

в остальном теле ($X_2 = 150$ мм) практически постоянна. Следует иметь в виду, чем толще стенка кокиля, тем медленнее она охлаждается. Для интенсификации процесса литья предлагается использовать тонкостенные чугуны с принудительным охлаждением внешней поверхности [2]. Для уменьшения тепловых потоков от отливки к форме и предупреждения отбела рабочая поверхность кокиля должна иметь достаточно высокое термическое сопротивление. Это достигается путем нанесения постоянных защитных покрытий. Эксперименты, проведенные в условиях завода, показали, что кокили с алитированной рабочей поверхностью позволяют при использовании модифицирования получать тонкостенные чугуны отливки без отбела.

Л и т е р а т у р а

1. Вейник А.И. Теория затвердевания отливки. - М.: Машгиз, 1960. - 252 с. 2. Кравченко Е.В., Гурвич Э.А. К выбору оптимального теплового режима металлической формы при циклическом режиме литья. - В сб.: Металлургия. Минск: Вышэйшая школа, 1980, вып. 14, с. 61-62.

УДК 530.1:621.74

А.А.Вейник, инженер (БГУ),
А.И.Вейник, чл.-корр. АН БССР

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

В работах [1, 2] показана возможность изменять - путем соответствующего подбора материалов - теплопроводность и теплоемкость температурного датчика с целью приближения его свойств к свойствам исследуемой литейной формы. Здесь приводятся экспериментальные данные, характеризующие специфические особенности датчика и облегчающие подбор нужных материалов.

Установлено, что термоэлектрические свойства датчика сильно зависят от состояния контактирующих поверхностей. В частности, на величину ЭДС заметно влияют адсорбированные газы и жидкости, чистота поверхностей и т. д. Например, протирка образцов спиртом может уменьшить ЭДС в два и более раз. Адсорбированные вещества хорошо удаляются с помощью вакуума. Поэтому датчик, помещенный под вакуумный колпак, дает значительно более высокую ЭДС, чем датчик, находящийся на открытом воздухе.

Из сказанного следует, что для повышения ЭДС и стабильности показаний спай датчика целесообразно организовывать методом напыления нужных материалов в вакууме. Например, если требуется соединить медную и алюминиевую пластинки, то вначале желательно на контактную поверхность меди напылить тонкий слой алюминия, а затем на поверхность алюминия напылить медь. В результате вакуумного напыления возникает хорошая адгезия [1]. После напыления простое соприкосновение пластин дает надежный контакт, ибо теперь уже соединяются между собой одинаковые по составу поверхности: алюминиевая с алюминиевой, а медная с медной. При этом адсорбция практически перестает влиять на ЭДС по причинам, о которых говорится в данной статье.

Опытные данные приведены в табл. 1. Во всех случаях в качестве эталонных материалов использованы медь и алюминий. В

Таблица 1. ЭДС одиночных материалов и датчиков

Символ	Материал	Датчик, мкВ			Примечание
		В вакууме	На воздухе	На воздухе*	
Si	-1773	+0,01	+0,05	-0,20	Пластина КЭФ20; $\varnothing 76 \times 0,5$ мм; ~ 0 Вт
Si	-1492	+0,01	+0,01	-0,06	
Si	-1292	-0,25	+0,08	-0,09	КЭФ2; $\varnothing 35 \times 0,3$ мм; схема Cu-V-Si-Al-Cu; 0,01 Вт
Si	-783	-0,03	~ 0	-0,01	
Ge	-669	+0,06	~ 0	-0,12	КЭФ0,1; $\varnothing 60 \times 0,4$ мм; 0,001 Вт
Si	-546	-0,01	+0,01	-0,08	
Bi	-70,7	-4,6	-0,67	-0,11	$\varnothing 30 \times 0,7$ мм Cu и Al не напылены; 0,034 Вт
Bi	-70,7	-	-	-0,07	
Co	-29,4	-0,23	-0,06	-0,03	КЭФ0,005; $53 \times 0,7 \times 7$ мм; 0,019 Вт
Co + Sm	-20,3	+0,02	+0,01	-	
Ni	-19,7	-0,07	~ 0	+0,06	Литой; 0,035 Вт
Ta	-0,91	+0,02	~ 0	-	
Al	-0,6	~ 0	~ 0	~ 0	Литая фольга; $\varnothing 14 \times 0,2$ мм; $i_{\text{пс}} = 7^{***}$; 0,014 Вт
Mg	-0,32	+0,04	~ 0	-	
Y	~ 0	+0,02	~ 0	-	Спеченный порошок КС37; 37 % Sm
C	+0,05	+0,03	~ 0	-	
Sn	+0,09	+0,02	+0,01	-	0,013 Вт
Pb	+0,19	+0,04	+0,02	-	
Nb	+0,83	+0,04	~ 0	-	0,010 Вт
La	+1,53	~ 0	~ 0	-	
Cu	+2,34	~ 0	~ 0	~ 0	0,009 Вт
V	+2,5	-0,10	~ 0	-0,06	
W	+3,03	+0,05	+0,01	-	0,019 Вт
In	+3,1	+0,03	~ 0	-	
Zn	+3,37	+0,01	~ 0	-	0,009 Вт
Cd	+4,94	+0,06	~ 0	-	
Mo	+7,74	+0,46	+0,06	+0,05	0,009 Вт
Ce	+10,9	-0,01	~ 0	-	
Fe	+11,9	+0,16	+0,08	+0,08	0,019 Вт

Материал		Датчик, мкВ			Примечание
Символ	Термо-ЭДС, мкВ/К	В вакууме	На воздухе	На воздухе	
Fe	-	+0,01	+0,01	+0,05	Порошок; 0,007 Вт
Fe+Bi	-	+0,30	+0,03	+0,11	Схема: Cu-Fe-Bi-Al-Cu; 0,034 Вт
Fe+Bi	-	+2,66	+1,12	-0,06	Схема: Cu-Fe-Al-Bi-Cu; 0,13 Вт
Ti	+12	+0,25	+0,17	~0	
Ti	-	-	-	+0,06	Все слои толщиной 2-3 мкм напылены: $i_{пс} = 7$; 0,013 Вт
Ti	-	-	-	+0,12	Фольга $\phi 28 \times 0,1$ мм; $i_{пс} = 7$; 0,047 Вт
Zr	+12,8	+0,01	~0	-	
Cr	+17,7	+0,26	+0,05	+0,07	0,015 Вт
Cr	-	-	-	-0,14	Все слои напылены; $i_{пс} = 7$; 0,065 Вт
Sb	+50,9	+0,08	-0,02	-	
Te	+61,7	+2,15	+1,38	-0,79	1,49 Вт
Te	-	-4,23	-0,25	-0,29	Порошок; 0,001 Вт
Se	+1000	-1,31	-1,98	-	
Si	+1676	-0,8	+0,8	~0	КДБ10; $\phi 76 \times 0,4$ мм; Cu и Al не напылены; ~0 Вт
Si	-	+0,01	+0,01	+0,06	Слой КЭФ0,2 толщиной 9 мкм выращен; схема: Cu-КДБ10-КЭФ0,2-Al-Cu; 0,008 Вт
Si	-	+0,03	+0,01	~0	Схема: Cu-КЭФ0,2-КДБ10-Al-Cu
Si	-	-	-	-23100	Диод плоскостной 2Д201Г; 0,007 Вт
Si	-	-	-	-381000	2Д201Г; $i_{пс} = 21$; 0,044 Вт
Si	-	-	-	-1310	2Д201Г; $i_{пр} = 21$; 0,002 Вт
Si	-	-	-	-360000	Диод точечный Д106; 0,039 Вт
Si	-	-	-	-496000	Д106; $i_{пс} = 21$; 0,014 Вт
Si	-	-	-	-12900	Д106; $i_{пр} = 21$; 0,002 Вт
Ge	-	-1,63	-2,4	-0,35	Диод плоскостной Д302; 0,015 Вт
Ge	-	-	-	-500	Д302; $i_{пс} = 224$; 0,93 Вт
Ge	-	-	-	-0,6	Д302; $i_{пс} = 224$; 1,1 Вт
Ge	-	-875	-556	-43,5	Диод точечный Д2Ж; 0,075 Вт
Ge	-	-	-	-10000	Д2Ж; $i_{пс} = 7$; 82000 Вт***
Ge	-	-	-	-25500	Д2Ж; $i_{пс} = 14$; 75000 Вт
Ge	-	-	-	-36300	Д2Ж; $i_{пс} = 21$; 652 Вт
Ge	-	-	-	-13,2	Д2Ж; $i_{пс} = 7$; 1,79 Вт
Ge	-	-	-	-5,2	Д2Ж; $i_{пр} = 14$; 2,13 Вт
Ge	-	-	-	-5,2	Д2Ж; $i_{пр} = 21$; 1,96 Вт
Ge	-	-	+70000	-	Д2Ж; освещен трехсотваттной лампочкой
GaAs	-	+0,57	-0,76	+0,33	Диод туннельный АИ201А; 0,326 Вт
GaAs	-	-	-	+0,10	АИ201А; $i_{пс} = 7$; 0,022 Вт
GaAs	-	-	-	+0,11	АИ201А; $i_{пр} = 7$; 0,032 Вт
Se	-	+0,04	+0,01	-0,05	Диод плоскостной; 0,007 Вт

* Измерено магнитоэлектрическим зеркальным гальванометром М17/11, при этом выдаваемая датчиком в окружающую среду электрическая мощность умножена на 10^{15} и указана в примечании; ** i - число датчиков в цепи, соединенных последовательно (индекс "пс") или параллельно (индекс "пр"), выдаваемая цепью мощность не пропорциональна i ; *** при измерениях важно помнить, что ЭДС полупроводниковых диодов, особенно точечных германиевых, претерпевает периодические суточные, годовые и иные изменения на порядок и более под действием космических излучений, а также биополя людей, животных и т.д., проникающего сквозь стенки немагнитной и заземленной медной и стальной бомб, и следовательно, ничего общего не имеющего с электромагнитным полем.

основном датчик содержит три материала, из которых один (X) испытуемый. Материалы соединены между собой по схеме: Cu-X-Al-Cu. В данном случае медный проводник разорван, в этот разрыв включен измерительный потенциометр типа P348 или P309 чувствительностью 10^{-8} В. Правая медная пластина, контактирующая с алюминием, присоединена к положительной клемме потенциометра, левая, контактирующая с испытуемым материалом, — к отрицательной. На пластинки германия и кремния медь и алюминий напылены. Пластинка селена взята из полупроводникового выпрямительного элемента. В остальных случаях контакт является механическим и обеспечивается с помощью специальных зажимов. Площадь контакта примерно равна 3 см^2 , она несколько больше для германия и кремния, что оговорено в примечаниях табл. 1. Испытания проводились в изотермических условиях в медной калориметрической бомбе диаметром 130, высотой 200 и толщиной стенок 20 мм. Бомба помещена под вакуумный колпак, температура комнатная, давление атмосферное и пониженное до значений $(2-5) \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. В табл. 1 для сравнения приведены данные для одиночных материалов.

Из таблицы видно, что вакуум существенно влияет на ЭДС датчика. Величина ЭДС датчика примерно на два порядка ниже, чем ЭДС одиночных материалов. В этом и заключается основной недостаток датчика. Однако имеющиеся у него преимущества носят принципиальный характер и значительно перекрывают указанный недостаток [1, 2]. Данные, приведенные в табл. 1, могут быть использованы на практике при выборе датчика, обладающего необходимыми теплопроводностью и теплоемкостью. Полученные в опыте закономерности хорошо интерпретируются с помощью термодинамической теории, изложенной в работе [2]. Например, независимость показаний датчика от адсорбции на поверхностях напыленного слоя и соприкасающегося с ним одноименного материала объясняется следующим образом.

Согласно [2], ЭДС датчика определяется в виде суммы скачков потенциала на поверхностях контакта разнородных материалов 1, 2 и 3 (рис. 1, а). При этом в процессе участвуют тончайшие поверхностные слои x , равные нескольким диаметрам атомов или молекул. Адсорбированные вещества располагаются на этих поверхностях и сильно изменяют их термодинамические свойства. Именно поэтому в общем случае адсорбция резко влияет на ЭДС. Однако если на поверхность данного вещества напылить слой другого, с которым должно соприкасаться данное, то получится схема, изображенная на рис. 1, б. В этих условиях

суммарная ЭДС

$$V = f_{12} - f_{21} + f_{21} - f_{12} + f_{13} - f_{31} + f_{34} - f_{43} + \\ + f_{41} - f_{14} = f_{13} - f_{31} + f_{34} - f_{43} + f_{41} - f_{14},$$

где, как и в работе [2], потенциал V является функцией f от температуры T , причем первый индекс соответствует номеру данной пластины, а второй — номеру пластины, с которой соприкасается данная. В рассматриваемом примере роль адсорбированного слоя играет материал 2, который расположен симметрично по отношению к двум одинаковым материалам 1, поэтому из рассмотрения он выпадает и на ЭДС влияния оказать не может. Такая же картина получается при разрыве медного проводника и включении в него прибора, который тоже играет роль материала 2. Аналогичная ситуация имеет место и при большем числе симметрично расположенных проводников. Например, в схеме на рис. 1, в из рассмотрения выпадают материалы 2 и 3. Вместе с тем в цепи из тех же проводников, но соединенных несимметрично (рис. 1, г), не выпадает ни один из материалов.

Сравнительно малая ЭДС цепи обусловлена следующими причинами. У всех идеальных тел функция f имеет одинаковые значения. Например, в уравнении состояния Друде — Лоренца одинаковыми оказываются коэффициенты пропорциональности, связывающие давление электронного газа в металле, а следовательно, и потенциал V , с температурой T . У реальных тел функции f заметно отличаются друг от друга. На рис. 1, д они изображены сплошными линиями. Это различие приводит к появлению разностей потенциалов (ЭДС) между разнородными одиночными материалами. На рис. 1, д значения для трех таких материалов обозначены буквенными индексами А, В и С, а разности — двойными индексами АВ, ВС и СА. Следовательно, ЭДС одиночных материалов представляют собой величины первого порядка малости по сравнению со значениями самих потенциалов V .

Наличие взаимного влияния веществ в зоне контакта несколько изменяет функции f . На рис. 1, д они изображены штриховыми линиями и обозначены двойными цифровыми индексами. Разница между сплошными и штриховыми линиями отражает взаимодействие веществ, она характеризует разности между разностями потенциалов. Следовательно, ЭДС элемента представляют собой величины второго порядка малости по сравнению с функциями f . Например, для тройной цепи ЭДС (рис. 1, а)

$$V = f_{12} - f_{21} + f_{23} - f_{32} + f_{31} - f_{13}.$$

Это равносильно следующей разности отрезков:

$$V = [(f_{12} - f_{13}) + (f_{31} - f_{32})] - (f_{21} - f_{23}).$$

Соответствующие отрезки на рис. 1, д отмечены тройными вертикальными прямыми, что очень наглядно иллюстрирует высказанную мысль. Если учесть взаимное влияние основного материала с его поверхностным слоем x , то можно найти еще одну поправку – уже третьего порядка малости, и т. д.

В заключение отметим, что в элементе в спаях происходит поглощение и выделение теплоты Пельтье, а в проводниках – поглощение и выделение теплоты Томсона и выделение теплоты Джоуля. Фактическая теплота Пельтье соответствует разностям, обозначенным цифровыми индексами (рис. 1, д), и равна произ-

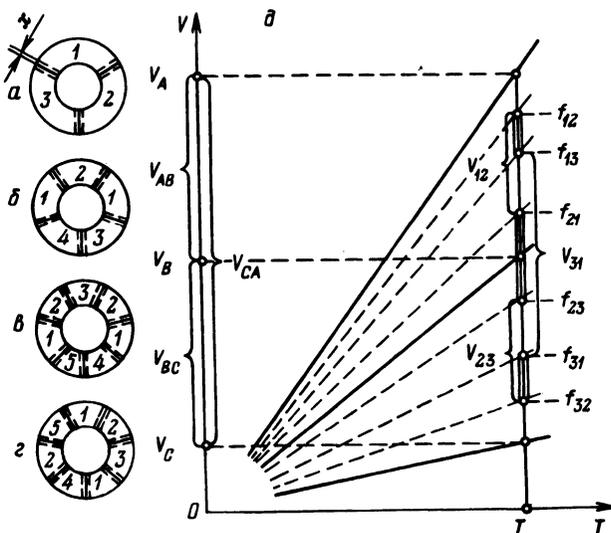


Рис. 1. Схема, поясняющая физический механизм возникновения ЭДС в изотермических условиях.

ведению этих разностей на силу тока. Алгебраическая сумма теплот Пельтье и Томсона равна и противоположна по знаку суммарной джоулевой теплоте. Этим балансом обеспечивается равновесие системы и окружающей среды в условиях циркуляции заряда.

Л и т е р а т у р а

1. Вейник А.А., Вейник А.И. Измерение температуры литейной формы с помощью полупроводникового термоэлектрического элемента. – В сб.: Металлургия. Минск: Высшая школа, вып. 16, 1981, с. 113–115.
2. Вейник А.А., Вейник А.И. О некоторых свойствах термоизмерительного элемента для литейной формы. – В сб.: Металлургия. Минск: Высшая школа, вып. 16, 1981, с. 117–119.