

проволоки и усреднения расплавленной добавки в объеме металла в ковше в зависимости от скорости ввода проволоки, температуры расплава, марки стали, толщины слоя (объема) и состава шлака, а также интенсивности продувки металла аргоном приведены в таблицах 1-3.

В расчетах принята следующая точность определения содержания элементов в стали:

- углерода – 0,02 %;
- алюминия – 0,004 %;
- кальция – 0,0012 %.

Из представленных в таблицах 1–3 расчетных данных следует, что лимитирующим звеном процесса усвоения рассмотренных порошковых наполнителей и алюминиевой проволоки, как и для кусковых добавок, является усреднение. На усреднение приходится более 90 % продолжительности процесса усвоения добавки.

Определено существенное влияние скорости ввода проволоки в расплав и интенсивности продувки

металла аргоном на продолжительность процесса усвоения прутковых добавок.

Изменение скорости ввода порошковой проволоки с 2 до 5 м/с и алюминиевой проволоки с 3 до 9 м/с (при аналогичной температуре расплава) обеспечивает уменьшение времени усвоения добавок (независимо от вида материала) в 1,5–3 раза. Увеличение интенсивности продувки расплава с 50 до 600 л/мин также (но менее значительно) сокращает длительность усвоения добавок в 1,2–1,8 раза.

В то же время показано, что увеличение температуры расплава в исследованных пределах (1580–1620<sup>0</sup>С – для стали 17Г1С и 1530–1570<sup>0</sup>С – для стали 85Г) незначительно (на 15–30 %) сокращает длительность усвоения добавки (независимо от вида материала).

Установлено (табл. 2) влияние массы и вида покровного шлака в ковше на продолжительность усвоения добавки (науглероживателя).

**Таблица 1. Продолжительность усвоения силикокальция из порошковой проволоки. Сталь 17Г1С. Масса синтетического рафинирующего шлака – 1,3 т. Расход аргона – 50 л/мин**

Температура металла, <sup>0</sup> С	Скорость ввода, м/с	Продолжительность плавления, с	Продолжительность усреднения, с	Продолжительность усвоения, мин
1580	2	4,8	275	≅4,7
	3	4,2	225	≅3,8
	4	3,5	183	≅3,1
	5	2,5	85	≅1,5
1600	2	4,1	250	≅4,3
	3	3,6	210	≅3,6
	4	3,1	156	≅2,7
	5	2,1	72	≅1,2
1620	2	3,9	230	≅3,9
	3	3,0	176	≅3,0
	4	2,5	125	≅2,1
	5	1,8	58	≅1,0

**Таблица 2. Продолжительность усвоения науглероживателя из порошковой проволоки**

Сталь 17Г1С Масса синтетического рафинирующего шлака – 1,3 тонны					Сталь 85Г Масса покровного шлака – 0,3 тонны				
Расход аргона – 50 л/мин									
Температура металла, <sup>0</sup> С	Скорость ввода, м/с	Продолжительность плавления, с	Продолжительность усреднения, с	Продолжительность усвоения, мин	Температура металла, <sup>0</sup> С	Скорость ввода, м/с	Продолжительность плавления, с	Продолжительность усреднения, с	Продолжительность усвоения, мин
1580	2	3,8	203	≅3,5	1530	2	5,1	262	≅4,5
	3	3,0	174	≅3,0		3	4,1	217	≅3,7
	4	2,8	151	≅2,6		4	3,5	171	≅2,9
	5	2,2	68	≅1,1		5	2,8	143	≅2,4
1600	2	3,3	181	≅3,1	1550	2	4,5	221	≅3,8
	3	2,5	152	≅2,6		3	3,2	182	≅3,1
	4	2,3	132	≅2,2		4	2,9	156	≅2,7
	5	1,9	61	≅1,05		5	2,4	138	≅2,3
1620	2	3,0	177	≅3,0	1570	2	4,2	214	≅3,6
	3	2,2	146	≅2,5		3	3,0	169	≅2,9
	4	2,0	130	≅2,2		4	2,6	135	≅2,3
	5	1,8	59	≅1,0		5	2,2	118	≅2,0



Необходимо отметить (табл. 3), что увеличение скорости ввода алюминиевой проволоки в указанном диапазоне уменьшает продолжительность усвоения алюминия расплавом в 1,5–1,6 раза, т.е. не настолько

существенно, в сравнении с силикокальцием и науглероживателем. Это объясняется, вероятно, различными теплофизическими свойствами алюминия, силикокальция и графита.

**Таблица 3. Продолжительность усвоения алюминия из проволоки. Сталь 17Г1С. Масса синтетического рафинирующего шлака – 1,3 тонны. Расход аргона – 50 л/мин**

Температура металла, °С	Скорость ввода проволоки, м/с	Продолжительность плавления, с	Продолжительность усреднения, с	Продолжительность усвоения, мин
1580	3	3,67	209	≈3,5
	5	2,25	198	≈3,3
	7	1,46	161	≈2,7
	9	1,07	142	≈2,4
1600	3	1,95	196	≈3,3
	5	1,25	171	≈2,9
	7	0,95	143	≈2,4
	9	0,67	128	≈2,2
1620	3	1,78	187	≈3,2
	5	1,12	164	≈2,8
	7	0,87	132	≈2,2

На нижеприведенных рисунках показано графическое представление процесса плавления порошковой проволоки разного состава и алюминиевой проволоки.

Продолжительность расплавления намерзших оболочек расплава, шлаковой оболочки и первоначальной стальной оболочки порошковой проволоки с силикокальцием представлена на рис. 1а. На рис. 1б для сравнения представлена продолжительность плавления такой же проволоки без учета оболочки шлака.

Как следует из вышеуказанных рис.1 толщина намерзших оболочек шлака и металлического расплава зависит от скорости ввода порошковой проволоки и температуры расплава. Увеличение скорости ввода проволоки и повышение температуры металлического расплава способствуют уменьшению толщины намерзших оболочек металла и шлака.

Необходимо также отметить, что наличие намерзшего слоя шлака увеличивает продолжительность расплавления первоначальной стальной оболочки порошковой проволоки.

Графическое представление плавления намерзших оболочек шлака, расплава и первоначальной стальной оболочки порошковой проволоки с науглероживателем приведены на рис.2.

Расчетными данными для проволоки с науглероживателем подтверждены те же закономерности, что и для проволоки с силикокальцием. В то же время установлено, что увеличение массы шлака в ковше с 0,3 до 1,3 т, в отличие от кусковых добавок, сокращает продолжительность усвоения науглероживателя, в целом, и отдельных его этапов (плавление, усреднение), в частности, приблизительно в 1,3–2,3 раза. Такое отличие во влиянии массы шлака в ковше на процесс усвоения добавки из проволоки и куска объясняется, вероятно, не только различной гидродинамической и тепловой картиной в зоне ввода этих материалов, но и тем, что характер протекания происходящего подплавления за-

глубленного в расплав конца проволоки определяется также кинетикой теплофизических и динамических процессов в её верхней еще не расплавившейся части. Увеличение продолжительности усвоения науглероживателя в случае ввода в сталь 85Г возможно также за счет более низких температур.

На рис. 3 показана расчетная продолжительность расплавления шлаковой и металлической оболочек на поверхности алюминиевой проволоки, вводимой в металлический расплав, в зависимости от температуры расплава и скорости ввода проволоки.

Показано, что установленные для порошковой проволоки закономерности влияния температуры расплава и скорости ввода на продолжительность расплавления и толщину образования оболочек металла и шлака сохраняются и для алюминиевой проволоки.

Результатами проведенных численных исследований закономерностей и процессов доводки стали вышеприведенными порошковыми и алюминиевой проволоками в зависимости от переменных технологических параметров (скорости ввода, температуры стали, расхода аргона и др.) определено, что сокращение продолжительности усвоения добавок из проволоки можно достичь за счет увеличения скорости их ввода, повышения интенсивности продувки ШМР аргоном и повышения температуры стали, как было ранее установлено при вводе кусковых добавок.

В то же время, в отличие от кусковых материалов, показано, что увеличение массы шлака в ковше при вводе порошковой проволоки с науглероживателем при сопоставимых технологических параметрах (кроме температуры расплава) приводит к сокращению продолжительности усвоения добавки. Такое отличие требует дополнительных исследований и проверки применительно к порошковым проволокам с этим и другими наполнителями.

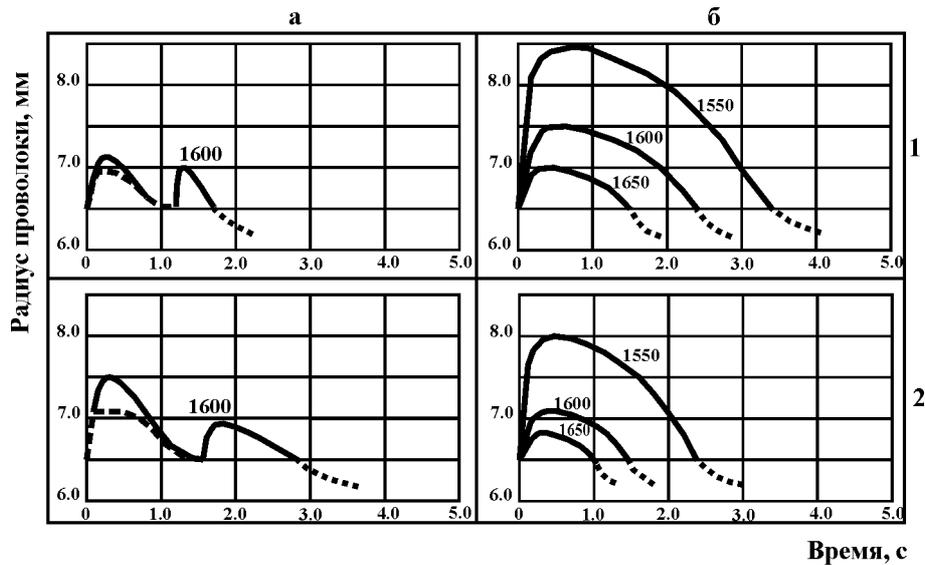


Рис. 1. Продолжительность расплавления порошковой проволоки с силикокальцием в ковшовой ванне на УКП переменного тока с учетом (а) намерзшей шлаковой оболочки (---), оболочки расплава (—) и первоначальной стальной оболочки (•••) и без учета (б) шлаковой оболочки. Скорость ввода – 3 м/с (1) и 5 м/с (2). Цифры у кривых – температура стали, °С. Условия аналогичные табл. 1.

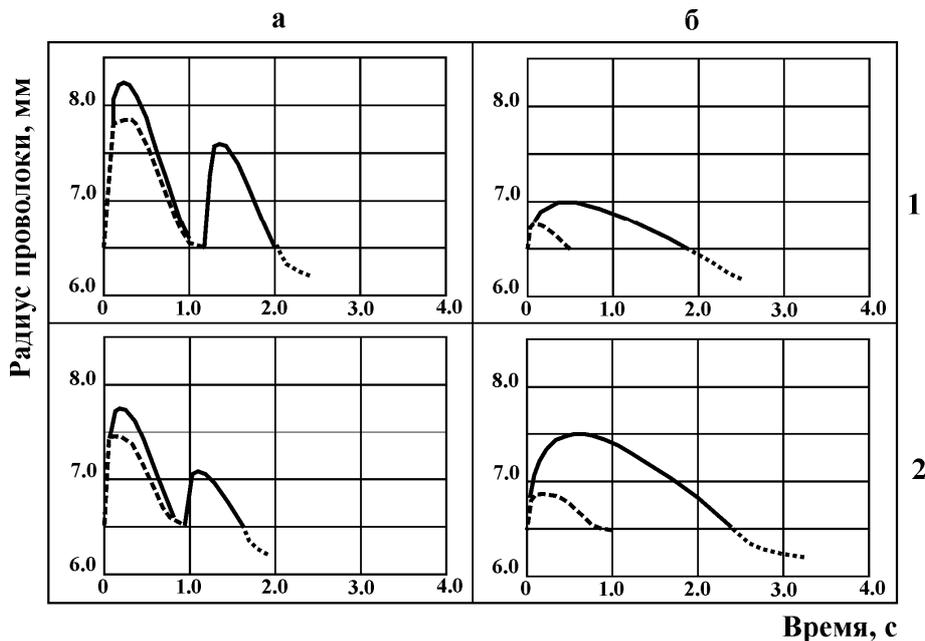


Рис. 2. Продолжительность расплавления порошковой проволоки с науглероживателем в ковшовой ванне на УКП переменного тока с намерзшей шлаковой оболочкой, оболочкой расплава и первоначальной стальной оболочкой. Температура стали 1710°C – 1600°C (а) и стали 85Г – 1550°C (б). Скорость ввода – 3 м/с (1) и 5 м/с (2). Вид, масса шлака и расход аргона аналогично условий табл.2. Обозначения кривых – аналогично рис. 1.

Использование принятых в промышленной практике ЭСПЦ-3 ОАО "Днепропеталь" режимов расхода аргона при доводке стали (150–200 л/мин) и фактической продолжительности периода доводки 10–12 мин, в сопоставлении с расчетной продолжительностью наи-

более длительно усваивающегося материала – силикокальция СК-30, подтверждает, в целом, правильность установленной продолжительности этого этапа обработки стали на данном УКП с учетом реально вводимых количеств добавок.

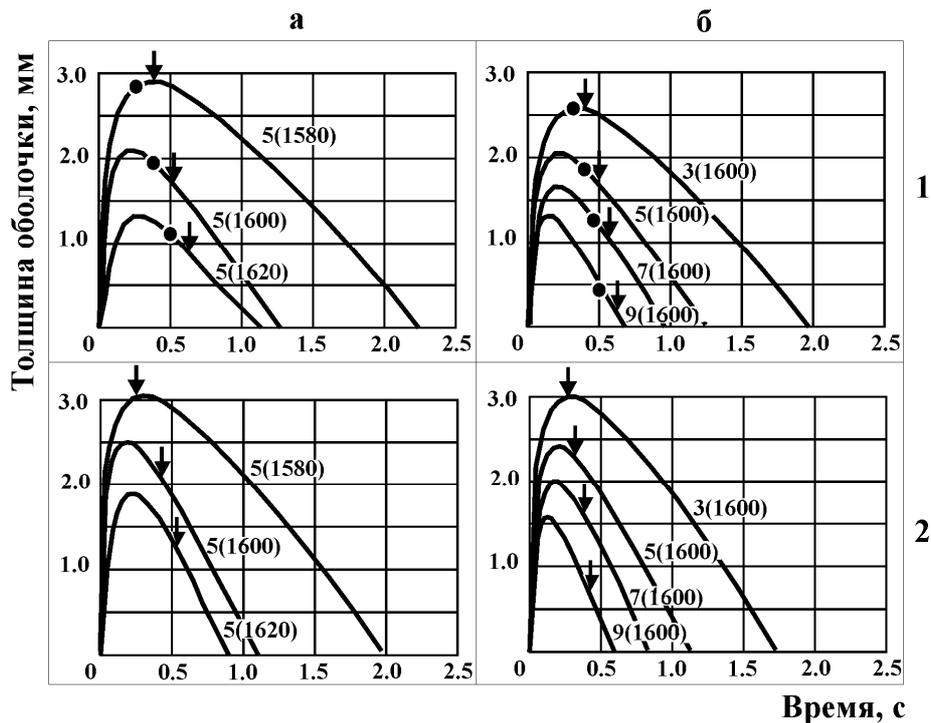


Рис. 3. Продолжительность плавления алюминиевой проволоки в ковшевой ванне на УКП переменного тока с учетом намерзшей шлаковой и металлической оболочек (1) и без учета шлаковой оболочки (2). Условия аналогично табл.3. Цифры у кривых - скорость ввода, м/с; цифры в скобках ( ) – температура, °С. Обозначения на кривых: точка – момент расплавления шлаковой оболочки; стрелка – момент расплавления алюминия внутри металлической оболочки.

### Выводы

1. Выполнены численные исследования процессов доводки сталей разных марок по химическому составу порошковыми и алюминиевой проволоками на УКП переменного тока.
2. Установлено влияние переменных технологических параметров на продолжительность плавления и усвоения порошкообразных силикокальция и науглероживателя, а также алюминия, вводимых в ковш в виде проволоочных добавок в процессе обработки стали на УКП переменного тока.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Математическое моделирование процессов доводки стали порошковыми и алюминиевой проволоками на установке ковш-печь переменного тока. Сообщение 1. Математическое моделирование / В.П. Пиптюк,

- В.Ю. Болотов, И.А. Павлюченков, В.А. Вихлевщук, В.Г. Кнохин, И.Н. Логозинский, С.В. Греков // Математичне моделювання.-2007.-№.-С
2. Математическое моделирование гидродинамики шлакометаллической ванны на установке ковш-печь переменного тока / В.А.Вихлевщук, В.П.Пиптюк, В.Ю.Болотов, И.А.Павлюченков и др.// Математичне моделювання, 2005, № 1 (13), с. 53-58.
3. Математическое моделирование процессов тепло-, массообмена при обработке металлического расплава на УКП переменного тока / В.П.Пиптюк, В.Ю. Болотов, В.А.Вихлевщук, И.А.Павлюченков и др.// Математичне моделювання, 2005, № 2(14), с. 49-56.
4. Исследование особенностей доводки стали кусковыми добавками на установке ковш-печь / В.П. Пиптюк, В.Ю. Болотов, В.А. Вихлевщук, И.А. Павлюченков, В.Г. Кнохин, И.Н. Логозинский //Теория и практика металлургии, 2006, №1-2,с.28-33.

пост. 05.10.07.