

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ГЕРМЕТИЧНЫХ ВОЛЬФРАМИЕВЫХ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ТЕРМОЗОНДОВ

А.А.Улановский, Б.Л.Шмырев, А.В.Куракин, В.А.Литвиненко
ООО «Обнинская термоэлектрическая компания»

Данная работа выполнялась в 2005-2006 гг. в рамках Госконтракта №3754р/4631) /1/. Перспективность применения вольфрамиевых термопреобразователей (ТП-А) для контроля высокотемпературных технологических процессов, в т.ч. в окислительных средах, была показана в работах /2, 3, 4/. Испытания макетных образцов доказали принципиальную возможность длительного применения вольфрамиевых ТП в агрессивных средах. Дальнейшая проработка конструкции термопреобразователей привела к созданию ряда опытных образцов ТП, в т.ч. и по техническим заданиям потребителей. Термопреобразователи ТП-А были внесены в Государственный реестр средств измерений. Разработана и утверждена ВНИИМС методика поверки вольфрамиевых ТП /5/, пригодная и для аттестации термоэлектродных материалов. Впервые в РФ создан участок для метрологической аттестации вольфрамиевых ТП без использования вакуумной печи.

Однако авторам было понятно, что только высокие эксплуатационные характеристики, сравнимые с характеристиками платинородиевых ТП, позволят вольфрамиевым ТП составить достойную конкуренцию последним и определяют конечный успех настоящего проекта. Положительные результаты производственных испытаний служили бы фактическим подтверждением правильности конструктивных и технологических решений по организации серийного производства термопреобразователей на основе термопар из вольфрамиевых сплавов.

1. Лабораторные исследования термопреобразователей ТП-А

Перед началом производственных испытаний были проведены небольшие лабораторные исследования термоэлектродных материалов и термопар из вольфрамиевых сплавов ВР5 и ВР20, которые выявили несколько важных моментов.

1. Надежность и метрологические свойства вольфрамиевого ТП будет определяться, в первую очередь, качеством термоэлектродных материалов, прошедших обязательный входной контроль на соответствие НСХ по ГОСТ 8.585-2001 /6/, стабильность термоЭДС и неоднородность бухт пары термоэлектродов.

2. Рабочий диапазон пары бухт вольфрамиевой проволоки, когда термоЭДС находится в пределах допускаемых отклонений по ГОСТ 6616-94 /7/, может значительно отличаться для разных пар бухт одной и той же градуировки из-за сравнительно низкой воспроизводимости термоЭДС, обусловленной разбросом по содержанию рения в разных партиях проволоки. Этот же фактор вынуждает группировать термоэлектродные пары по группам с номинальными статическими характеристиками А-1, А-2, А-3 /8/.

3. Поверка вольфрамиевого термопреобразователя фактически заключается в поверке чувствительного элемента термопары образца-свидетеля, отобранного от участков проволоки, максимально близких к участку, из которого изготовлен рабочий ТП. Хладноломкость делает практически невозможным использование поверенного образца термопары в качестве чувствительного элемента термопреобразователя. Однако, если неоднородность пары бухт находится в пределах допускаемых отклонений /8/ и усредненная индивидуальная статическая характеристика термопар, изготовленных из образцов, отобранных от разных концов бухт, известна и соответствует ГОСТ, то практически со 100% уверенностью можно сказать, что любая термопара, изготовленная из этой бухты, будет находиться внутри предела допускаемых отклонений по ГОСТ 6616 для

своего класса. Образец термопары, изготовленный из участка проволоки, максимального близкого к рабочему участку, будет дополнительным фактором подтверждения метрологических характеристик рабочих термопар.

Всего лабораторным испытаниям подверглись 20 опытных образцов. Испытания проводились на воздухе с использованием высокотемпературной печи для градуировки термопар С 0,1-1750.1Ф. Чувствительные элементы термопар для испытаний помещались в защитную арматуру, которая заполнялась инертным газом. Испытания заключались в определении индивидуальных статических характеристик опытных образцов, оценке неоднородности бухт термоэлектродной проволоки по термоЭДС термопар, отобранных от начала и конца бухт, проведении повторных калибровок ТП на разных уровнях температуры, выдержкой ТП при температуре 1500°С не менее 2 часов, и оценкой стабильности термопар на разных уровнях температур.

Все образцы термопреобразователей, в основном, соответствовали требованиям ГОСТ 6616-94 по метрологическим требованиям в пределах второго или третьего классов точности, но рабочий диапазон температур некоторых образцов ограничен в нескольких сотен градусов (рис.1)

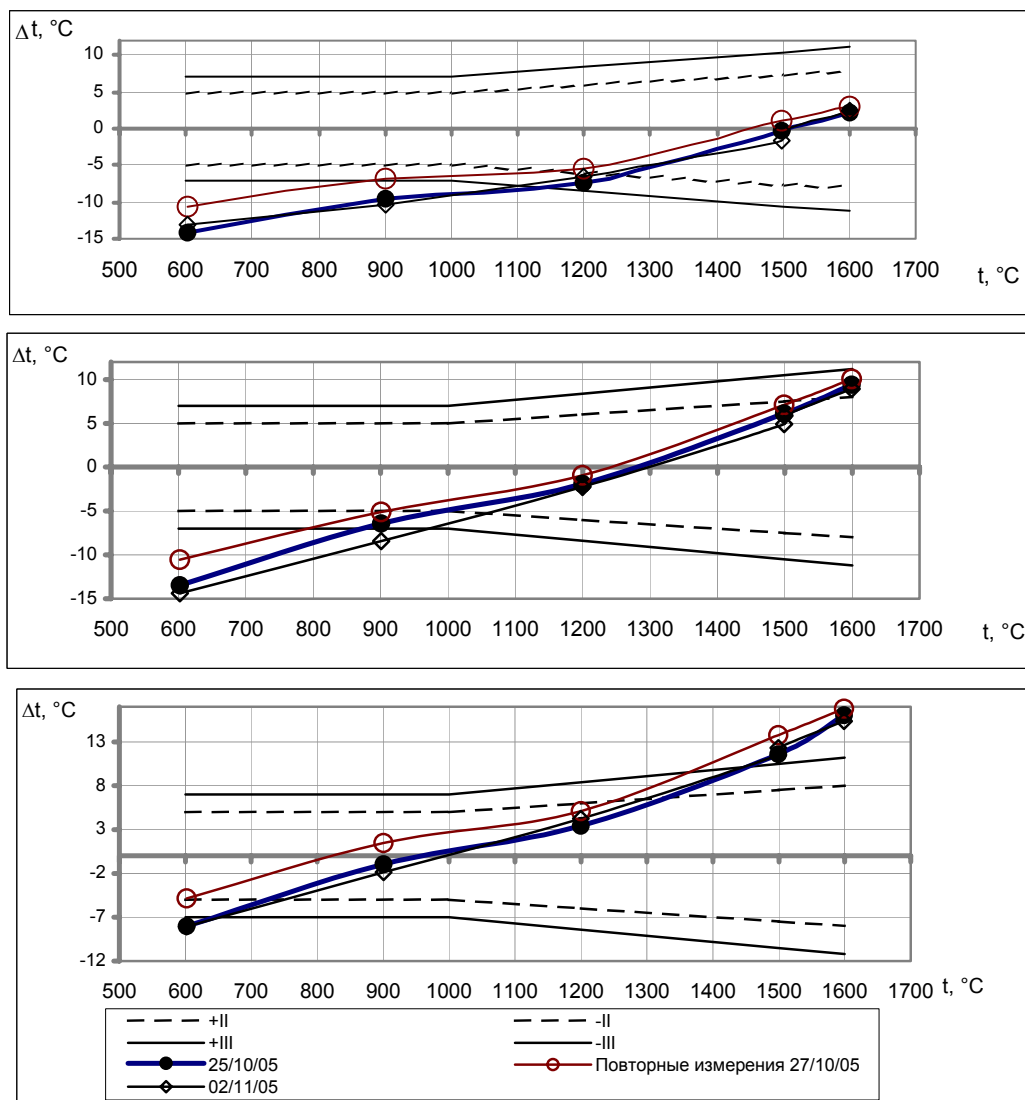


Рис. 1. Изменение калибровочной характеристики термопар ВР 5/20 относительно НСХ (зав.№1700, 1800, 2000, термоэлектроды $\varnothing 0,35$ мм, гр.А-1)

±II, ±III - верхний и нижний допуски отклонения термоЭДС от НСХ (ось абсцисс) для 2 и 3 класса, соответственно.

Такая ситуация характерна для термопар с термоэлектродами диаметром 0,35 мм и меньше. Индивидуальная статическая характеристика (ИСХ) термопары может иметь большой уклон относительно номинальной характеристики (НСХ).

Термопары с термоэлектродами 0,5 мм, в целом, имеют лучшие метрологические характеристики, некоторые образцы имели идеальные ИСХ, которые могли бы служить в качестве рабочих эталонов сравнения термоэлектродных материалов. Однако, при производстве термоэлектродной проволоки диаметром 0,5 мм выход годного продукта, по информации производителя, существенно меньше, чем для проволок меньших диаметров.

Проверка пар бухт проволоки диаметром 0,35 мм на неоднородность заключалась в проверке ИСХ термопар, изготовленных из разных участков проволоки одних и тех же бухт. Важность данной операции представлена рис.2 и 3. Две термопары зав.№2200 и 2300, изготовленные из одной бухты, но из участков термоэлектродов на расстоянии 30 м друг от друга по длине проволоки, показали расхождение термоЭДС термопар от 1,6 до 3,4 градуса с ростом температуры от 600 до 1600°C, соответственно. При этом образец, отобранный от начала пары бухт проволок, соответствует ГОСТ 6616 во всем диапазоне температур, а термоЭДС образца, изготовленного из проволок, отобранных от пары бухт через 30 м, вышла за пределы допускаемых отклонений при температуре 1600°C (рис.2).

Сравнение кривых калибровок для образцов 2900 и 3000 (рис.3), изготовленных из термоэлектродов, отобранных от начала и конца двух пар бухт проволок, показывает, что неоднородность материала электродов для испытывавшихся пар проволок была минимальной. Расхождения в показаниях термопар отобранных от начала и конца бухт, не превышали 2 градуса.

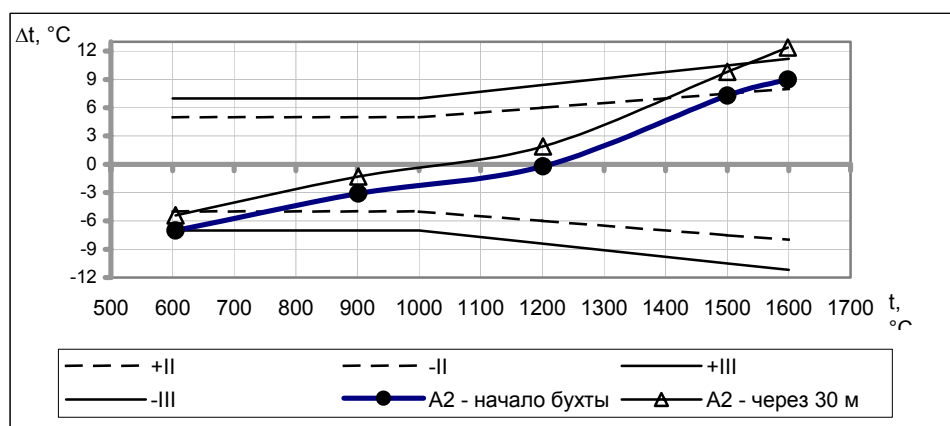


Рис.2 Расхождение термоЭДС термопар, изготовленных из разных участков одной пары бухт проволоки (диаметр 0,35 мм, образцы №2200 и 2300, гр. А-2)

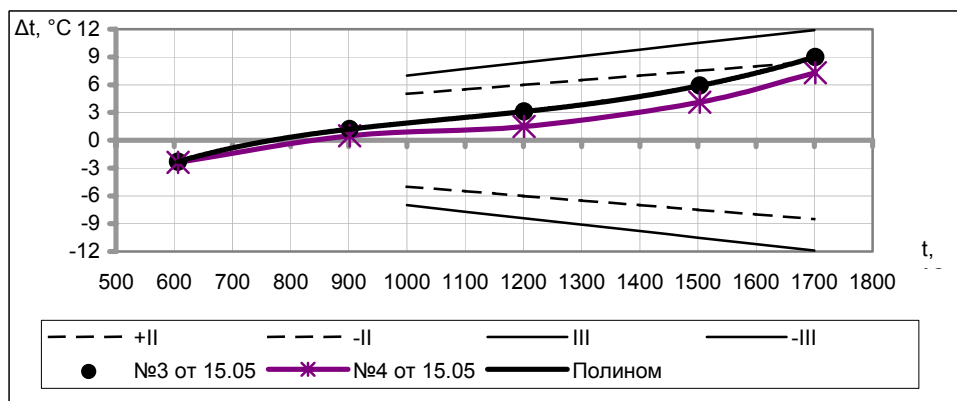


Рис.3 ТермоЭДС термопар, изготовленных из разных концов одной пары бухт проволоки (диаметр 0,35 мм, образцы №2900 и 3000, гр. А-1).

Самые длительные исследования стабильности термоЭДС были проведены для термопары зав.№2100, всего восемь калибровок в течение года, причем пять из них с двух часовым отжигом при 1500°C. Вид калибровочных кривых при первой и восьмой калибровке (через 11 мес.) представлен на рис.4. Кривые очень похожи, заметно выравнивание значений отклонений термоЭДС в средней части рабочего диапазона. Общий дрейф термоЭДС при 1500°C составил 2,2 градуса, а при 1600°C – 2,3 градуса. Максимальный дрейф при 900°C – 3,9 градуса. Этим подтверждаются выводы других авторов [9, 10], что основной дрейф термоЭДС вольфрамово-ренийевой термопары происходит в первые часы работы. Общее время отжига при 1500°C превысило 10 ч, а время нахождения при температуре выше 1500°C составило еще 9 ч. При этом не отмечено ухудшения внешнего вида термопары, загерметизированной внутри чехла из лейкосапфира. Термопара полностью работоспособна в окислительной среде.

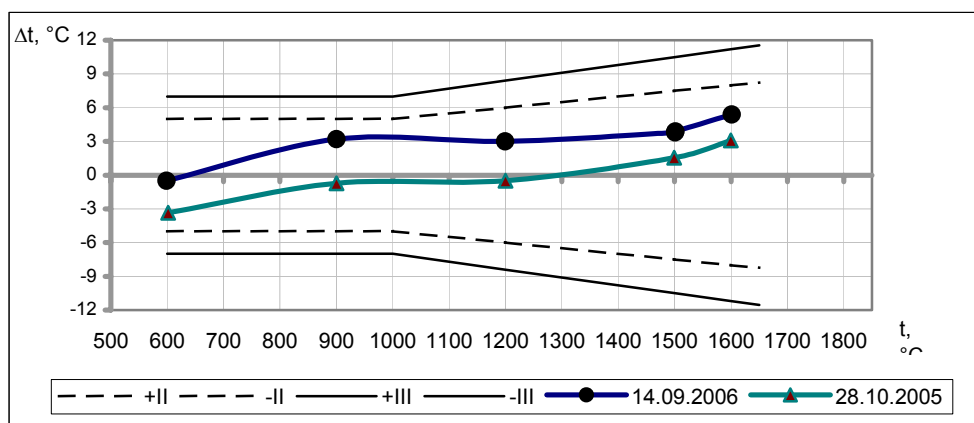


Рис.4. Изменение калибровочных характеристик термопары №2100 (диаметр t/ε 0,5 мм), за восемь последовательных калибровок

Последовательные калибровки термопреобразователя выявили явную стабилизацию термоЭДС уже при четвертой калибровке (Рис.5). При этом величина отклонений термоЭДС от НСХ с большим запасом находилась в пределах допускаемых отклонений для термопары 2 класса во всем рабочем диапазоне температур. Звездочками над кривой дрейфа термоЭДС при 1500°C указаны конечные значения отклонений термоЭДС после 2-х часового отжига. Они сглаживают кривую дрейфа. Величина отклонений растет с ростом температуры, но меняется незначительно с течением времени, что свидетельствует о хорошей стабильности. Более заметен рост отклонений термоЭДС с течением времени при 900 и 1200°C, величина которого через 5 калибровок вплотную приблизилась к отклонениям при 1500°C. Это свидетельствует о структурных превращениях материала в зоне градиента температур, которые выравнивают величину отклонений термоЭДС от номинальных значений во всем рабочем диапазоне.

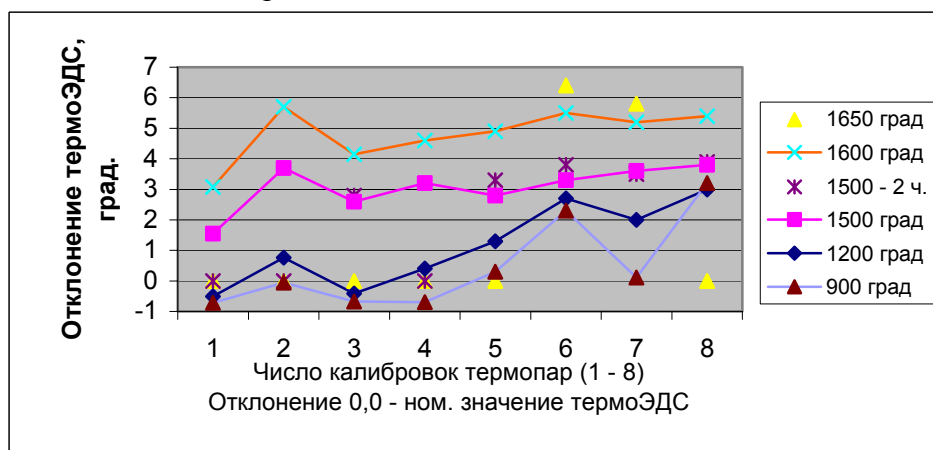


Рис.5 Дрейф термоЭДС термопары ТП-А зав.№2100 от НСХ при указанных температурах для восьми последовательных калибровок в течение года.

Таким образом, лабораторные исследования показали важность метрологической аттестации термоэлектродных материалов, которые пойдут на изготовление промышленных вольфрамниевых термопреобразователей.

2. Производственные испытания термопреобразователей ТП-А

Для проведения производственных испытаний было передано 28 вольфрамниевых термопреобразователей в герметичных защитных чехлах на 11 предприятий, а также, а также 29 термозондов /11/ для измерения температуры расплава металлов на 21 предприятие. Типовые конструкции представлены на рис.6 и 7.



Рис.6 Опытный термопреобразователь ТП-А в герметичном защитном чехле и металлической арматуре.

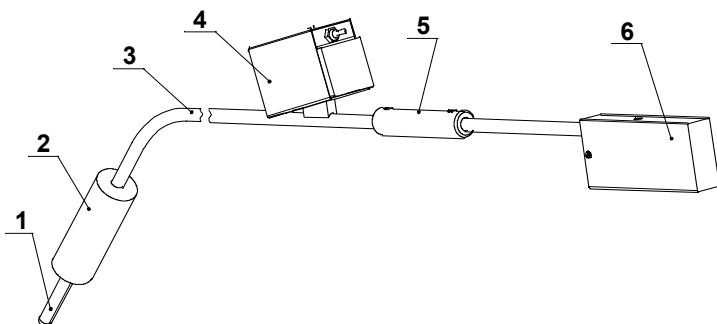


Рис.7 Термозонд для металлургических печей поплавкового типа ТП-А 212П

Перечень переданных Заказчикам опытных образцов приведен в табл.1.

Таблица 1

№ п/п	Предприятие	Тип ТП, переданного на испытания	Кол-во, шт.	Дата передачи продукции
1	2	3	4	5
Термопреобразователи на основе вольфрамниевых термопар в герметичных защитных чехлах:				
1.	ФГУП ПО СЕВЕР, Новосибирск	ТП-А 251 – 1250 ТП-А-112Л-800 ТП-А 002Л-800	3	24.01.06
2.	Ангарский РМЗ	ТП-А 241Л –1000	6	06.03.06
3.	«Теплохиммонтаж» г.Ст.Оскол	ТП-А 251 – 1250	2	20.03.06
4.	«Кристаллит», г.Дятьково, Брянской	ТП-А 241Л – 800	2	6.04.06
5.	«Поликор» Кинешма	ТП-А 241Л –1000	1	05.05.06
6.	Фирма «АЛГ», Москва	ТП-А-113Л(Мо-чехол)	3	24.05.06
7.	ООО «ВИРИАЛ», С-Петербург	ТП-А 251-500	3	09.06.06
8.	ФГУП УНИИКМ, Пермь	ТП-А 253 - 1320	2	16.06.06
9.	ИНКОР-Инжиниринг, Москва	ТП-А 241Л -800	1	13.07.06
10.	ООО «ВИРИАЛ», С-Петербург	ТП-А 251-500	3	14.07.06

11.	ВКБ РКК «Энергия», Самара	ТП-А 252 -500	2	19.07.06
		Всего ТП: шт.	28	
Термозонды:				
1.	ЗАО Гидроавтоматика, Самара	ТП-А212П - 1600	2	19.01.06
2.	ЗАО«Молтек», С-Петербург	ТП-А212П - 1600	2	30.01.06
3.	Челябинский тракторный завод	ТП-А212П - 1600	2	16.02.06
4.	ООО Политег-Мет, г.Москва	ТП-А212П – 2500 ТП-А212П – 1600 ТП-А212П – 1250 ТП-А212П – 2000	4	10.03.06 21.07.06
5.	ФГУП РКЦ ЦСКБ-Прогресс, Самара	ТП-А212П - 1600	1	23.03.06
6.	Хактрансгаз, Абакан	ТП-А212П - 1600	1	10.03.06
7.	Машприборинвест, Новокузнецк	ТП-А212П - 1600	1	24.04.06
8.	Марийский машзавод Йошкар-Ола	ТП-А212П - 1600	2	03.05.06
9.	Ангарский РМЗ	ТП-А212П - 3000	2	11.05.06
10.	Назарово-Металлургсервис	ТП-А212П - 3000	1	18.05.06
11.	Ростовский литейный завод	ТП-А212П - 2500	1	19.05.06
12.	Комп. Северсплав, С-Петербург	ТП-К212П - 3000	1	23.05.06
13.	ЗАО ПриборКомплект, Москва	ТП-А212П - 1600	1	30.05.06
14.	ООО «СОЭЗ-Авто-деталь», Самара	ТП-А212П - 1600	1	02.06.06
15.	Дорогобужкотломаш Смоленская обл.	ТП-А212П - 2000	1	15.06.06
16.	Ростовский литейный завод	ТП-А 212П - 1600	1	21.07.06
17.	Приокский з-д цветн. металлов, г.Касимов	ТП-А 212П - 1600	1	04.08.06
18.	ЗАО «ТВЭЛ-Инвест», Москва	ТП-А 212П - 1600	1	08.08.06
19.	ООО «Такт», Рыбинск	ТП-А 212П - 1600	1	08.08.06
20.	ООО «ПК Втормет», Москва	ТП-А 212П - 1600	1	25.08.06
21.	ОАО «ЭНА», Щелково	ТП-А 212П - 1600	1	31.08.06
		Всего ТЗ: шт.	29	:

3. Результаты испытаний

До завершения НИОКР были получены 23 отзыва о работе или акты испытаний термопреобразователей, в т.ч. поставленных в 2004-2005 гг.

3.1 Термопреобразователи в защитных чехлах

Вакуумные и водородные печи:

1. **ООО «ИП Юрпах» (г.Пенза).** В отзыве приведены положительные результаты эксплуатации 21 термопреобразователя ТП-А с защитными чехлами из лейкосапфира в вакуумной печи спекания порошковой металлургии с января 2004 по июнь 2006 г. Применение предложенных конструкций позволило значительно увеличить рабочий ресурс вольфрамиевых термопар от 100 ч до применения термопреобразователей ООО «ОТК» до 900-1200 ч и затем до 1800-2000 ч (до 200 технологических циклов).

2. **ФГУП «Институт термохимии» (ныне УНИИКМ), г.Пермь.** Испытания герметичного термопреобразователя (рис.8) проводились в вакуумной камере-реакторе для силицирования и термообработки углеродных композитных материалов. Цикл термообработки около 12 ч, выдержка 2,5 ч при максимальной температуре до 1750°C, разрежение порядка 4000 Па. Электронагреватель и теплозащитные экраны из графита.

Недостаточная защита ВР термопары в этих условиях приводила к выходу ее из строя при первом же выходе на предельные температуры.



Рис.8. Герметичный вольфрамрениевый термопреобразователь в чехле из лейкосапфира для монтажа в вакуумной камере.

Опытный термопреобразователь помещался в дополнительный защитный чехол из углеродного композитного материала УКМ и устанавливался внутри рабочего пространства камеры на удалении 20 мм от поверхности графитового нагревателя. Термопреобразователь выдержал 7 циклов термообработки до разрушения чехла. Этот результат свидетельствует об устойчивости лейкосапфира в условиях высокого углеродного потенциала рабочей среды.

3. ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов», Свердловская обл. Термопреобразователи в герметичных чехлах молибден-лейкосапфир (5 шт) отработали по 4500-4800 ч в водородных печах при температуре до 1500°C. Причина выхода из строя - разрушение термоэлектродов около рабочего спая термопары, что могло быть результатом водородного охрупчивания. Термопреобразователь ТП-А 241Л в чехле лейкосапфир-корунд отработал более 5000 ч и на момент составления отзыва был в рабочем состоянии.

4. ООО «ВИРИАЛ», г.С-Петербург. В акте приведены результаты испытаний с мая по октябрь 2005 г. термопреобразователя ТП-А 251-9,5-500 с защитным чехлом из лейкосапфира в вакуумной печи сопротивления с графитовыми электронагревателями, предназначенной для спекания твердых сплавов. Рабочая температура 1470°C, разрежение 50 Па. ТП устанавливался горизонтально. Рабочий ресурс составил 2000 ч без замечаний, термопреобразователь был механически поврежден при выемке продукции из печи. Регулярно закупаемые в течение двух лет аналогичные термопреобразователи работают, в среднем, по 3000-4000 ч.

5. ФГУП ПО «Север», г.Новосибирск. Термопреобразователь в герметичном чехле молибден-лейкосапфир (1 шт) отработал 1500 ч в водородной печи (февраль-август 2006 г.). Выход из строя произошел из-за разрушения сварного шва молибден-сталь, установка ТП в печи горизонтальная, режим работы циклический 20-1550°C. Термопреобразователи в чехлах из лейкосапфира отработали по 1500 ч и остались в работоспособном состоянии, замечаний по работе нет, установка ТП в печи вертикальная, режим работы циклический 20-1300°C.

6. ООО «Фирма АЛГ», г.Москва. Испытывались герметичные термопреобразователи ТП-А 113Л-10-Л в двойных герметичных чехлах (лейкосапфир-молибден) в вакуумно-компрессионной печи сопротивления с графитовыми электронагревателями и экранами. Рабочая температура 1560°C, нагрев за 4 часа, охлаждение 9 ч в среде аргона при давлении 6 МПа. Рабочий ресурс составил 1872 ч. Термопреобразователи требовали замены из-за разрушения наружного молибденового чехла в графитовой атмосфере и в среде аргона с остаточными примесями кислорода. Чувствительные элементы в лейкосапфире оставались в рабочем состоянии.

Печи с окислительной средой:

7. **ОАО «Косогорский металлургический завод», г.Тула.** Термопреобразователь ТП-А 241Л монтажной длиной 2000мм отработал 816 ч. на каупере (воздухонагревателе) доменной печи при циклическом нагреве-охлаждении и температуре 1250-1360°C. Термопреобразователь был демонтирован при 1250 °С после первых 96 ч работы в связи с ремонтом агрегата. Затем был вновь установлен на работающий агрегат и отработал еще 720 ч до отказа по причине разгерметизации чехла. Произошло плавное снижение показаний термопары.

8. **ЗАО «Теплохиммонтаж», г.Ст.Оскол, Белгородской обл.** Два термопреобразователя ТП-А 251-9,5-1250 были установлены горизонтально в печи обжига керамики. Рабочая среда слабоокислительная (продукты сгорания природного газа), температура 1300-1550°C, давление 0,11 МПа. ТП испытывались с февраля 2006 г. по наст. время и находятся в рабочем состоянии, отклонения термоЭДС термопар в пределах допуска (ежемесячный контроль). Режим работы непрерывный в течение 12 месяцев. Данные результаты свидетельствуют о правомерности использования таких ТП вместо термопреобразователей с термопарами из драгоценных металлов.

9. **ОАО «Поликор», Кинешма, Ивановской обл.** Термопреобразователь ТП-А 251-9,5-1250 в защитном чехле из лейкосапфира был испытан в печи высокотемпературной обработки при температуре до 1730°C и избыточном давлении 30-50 Па. ТП отработал 75 ч (выдержка при 1730°C составила 10 ч). Показания термопары у стенки печи составили 1643°C. Термопара после испытания осталась в работоспособном состоянии.

10. **ОАО «Востсибмаш», г.Ангарск Иркутской обл.** Шесть термопреобразователей ТП-А 241Л-25-1000 в двойных защитных чехлах корунд-лейкосапфир установлены в камерной печи типа СДО термообработки металла, температура до 1150°C, давление атмосферное, режим работы циклический. Термопреобразователи отработали 1,5 месяца на момент составления акта без замечаний.

Заказчики по пп.7, 8, 9 использовали термопреобразователи без компенсационных проводов, установив в головку ТП нормирующий токовый преобразователь 4...20 мА.

Стекловаренные печи:

11. **ООО «Кристаллит», Дятьково, Брянской обл.** Термопреобразователи ТП-А 241Л-25-800 в двойном защитном чехле корунд-лейкосапфир были установлены на куполе стекловаренной печи по переработке стеклобоя. Рабочая температура 1220-1440°C при избыточном давлении 3000 Па, режим работы непрерывный. ТП работают с апреля 2006 г. по наст. время без отклонений, наработка одного ТП составила 9 месяцев, второй работает по настоящее время (12 мес). Условия работы в стекловаренной печи одни из самых жестких.

12. **ФГУП «НПП Исток», г.Фрязино Московской обл.** Два вольфрамрениевых термопреобразователя в двойном защитном чехле, наружный из газоплотного корунда Ø12мм, внутренний из лейкосапфира Ø6,5мм были установленных на свод стекловаренной печи. Стекломасса (борное стекло) находилась при температуре 1570÷1580°C, режим работы непрерывный. Атмосфера печи представляла собой смесь паров борного ангидрида, соды кальцинированной, калиевой селитры и оксида кремния при избыточном давлении 2-3 м водяного столба. Оба термопреобразователя выдержали один месяц работы до полного разрушения защитной арматуры. На рис.9 видны следы активной коррозии наружного корундового чехла, имеются трещины по поверхности. Рабочий конец чехла, по-видимому, полностью разрушился. Оксидная керамика имеет, конечно, ограниченную стойкость в атмосфере стекловаренной печи. Тем не менее, в течение одного месяца, в экстремальных условиях эксплуатации, термопреобразователи сохраняли свою работоспособность. В этих условиях платинородиевая термопара вышла бы строя за такой же срок, если не раньше,

т.к. она более чувствительна к загрязнению металла термоэлектродов. При этом потеря части термоэлектродов была бы неизбежной.



Рис.9 Термопреобразователь ТП-А после 1 мес. испытаний в стекловаренной печи (борное стекло, температура 1570-1580°C)

Таким образом, **результаты испытаний** показали возможность использования вольфрамрениевых термопар для различных условий эксплуатации. Они хорошо зарекомендовали себя как в вакуумных печах с повышенным углеродным потенциалом рабочей среды, так и в окислительных агрессивных средах (наработка до года), в т.ч. в атмосфере стекловаренной печи, где рабочий ресурс термопары определяется, в основном стойкостью защитной арматуры.

3.2. Вольфрам-рениевые термозонды

Термозонды ТП-А 212П для измерения температуры расплава металлов испытывались, в основном на литейных производствах машиностроительных заводов (рис.10):



Рис.10 Измерение температуры расплава металла в индукционной печи с помощью термозонда

Свои отзывы о работе термозондов прислали 12 предприятий. Они свидетельствуют о положительных результатах эксплуатации термозондов в рабочих условиях. Основные достоинства зонда: многократность измерений температуры расплава без замены защитного чехла и рабочего спая термопары, а также автономность и простота в эксплуатации, - отмечены подавляющим большинством потребителей. Число замеров до замены защитного чехла варьируется от 100 при 700-800°C (алюминиевые сплавы), 15-20 при 1200-1300°C (медь и ее сплавы), 7-10 при 1450-1600°C (чугун, сталь), и до 1-2 замера при 1750-1900°C (спецстали). Замечаний по метрологической точности измерений нет. Среднее число замеров до замены рабочего спая вследствие дрейфа термоЭДС

определяется Заказчиком экспериментально в зависимости от уровня рабочих температур, определяющего скорость окисления термоэлектродов внутри защитного чехла. Обычно оно совпадает с заменой защитного чехла.

Основные замечания сводятся к следующим:

1. Желательное время замера не должно превышать 10 сек. Однако большая длительность замера (30-60 с) обусловлена только свойствами материала чехла, аморфного кремнезема. Устойчивость к многократным термоударам обеспечивается как раз очень низкой теплопроводностью и малым коэффициентом теплового расширения.

2. Термозонды разработанной конструкции пока мало пригодны для электродуговых печей. Погружная часть чехла должна быть большей длины, иметь лучшую теплоизоляцию и жесткость самой конструкции. Но это ведет к большему весу зонда и усложняет работу с ним, лишая достигнутых преимуществ. Кратковременность замера могла бы помочь в решении этих проблем.

Заключение

В результате исследований доказана работоспособность разработанных конструкций вольфрамениевых термопреобразователей в различных условиях эксплуатации, в т.ч. в окислительных средах. Экспериментально опробована методика аттестации термоэлектродных материалов и поверки термопар из вольфрамениевых сплавов ВР5 и ВР20 в условиях опытного производства термопреобразователей. Авторские права на разработанные конструкции термопреобразователей оформлены предприятием в виде двух патентов на полезные модели, получено положительное решение на изобретение на термозонд для металлургических печей.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели термопреобразователей соответствуют требованиям ГОСТ 6616-94. Разработаны технические условия и эксплуатационная документация на термопреобразователи. Установленная наработка на отказ для термопреобразователей в герметичных защитных чехлах составляет: 6000 ч – для окислительных и инертных сред, вакуума при максимальной рабочей температуре до 1600°C; 2000 ч – для работы в диапазоне 1600-1800°C, а также в водородных, стекловаренных и вакуумных (с графитовыми нагревателями) печах; 1000 ч – для работы при температурах свыше 1800°C.

Результаты производственных испытаний опытных термопреобразователей типа ТП-А доказали принципиальную возможность их применения в качестве общепромышленных ТП, в том числе и для окислительных сред. Тем самым достигнута главная цель проекта - превратить термопары на основе тугоплавких металлов из средств измерений с небольшим рабочим ресурсом для достаточно специфичных условий эксплуатации в термопреобразователи общепромышленного применения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отчет о НИОКР гос.рег.№120.0.504691 от 25.09.2006 г. по Государственному контракту №3754р/4631 «Разработка конструкции и метрологического обеспечения первичных датчиков измерения температуры в диапазоне 1300÷2200°C (Заключительная часть)».

2. Отчет о НИОКР гос.рег.№120.0.504691 от 31.10.2005 г. по Государственному контракту №2986р/4631 «Разработка конструкции и метрологического обеспечения первичных датчиков измерения температуры в диапазоне 1300÷2200°C».

3. А.А.Улановский Термометрия: забытые возможности вольфрамениевых термопар. ж.Интеграл, №2(22), март-апрель 2005, с.36-38.

4. А.А.Улановский, Б.Л.Шмырев, Ю.Н.Алтухов Универсальные вольфрамениевые термопреобразователи в высокотемпературной термометрии. Ж. Приборы, №5 (71), 2006, с.4-13.

5. Стандарт предприятия. Преобразователи термоэлектрические ТП-А. Методика поверки.
6. Государственный стандарт РФ ГОСТР 8.585-2001. ГСОЕИ. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования. Москва, изд-во стандартов, 2002.
7. Межгосударственный стандарт ГОСТ 6616-94. Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия. Минск, изд-во стандартов, 1998.
8. СУО.021.142 ТУ. Проволока из сплава вольфрама с рением отожженная градуированная для термоэлектродов термопар. Технические условия.
9. И.П.Куритнык, Г.С.Бурханов, Б.И.Стаднык
Материалы высокотемпературной термометрии. М.,Металлургия, 1986.
10. Т.Куин. Температура. Москва, Мир, 1985.
11. А.А.Улановский, А.В.Куракин, М.С.Фрольцов, И.Л.Шкарупа Вольфрамрениевые термозонды в литейном и металлургическом производствах. Ж. Литейщик России, №1, 2006, с.28-30.