давление, мм столба расплавленной стали;  $r$  — радиус канала между брикетами, см;  $\sigma$  — поверхностное натяжение расплавленной стали (1340—1750 дин/см [1]);  $\rho$  — плотность стали (при температуре 1500° С,  $\rho = 7,1 \text{ г/см}^3$  [4, 5]);  $\theta$  — угол смачивания сталью двуокиси урана (130—145° [1]).

На рис. 3 приведена зависимость давления мениска расплавленной стали  $h$  от величины диаметра отверстия  $2r$ , вычисленная по уравнению (1). Из графика видно, что давление мениска при фильтрующем отвер-

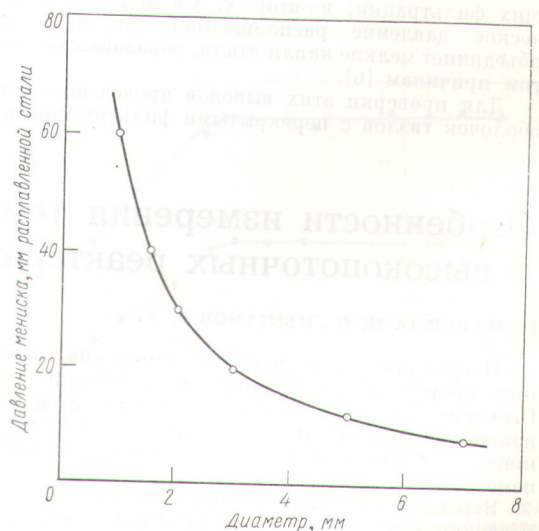


Рис. 3. Зависимость  $h$  от  $2r$ .

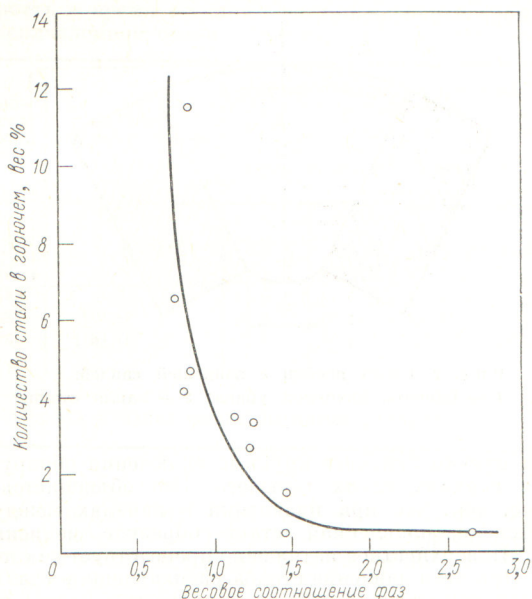


Рис. 4. Эффективность отделения горючего от стали в зависимости от соотношения сталь — горючее.

сти 1 мм уравнивает давление столба расплавленной стали высотой 55—60 мм. Это свидетельствует о том, что задерживающиеся в брикетах капли стали могут достигать больших размеров. Чем больше капель висает в брикетах, тем хуже расплавленная сталь отделяется от горючего. Следовательно, целесообразно создать единую жидкометаллическую ванну и затем отфильтровать расплавленную сталь. В этом случае легче преодолеть явления, препятствующие фильтрации стали, так как жидкометаллическая ванна, во-первых, сводит к минимуму число менисков, препятствующих фильтрации; во-вторых, увеличивает гидростатическое давление расплавленной стали; в-третьих, объединяет мелкие капли стали, образовавшиеся по другим причинам [6].

Для проверки этих выводов проведено оплавление оболочек твэлов с перекрытыми фильтрующими отвер-

стями (изложница в верхнем крайнем положении). В этом случае при плавлении сталь накапливалась в тигле, образуя жидкометаллическую ванну. После расплавления оболочек изложница опускалась в нижнее положение со скоростью 2—5 см/мин и сталь отфильтровывалась. Как видно из таблицы, создание жидкометаллической ванны снизило содержание стали в горючем с 10,6 до 4,4% (см. таблицу, опыты 3,4).

Полнота отделения стали растет с увеличением отношения сталь — горючее (см. таблицу, опыты 4—10). При возрастании этого отношения брикеты полнее погружаются в расплавленную сталь, что уменьшает возможность образования отдельных капель стали в горючем. При введении дополнительного количества стали и полном погружении брикетов в расплав отделение горючего от стали становится максимальным. На рис. 4 приведена зависимость эффективности отделения от различного отношения сталь — горючее. Видно, что содержание стали в брикетах уменьшалось от 10,6 до 0,5% при увеличении отношения сталь — горючее от 0,9 до 2,7.

Полученные результаты показывают, что создание жидкометаллической ванны и фильтрация расплавленной стали обеспечивают практически полное отделение горючего от стали. Если отношение сталь — горючее превышает 1,0—1,5, то кривая на графике рис. 4 меняет наклон и стремится к некоторому пределу. По-видимому, это свидетельствует о том, что давление мениска расплавленной стали — не единственная причина, препятствующая более полному отделению стали; чтобы доказать это, требуется дальнейшее изучение.

Поступило в Редакцию 3/V 1973 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новоселов Г. П., Агеенков А. Т. «Атомная энергия», 1969, т. 26, с. 230.
2. Агеенков А. Т. и др. «Атомная энергия», 1972, т. 32, с. 490.
3. Линчевский Б. Техника металлургического эксперимента. М., «Металлургия», 1967, с. 202.
4. Гудерман Э. Специальные стали. М., «Металлургия», 1966, с. 105.
5. Эллиот Д. Ф. и др. Термохимия сталеплавильных процессов. М., «Металлургия», 1969, с. 225.
6. Александров В. Л. Техническая гидромеханика. М., Физматгиз, 1946, с. 26.

## Особенности измерения температур с помощью термопар в высокоточных реакторах

МАРГИНА Н. В., ЦЫКАНОВ В. А.

УДК 621.039.553+537.324

Необходимость надежного измерения температур при проведении различных исследований очевидна. Особенно важное значение точность и надежность измерений имеют при внутриреакторных исследованиях. В настоящей работе обсуждаются особенности измерения температур в высокоточных реакторах.

В реакторе СМ-2 проведены эксперименты по определению отклонений в показаниях микротермопар обычных промышленных градуировок при работе их в полях реакторных излучений. Как известно [1, 2],

в термопарах под облучением возникают эффекты двух типов: мгновенные (вызванные ионизирующим излучением и исчезающие с прекращением облучения) и интегральные (накапливающиеся с набором интегральной дозы и не исчезающие с прекращением облучения).

Наиболее важным результатом исследований в реакторе СМ-2 является экспериментальное обнаружение мгновенных эффектов. Это связано, во-первых, с тем, что принятыми ранее методами (исследования после набора интегральной дозы) в обычных облучательных