



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Металлургические технологии»

**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ
И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ.
ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОЙ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОПАРЫ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы

Минск 2006

Кафедра «Металлургические технологии»

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ.
ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ТЕРМОПАРЫ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Металлургическая теплотехника и теплоэнергетика»
для студентов специальностей
1-36 01 05 «Машины и технология обработки
материалов давлением»,
1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства»,
1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка»,
1-42 01 02 «Порошковая металлургия,
композиционные материалы, покрытия»

УДК 669.04
ББК 34.3 я 7
И 39

Составители:

В.И. Тимошпольский, И.А. Трусова, Г.А. Климович, П.Э. Ратников

Рецензенты:

М.Л. Герман, В.Д. Аксельев

Методические указания к выполнению лабораторной работы предназначены для закрепления и углубления теоретических знаний, полученных при изучении лекционного материала по дисциплине «Металлургическая теплотехника и теплоэнергетика», а также для приобретения практических навыков по выполнению теплотехнических измерений и расчетов.

В в е д е н и е

Целью лабораторной работы является закрепление теоретического материала курса, а также ознакомление студентов с методиками измерений и исследований теплофизических процессов, протекающих в агрегатах металлургического производства. Большое внимание уделяется приобретению студентами навыков ведения самостоятельной научно-исследовательской работы, анализа и обобщения полученных результатов.

Для осмысленного выполнения работы студенты должны предварительно изучить теоретические положения по изучаемому вопросу, методику исследования, принцип работы приборов и оборудования.

Перед началом работы студенты обязаны пройти инструктаж по технике безопасности и расписаться в соответствующем журнале.

Лабораторная работа проводится под руководством преподавателя и инженера.

Студенты, пропустившие лабораторную работу, выполняют ее в конце семестра в дополнительное время по расписанию кафедры. Студенты, которые не защитили лабораторную работу в установленный срок, не получают зачет и не допускаются к экзаменам.

ПРАВИЛА ОХРАНЫ ТРУДА И ПРОТИВОПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

При выполнении лабораторных работ необходимо строго соблюдать следующие требования:

1. Лабораторные работы проводятся по подгруппам, не превышающим 12–15 человек.

2. Перед выполнением лабораторных работ студенты обязаны ознакомиться с правилами охраны труда и противопожарной безопасности в лаборатории и на рабочих местах, расписаться в журнале регистрации инструктажа по охране труда.

3. Преподаватель, ведущий занятия, обязан перед началом каждой лабораторной работы напомнить студентам о правилах охраны труда и безопасных приемах работы на лабораторном оборудовании.

4. При работе с электрооборудованием студенты обязаны выполнять правила электробезопасности и пользоваться предусмотренными для этой цели защитными средствами.

5. Студенты могут работать с приборами и оборудованием только под наблюдением преподавателя или лаборанта.

6. Студентам запрещается включать приборы и механизмы самостоятельно, без наблюдения преподавателя и лаборанта.

7. Перед проведением испытаний студенты обязаны ознакомиться с работой лабораторного оборудования по настоящему практикуму и соответствующим инструкциям.

8. К лабораторным работам допускаются студенты, овладевшие правилами и порядком их выполнения.

9. По окончании работы следует тщательно убрать свое рабочее место.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Цель работы: изучить принцип действия металлических термомпар, схемы их включения. Построить градуировочную характеристику исследуемой термопары.

Теоретическая часть

Для измерения температуры в металлургии наиболее широкое распространение получили термоэлектрические термометры, работающие в интервале температур от -200 до $+2500$ °С и выше. Данный тип устройств характеризует высокая точность и надежность, возможность использования в системах автоматического контроля и регулирования температуры, которая является параметром, в значительной мере определяющим ход технологического процесса в металлургических агрегатах.

Термоэлектрический метод измерения температур основан на строгой зависимости термоэлектродвижущей силы (термоЭДС) термоэлектрического термометри от температуры. ТермоЭДС возникает в цепи, составленной из двух разнородных проводников,

при неравенстве температур в местах соединения этих проводников (рис. 1).

Термоэлектрическими называют явления, которые обусловлены связью между тепловыми и электрическими процессами.

Принцип действия термопары основан на эффектах Томсона и Зеебека. Эффект Томсона заключается в том, что если проводник, обладающий электронной проводимостью, нагрет по своей длине неравномерно, на его нагретом конце повышается концентрация свободных электронов, которые диффундируют к холодному концу. При этом горячий конец заряжается положительно, а холодный – отрицательно. Если замкнутая цепь состоит из двух различных проводников A и B , то ЭДС Томсона в такой цепи равна разности термоЭДС, возникающих в каждом проводнике, и зависит от температур спаев t_0 и t , причем $t \neq t_0$.

Эффект Зеебека проявляется в том, что в спаях различных проводников (A и B) возникают контактные разности потенциалов, вызванные диффузией свободных электронов из проводника, где их концентрация больше.

Общая термоЭДС, обусловленная эффектами Томсона и Зеебека, является функцией температур t_0 и t , зависит от физической природы проводников A и B и определяется по формуле

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0), \quad (1)$$

где $E_{AB}(t, t_0)$ – общая термоЭДС термопары; $e_{AB}(t)$ и $e_{BA}(t_0)$ – термоЭДС, вызванные эффектами Томсона и Зеебека.

Если $t = t_0$, то $E_{AB}(t, t_0) = 0$, и тогда $e_{AB}(t) = -e_{BA}(t_0)$.

Подставляя это равенство в (1), получим

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{BA}(t_0). \quad (2)$$

Из выражения (2) видно, что термоЭДС термопары есть функция двух температур рабочего и холодного спаев, т. е.

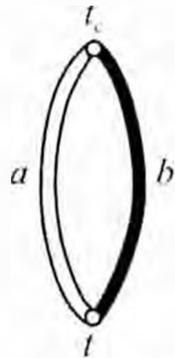


Рис. 1. Термоэлектрическая цепь

$$E_{AB}(t, t_0) = f(t).$$

Таким образом, если для данной термопары экспериментально найдена зависимость $f(t)$, то измерение неизвестной температуры сводится к определению термоЭДС при помощи измерительного прибора. Чтобы получить однозначную зависимость термоЭДС от измеряемой температуры t , надо температуру t_0 поддерживать постоянной.

Для измерения температуры термопарой необходимо измерить термоЭДС, развиваемую термометром, и температуру свободных концов. Если температура свободных концов термометра равна 0°C , то измеряемая температура определяется сразу из градуировочной характеристики, устанавливающей зависимость термоЭДС от температуры рабочего спая. Если температура свободных концов не равна 0°C , но постоянна, необходимо ввести поправку на эту температуру:

$$E(t, t_0) + E(t_0, 0) = E(t, 0).$$

Включение измерительного прибора вводит в цепь по крайней мере еще один, третий, проводник. Для того чтобы выяснить, как влияет включение в цепь термоэлектрического термометра третьего проводника, рассмотрим цепь, составленную из трех различных проводников a, b, c (рис. 2, *a*).

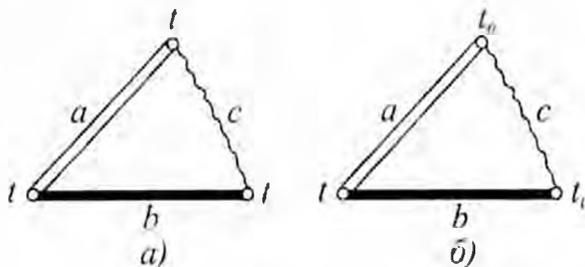


Рис. 2. Включение третьего проводника в цепь термопары.
a – температуры мест соединения цепи равны;
б – температура мест соединения третьего проводника не равна измеряемой температуре

ТермоЭДС такой цепи при равенстве температур всех мест соединения будет равна

$$E_{ABC}(t) = e_{AB}(t) + e_{BC}(t) + e_{CA}(t) = 0$$

или

$$e_{AB}(t) = -e_{BC}(t) - e_{CA}(t). \quad (3)$$

Рассмотрим термоэлектрическую цепь, состоящую из трех проводников, в случае, когда температура мест подсоединения третьего проводника с не равна измеряемой температуре (рис. 2, б):

$$E_{ABC}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0).$$

Из (3) следует, что $-e_{AB}(t_0) = e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0)$.

Тогда

$$E(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0),$$

т. е. термоЭДС цепи, составленной из трех разнородных проводников, не отличается от термоЭДС цепи, составленной из двух проводников, если температуры мест подсоединения третьего проводника одинаковы. Таким образом, включение третьего проводника в цепь термоэлектрического термометра не вызовет искажений термоЭДС термометра, если места подсоединения этого проводника будут иметь одинаковую температуру; рабочий конец термоэлектрического термометра можно изготовить путем сварки или пайки, если температура во всех точках спая будет одинакова, а проводники по всей своей длине однородны.

На основании особенностей включения третьего проводника в цепь термоэлектрического термометра могут быть использованы два варианта включения измерительного прибора (ИП) в цепь термоэлектрического термометра: в разрыв электрода с помощью проводов и в разрыв спая (рис. 3).

В первом случае (рис. 3, а) измеряемая температура будет t , температура свободных концов, поддерживаемая постоянной, t_0 и тем-

пературы мест подсоединения третьего проводника с ИП t_1' и t_1'' . Чтобы не было искажения развиваемой термоЭДС, температуры t_1' и t_1'' должны быть равны, а температуры свободных концов t_0 постоянны ($t_0 = \text{const}$).

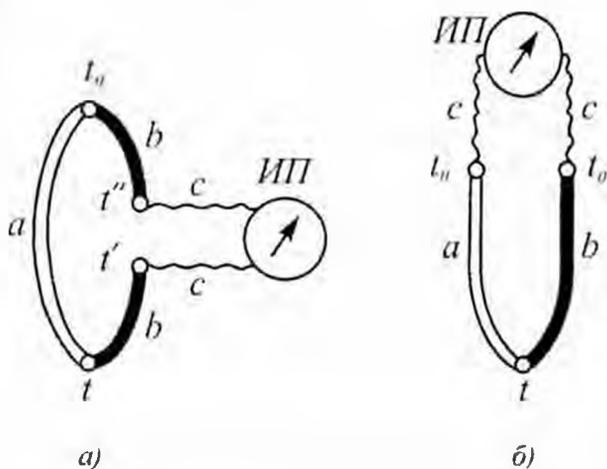


Рис. 3. Варианты включения измерительного прибора в цепь термоэлектрического термометра: а – в разрыв электрода; б – в разрыв спая

Во втором случае (рис. 3, б), третий проводник с измерительным прибором включается в разрыв свободных концов, поэтому места подсоединения третьего проводника одновременно оказываются свободными концами термоэлектрического термометра. Чтобы не было искажений термоЭДС термометра, эти температуры должны быть одинаковы и постоянны. Несмотря на отличия схем термоЭДС, развиваемая термоэлектрическими термометрами, будет одинакова, если будут одинаковы термоэлектроды A и B , а также температуры рабочих и свободных концов.

Для увеличения коэффициента преобразования термоэлектрического термометра и повышения чувствительности применяют термобагарю, т. е. несколько последовательно соединенных термопар (рис. 4).

При этом термоЭДС, развиваемая термопарами, суммируется, т. е. термоЭДС термобатареи, состоящей из n термопар, в n раз больше термоЭДС отдельной термопары. Такое включение применяется для измерений при малых разностях температур рабочего и свободного концов. Отметим, что термобатарея, увеличивая термоЭДС термометра, позволяет уменьшить погрешность измерения термоЭДС, усредняя значение измеряемой термоЭДС.

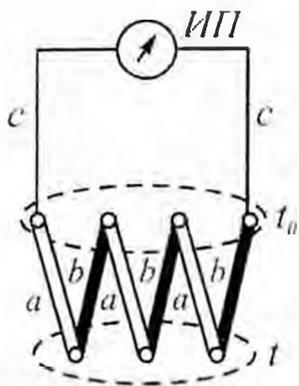


Рис. 4. Термобатарея

В ряде случаев возникает необходимость измерить разность температур в двух точках. Подобные измерения осуществляются путем применения термоэлектрического термометра, состоящего из двух термопар, у которого оба конца являются рабочими. Такой термоэлектрический термометр обычно называют дифференциальным. Схема включения дифференциального термометра приведена на рис. 5.

Рабочие концы дифференциального термоэлектрического термометра погружают в среды, разность температур ($t_1 - t_2$) которых измеряют. В этом случае термоЭДС, развиваемая термометром, будет определяться

$$E(t_1, t_2) = e(t_1) - e(t_2). \quad (4)$$

Если в интервале температур ($t_1 - t_2$) зависимость термоЭДС от температуры может быть аппроксимирована линейной зависимостью, то уравнение (4) примет вид

$$E(t_1, t_2) = k(t_1 - t_2).$$

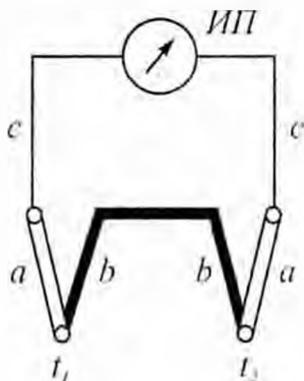


Рис. 5. Дифференциальный термоэлектрический термометр

В общем случае два любых разнородных проводника могут образовывать термоэлектрический термометр. Поэтому к материалам, используемым для изготовления термоэлектрических термометров, предъявляются *следующие требования: постоянство термоэлектрических свойств во времени, линейность градуировочной характеристики, большая величина развиваемой термоЭДС, однородность термоэлектрических свойств по длине проводника, жаростойкость, жаропрочность, химическая стойкость, возможность воспроизводимого получения сплава одинакового состава, стабильность, однозначность.*

Стабильность и воспроизводимость термоэлектрической характеристики материалов обуславливают точность измерения температуры. Жаростойкость и механическая прочность в значительной мере определяют верхние температурные границы применимости термоэлектрических материалов, так как с ростом температуры резко ускоряются процессы, ведущие к разрушению термоэлектродов: падение механической прочности; химическое взаимодействие термоэлектродов со средой, с соприкасающимися телами, друг с другом; рекристаллизация; возгонка. При выборе термоэлектродных материалов необходимо учитывать также и технологию их изготовления. Кроме того, необходимо стремиться к тому, чтобы стоимость термоэлектродных материалов была невысокой. Надежная работа термоэлектрических термометров в промышленных условиях определяется не только качеством и свойствами термоэлектродного материала, но также качеством и конструкцией арматуры термометра.

По характеру термоэлектродных материалов термоэлектрические термометры подразделяются на две группы: термоэлектрические термометры с металлическими электродами и термоэлектрические термометры с электродами из тугоплавких соединений, изготовленных в виде порошков различных материалов путем прессования с последующим спеканием.

Рассмотрим наиболее распространенные термоэлектрические термометры первой группы. В табл. 1 приведены характеристики некоторых стандартных термоэлектрических термометров.

Таблица 1

Стандартные термоэлектрические термометры

Тип термопары термоэлектрического термометра	Рабочий диапазон длительного режима работы, °С	Максимальная температура кратковременного режима работы, °С
Медь-копелевая	-200...+100	-
Медь-медно-никелевая	-200...+400	-
Железо-медно-никелевая	-200...+700	+900
Хромель-копелевая	-50...+600	+800
Хромель-алюмелевая	-200...+1000	+1300
Платинородий (10 %)-платиновая	0...+1300	+1600
Платинородий (30 %)-платинородиевая (6 %)	+300...+1600	+1800
Вольфрамрений (5 %)-вольфрамрениевая (20 %)	0...+2200	+2500

Платинородий-платиновые термоэлектрические термометры применяются для измерения температур в окислительных и нейтральных средах. В восстановительной среде эти термоэлектрические термометры работать не могут, так как происходит существенное искажение показаний термоЭДС термометра. Это лучшие из термоэлектрических термометров по точности и воспроизводимости. Они используются в качестве эталонов и образцовых термометров. Положительным электродом является платинородий (сплав 90 % платины и 10 % родия), отрицательным – чистая платина.

Платинородий-платинородиевые термоэлектрические термометры получили большое распространение для измерения высоких температур. Могут изготавливаться из следующих сплавов: положительный электрод – сплав из 30 % Rh и 70 % Pt, а отрицательный электрод из 6 % Rh и 94 % Pt. Такие термоэлектрические термометры могут применяться в окислительной (воздушной) и нейтральной атмосфере. Они отличаются большой стабильностью градуировочной характеристики. При технических измерениях темпе-

ратур платинородий-платинородиевыми термоэлектрическими термометрами нет необходимости термостагировать их свободные концы и, следовательно, вводить поправку.

Хромель-копелевые термоэлектрические термометры широко применяют для измерения температур различных сред. Они обладают наибольшим коэффициентом преобразования из всех стандартных термометров. Для изготовления положительного электрода используют хромель, представляющий собой жаропрочный немагнитный сплав на никелевой основе (89 % Ni; 9,8 % Cr; 1 % Fe; 0,2 % Mn). Отрицательный электрод – копель (сплав 55 % Cu и 45 % Ni). Верхний температурный предел длительного применения термоэлектродов из копельной проволоки находится в пределах 500...600 °С при работе в чистом воздухе. Это объясняется тем, что копельная проволока, содержащая медь, сравнительно быстро окисляется при высоких температурах – и, следовательно, происходит изменение термоЭДС термоэлектрода.

Хромель-алюмелевые термоэлектрические термометры также широко применяются для измерения температур различных сред. Положительным термоэлектродом является хромелевая проволока, отрицательным служит алюмель, представляющий собой магнитный сплав на никелевой основе (94 % Ni; 2 % Al; 2,5 % Mn; 1 % Si; 0,5 % примеси). Хромель-алюмелевые термоэлектрические термометры обладают лучшей сопротивляемостью окислению, чем другие термопары из неблагородных металлов. Верхние пределы применения хромель-алюмелевых термоэлектрических термометров зависят от диаметра термоэлектродов. Кроме того, они отличаются достаточно большой стабильностью градуировочной характеристики при высокой интенсивности ионизирующих излучений.

Вольфрамрений-вольфрамрениевые термоэлектрические термометры предназначены для длительного измерения температур от 0 до 2200 °С. Положительный электрод – сплав из 95 % вольфрама и 5 % рения, отрицательный – сплав из 80 % вольфрама и 20 % рения. Такой термометр имеет стандартные характеристики. Создание термоэлектрических термометров из более тугоплавких и дешевых материалов весьма актуально и целесообразно.

Все термометры из неблагородных металлов применяют в восстановительной и нейтральной атмосферах. В окислительной атмосфере срок их службы ограничен.

Для удобства применения термоэлектрические термометры специальным образом армируются. При этом преследуются следующие цели: электрическая изоляция термоэлектродов; защита термоэлектродов от вредного воздействия измеряемой температуры и окружающей среды; защита термоэлектродов и зажимов выводов термоэлектродов от загрязнений и механических повреждений; придание необходимой механической прочности; обеспечение удобства монтажа и подключения соединительных проводов.

На рис. 6 показано устройство термоэлектрического термометра. Термоэлектроды 1 расположены так, что их спай 2 касается защитного чехла 3. На термоэлектроды надеты изоляционные бусы 4. На конце защитного чехла крепится головка термометра 5, в которой расположена колодка 6 с зажимами 7 для термоэлектродов и соединительных проводов 8.

Рабочий спай термоэлектрического термометра чаще всего изготавливают путем сварки, в некоторых случаях применяют пайку или скрутку. В отдельных конструкциях термоэлектроды привариваются к защитному чехлу. Электрическая изоляция термоэлектродов осуществляется материалами, которые сохраняют свои изоляционные свойства при соответствующих температурах и не загрязняют термоэлектроды. Наибольшее применение при температурах до 1350 °С получили керамические одно- и двухканальные трубки и бусы, для более высоких температур применяются бусы из оксида алюминия.

Для защиты термоэлектродов от воздействия измеряемой среды их помещают в защитный чехол из газонепроницаемых материалов, выдерживающих высокие температуры

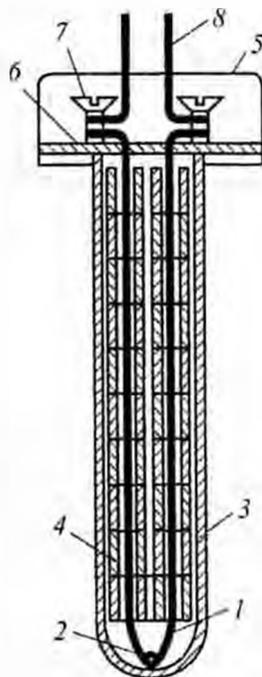


Рис. 6. Устройство термоэлектрического термометра

и давления среды. Защитные чехлы изготавливают чаще всего из различных марок стали для температур до 1000 °С. Для более высоких температур применяют специальные чехлы из тугоплавких соединений: диборида циркония с молибденом (для восстановительных сред) или дисилицида молибдена (для окислительных сред). Внешний вид некоторых серийно изготавливаемых термоэлектрических термометров представлен на рис. 7.

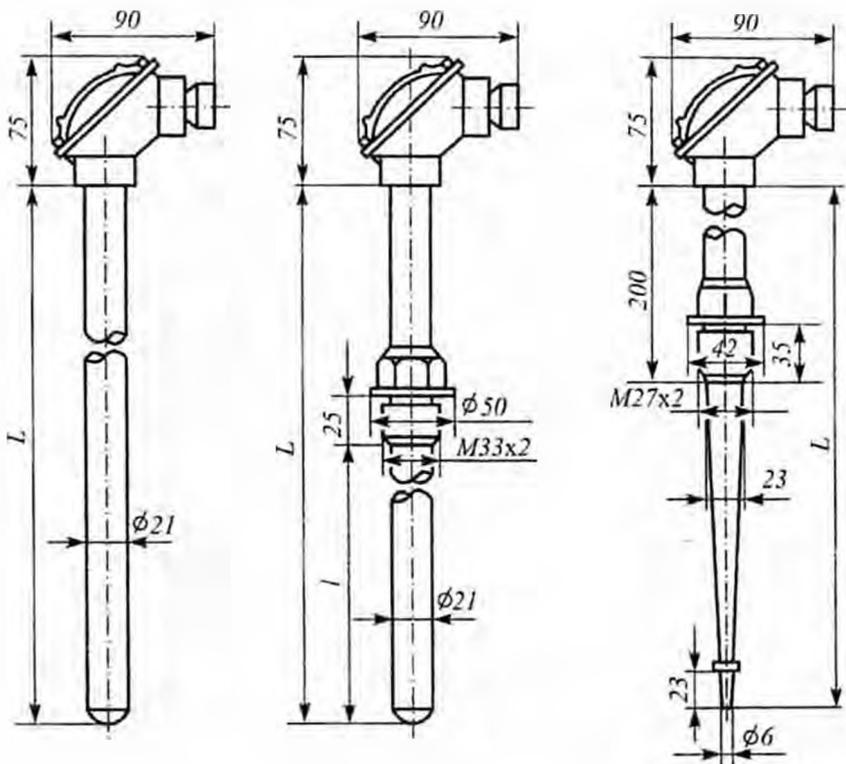


Рис. 7. Внешний вид термоэлектрических термометров

Большое распространение в последнее время получили термоэлектрические термометры кабельного типа (рис. 8).

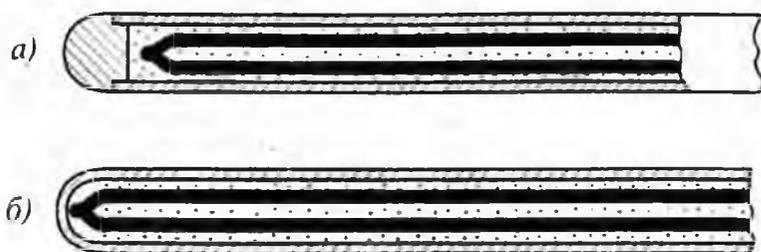


Рис. 8. Устройство термоэлектрических термометров кабельного типа:
а – с изолированными спаями; *б* – с неизолированными спаями

Они представляют собой два термоэлектрода, помещенных в тонкостенную оболочку. Пространство между термоэлектродами и оболочкой заполняется специальной изолирующей засыпкой (порошок MgO или Al_2O_3). Оболочка изготавливается из специальной жаропрочной стали. Выпускают хромель-алюмелевые и хромель-копелевые термоэлектрические термометры с изолированными (рис. 8, *а*) и неизолированными (рис. 8, *б*) спаями. Они применяются в интервале температур от -50 до $+900$ °С при давлении до 40 МПа. Существенным преимуществом кабельных термоэлектрических термометров является их радиационная стойкость, позволяющая им работать в реакторах АЭС, стойкость к вибрации, тепловым ударам и механическим нагрузкам.

Свободные концы термоэлектрических термометров, как указывалось выше, должны иметь температуру, равную 0 °С, или же постоянную температуру, на величину которой нужно делать поправку. Если расположить свободные концы в головке термоэлектрического термометра, (т.е. там, где кончаются термоэлектроды), то будет невозможно обеспечить постоянство температуры свободных концов, так как температура головки термометра будет зависеть от режима работы установки, температуры окружающего воздуха и др. В связи с этим возникает необходимость удлинить термоэлектрический термометр, не искажая его термоЭДС, чтобы отвести свободные концы в такое место, где будет удобно их термостатировать, или поставить устройство для автоматического введения поправки. Отметим, что удлиняющие провода должны обладать определенными свойствами, чтобы исключить возникновение дополнитель-

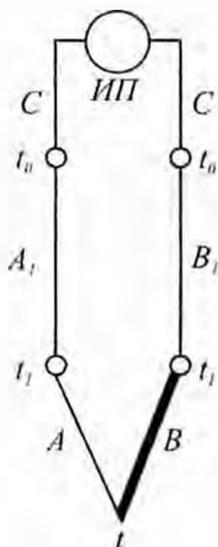


Рис. 9. Схема соединений измерительного прибора с термоэлектрическим термометром термоэлектродными проводами

ной термоЭДС. Соединительные провода должны иметь ту же градуировочную характеристику, что и сам термометр. На рис. 9 представлена принципиальная схема комплекта для измерения температуры, включающего термопару с электродами A и B , удлинительные (компенсационные) провода A_1 и B_1 , медные провода C и измерительный прибор $ИП$.

Если температура рабочего спая t , температура мест соединения термоэлектродов термопары с компенсационными проводами t_1 , а t_0 – температура мест соединения компенсационных проводов с медными, то термоЭДС такой цепи будет равна

$$E = E_{AB}(t, t_0) - E_{AB}(t_1, t_0) + E_{A_1B_1}(t_1, t_0),$$

т.е. если термоэлектрические характеристики термопары AB и компенсационных проводов A_1B_1 одинаковы, то изменение температуры t_1 не приведет к погрешности в измерении.

Проверка технических термоэлектрических термометров

Проверка технических термоэлектрических термометров сводится к определению температурной зависимости термоЭДС и сравнению полученной градуировки со стандартными значениями.

Градуировочная характеристика термопары – зависимость возникающей в ней термоЭДС от температуры рабочего спая при нулевой температуре свободных концов.

Градуировка проводится двумя способами: по постоянным (реперным) точкам и методом сличения.

Градуировка по постоянным точкам является наиболее точной и применяется для образцовых термоэлектрических термометров. Проверяемый термоэлектрический термометр помещают в тигель с

металлом высокой степени чистоты, установленный в печи, и регистрируют площадку на кривой изменения термоЭДС по мере повышения или понижения температуры металла. Данная площадка соответствует температуре плавления или кристаллизации металла, причем более предпочтительно вести градуировку по точке кристаллизации. В качестве реперных металлов используют золото, палладий, платину и др.

Методом сличения проводится градуировка образцовых и технических термоэлектрических термометров. Он заключается в непосредственном измерении термоЭДС градулируемого термоэлектрического термометра при постоянной температуре свободных концов $t_0 = 0$ °С и различных температурах t_2 рабочего спая, причем последняя определяется с помощью образцового термометра.

Порядок выполнения работы

1. Собрать термоэлектрические цепи: хромель-алюмелевая термопара из двух электродов – ИП (измерительный потенциометр); хромель-алюмелевая термопара с включением третьего проводника в рабочий спай – ИП (измерительный потенциометр); термобатарея – ИП (измерительный потенциометр); хромель-алюмелевая дифференциальная термопара – ИП (измерительный потенциометр).

2. Закипятить воду в стакане из термостойкого стекла.

3. Произвести измерение температуры кипящей воды с помощью собранных схем и с использованием эталонного термометра.

4. Сравнить полученные данные, определить относительную погрешность каждого измерения. Полученные результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

Вид термопары	E , мВ	T , °С	Δ , %
Обычная, из 2 проводников			
С включением третьего проводника			
Термобатарея			
Дифференциальная термопара			

5. Включить лабораторную печь, в которую помещены две термопары, градуировочная характеристика одной из которых известна (эталонная термопара), а градуировочную характеристику другой необходимо построить (исследуемая термопара).

6. В процессе разогрева печи снимать показания температуры эталонной термопары и величину термоЭДС исследуемой термопары каждые 2 минуты. Показания занести в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

τ , мин	$E_{\text{эталон}}$, мВ	$E_{\text{исслед}}$, мВ	$T_{\text{эталон}}$, °С	$T_{\text{исслед}}$, °С

7. По данным таблицы построить градуировочную характеристику в координатах « E , мВ, – T , °С».

Содержание отчета

Общие сведения о принципе работы термометрического термометра, типах и методах градуировки термопар. Описание методики проведения эксперимента. Результаты опытов в виде таблиц, расчетов, графиков. Выводы.

Литература

1. Теплотехника металлургического производства: учебное пособие для вузов. В 2 т. Т. 1. Теоретические основы / В.А. Кривандин [и др.]. – М.: МИСИС, 2002.

2. Арутюнов, В.А., Миткалинный, В.И., Старк, С.Б. Металлургическая теплотехника. В 2 т. – М.: Металлургия, 1974.

3. Стальной слиток. В 3 т. Т. 2. Затвердевание и охлаждение / Ю.А. Самойлович [и др.]; под общ. ред. В.И. Тимошпольского, Ю.А. Самойловича. – Мн.: Белорусская наука, 2000.

4. Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы / А.М. Беленький [и др.]. – М.: Металлургия, 1981.

5. Иванова, Г.М., Кузнецов, Н.Д., Чистяков, В.С. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
6. Тимошпольский, В.И. Теплотехнологические основы металлургических процессов и агрегатов высшего технического уровня. – Мн.: Навука і тэхніка, 1995.
7. Промышленные теплотехнологии. Моделирование нелинейных процессов: учебник / В.И. Тимошпольский [и др.]; под общ. ред. В.И. Тимошпольского. – Мн.: Вышэйшая школа, 2000.
8. Технические средства автоматики / В.В. Кишнев [и др.]. – М.: Металлургия, 1981.
9. Прибытков, И.А., Левицкий, И.А. Теоретические основы теплотехники. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.

Учебное издание

**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ.
ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ТЕРМОПАРЫ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Металлургическая теплотехника и теплоэнергетика»
для студентов специальностей
1-36 01 05 «Машины и технология обработки
материалов давлением»,
1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства»,
1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка»,
1-42 01 02 «Порошковая металлургия,
композиционные материалы, покрытия»

Составители:
ТИМОШПОЛЬСКИЙ Владимир Исаакович
ТРУСОВА Ирина Александровна
КЛИМОВИЧ Галина Анатольевна
РАТНИКОВ Павел Энгелевич

Редактор Л.Н. Дубовик

Подписано в печать 29.05.2006.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Гаймс.
Усл. печ. л. 1,2. Уч.-изд. л. 0,9. Тираж 100. Заказ 219.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.
220013, Минск, проспект Независимости, 65.