

5
Г. З. НЕССЕЛЬШТРАУС

ПИРОМЕТРЫ В ЗАВОДСКОМ ДЕЛЕ

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
СЕВ.-ЗАП. ОБЛ. ПРОМБЮРО ВСНХ
ЛЕНИНГРАД
1927

Г. З. НЕССЕЛЬШТРАУС

ПИРОМЕТРЫ

В ЗАВОДСКОМ ДЕЛЕ

ПРИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ И
МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ
ПРОИЗВОДСТВАХ

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

С 50 рисунками в тексте

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР



ИЗДАТЕЛЬСТВО
СЕВ.-ЗАП. ОБЛ. ПРОМБЮРО ВСНХ
ЛЕНИНГРАД
1927

41388

№ 89, 26.08
Дек.

Ф. 35

QC
277



ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ.

Со времени выхода в свет 1-го издания настоящего сочинения прошло почти 10 лет, со времени напечатания 2-го, несколько переработанного и дополненного издания — 6 лет, в течение которых пирометрия сделала и продолжает делать новые, весьма существенные успехи и еще более расширила область своего применения в разных отраслях техники и заводского дела и, особенно, в сфере металлургической и металлообрабатывающей промышленности. Все это побудило автора в предлагаемом вниманию читателей 3-ьем издании сделать значительные дополнения и изменения в тексте по сравнению с предшествующими изданиями, с сохранением, однако, в главнейшем прежнего характера изложения, рассчитанного на удовлетворение запросов со стороны предприятий и лиц, имеющих дело с измерением высоких температур при выплавке и горячей механической обработке металлов и, в особенности, при термической обработке полуфабрикатов и готовых изделий из металлов и металлических сплавов.

В соответствии с увеличившимся объемом книги добавлены и новые иллюстрации, общее число коих составляет 50 рисунков, расположенных в тексте.

Г. З. Нессельштраус.

Ленинград, сентябрь 1926 года.

СОДЕРЖАНИЕ.

	Стр.
Глава I.	
Введение и краткий обзор основных моментов развития пирометрии	5
Глава II.	
Дилатометрические пирометры	12
Глава III.	
Термоэлектрические пирометры	18
Глава IV.	
Пирометры электрического сопротивления	50
Глава V.	
Оптические пирометры фотометрические	62
Глава VI.	
Оптические пирометры радиационные	74
Глава VII.	
Общие принципы автоматического контроля и регулирования температуры с помощью пирометров	84

ГЛАВА I.

Введение и краткий обзор основных моментов развития пирометрии.

Пирометрия, или учение о способах и приемах измерения высоких температур и об устройстве употребляемых для этой цели приборов — так наз. пирометров, представляет в теоретическом отношении отдел прикладной физики, в практическом же отношении — чисто техническую дисциплину, имеющую чрезвычайно обширное приложение во многих отраслях механической и химической технологии и, в частности, во всех тех случаях, когда в условиях производства или эксплуатации приходится контролировать и регулировать технические процессы, протекающие при более или менее высоких температурах. Весьма многие металлургические процессы совершаются, как известно, при очень высоких температурах, причем влияние этого фактора на исход процесса является едва ли не в большинстве случаев наиболее важным и решающим. То же самое имеет место в стекольном и керамиковом деле и в целом ряде других чисто химических производств, равно как и при обслуживании силовых установок (процессы горения топлива). Отливка, прокатка, ковка, отжиг и закалка металлов и их сплавов, изготовление разных сортов стекла и керамиковых изделий, производство различных химических препаратов, работа парокотельных установок и двигателей внутреннего сгорания — все это требует применения пирометров разнообразных типов и конструкций в зависимости от индивидуальных условий и особенностей того или иного производства или технического процесса, протекающего с участием высоких температур.

Если остановиться, в частности, на роли высоких температур в процессах металлургии железа и стали, то не подлежит сомнению, что безусловная необходимость соблюдения строго определенных температурных условий не только при термической и горячей механической обработке стали, но и при отливке ее, в настоящее время является для большинства металлургов своего рода аксиомой. В виду этого вопрос о возможно более точном измерении температуры при названных металлургических процессах выдвигается на первую очередь.

До тех пор, пока роль температуры нагрева стали, как фактора, оказывающего значительное влияние на физические и механические свойства готового продукта, не была в достаточной мере признана, вопрос о правильном измерении температуры не особенно занимал техников, и считалось достаточным грубо-эмпирическое определение ее по степени яркости и цвету раскаленного металла. К сожалению, такой примитивный способ определения высоких температур и по настоящее время не вполне еще стал анахронизмом, и нередко такие важные операции, как прокатка, ковка и прессование стальных слитков и заготовок, производятся без применения пирометров — единственно „по цвету“. Заводская практика в этом отношении выработала даже своеобразную шкалу температур, охватывающую всю область температур от начального темно-красного каления до ярко-белого; насколько, однако, такая шкала является случайной и не свободна от крупных погрешностей даже при очень большом навыке и опытности наблюдателя — показывают нижеприведенные данные таблицы 1, в которой помещены рядом 3 шкалы температур, составленные такими известными исследователями-экспериментаторами, как: Пулле (Pouillet), Тэйлор и Уайт (Taylor — White) и Гау (Howe).

Применение научных методов в деле изучения различных металлургических процессов и физико-химических свойств получаемых при металлургических производствах продуктов, при своем дальнейшем развитии, вполне естественно, потребовало и постановки пирометрии на должную высоту. В этом отношении весьма знаменательно счастливое совпадение,

ТАБЛИЦА 1.

Шкалы разных наблюдателей.	Цвета каления железа.	Температура.	
		Град. Цельсия.	Град. Фаренгейта.
Шкала Пуллье (Pouillet) (1836 г.)	Начальный темно-красный	525	—
	Темно-красный	700	—
	Темно-вишневый красный	800	—
	Вишнево-красный	900	—
	Светло-вишневый	1.000	—
	Темно-оранжевый	1.100	—
	Светло-оранжевый	1.200	—
	Белый	1.300	—
	Ярко-белый (сварочный жар)	1.400	—
Ослепительно-яркий белый	1.500	—	
Шкала Гау (Howe) (1900 г.)	Начало покраснения в темноте	470	878
	Начало покраснения на свету	475	887
	Темно-красный	550 — 625	1.022 — 1.157
	Вишнево-красный	700	1.292
	Светло-красный	850	1.562
	Желтый	950 — 1.000	1.742 — 1.832
	Светло-желтый	1.050	1.922
	Яркий светлo-желтый	1.100	2.012
Белый	1.150	2.102	
Шкала Тэйлора и Уайта (Taylor — White). (1900 г.)	Темный кроваво-красный	532	990
	Темно-красный	565	1.050
	Темно-вишневый красный	635	1.175
	Умеренно-вишневый красный	677	1.250*
	Вишнево-красный	746	1.375
	Светло-вишневый красный	843	1.550
	Оранжевый	900	1.650
	Светло-оранжевый	940	1.725
	Желтый	996	1.825
	Светло-желтый	1.080	1.975
Белый	1.204	2.200	

Примечание: Формулы для пересчета температур со шкалы Фаренгейта, до сих пор весьма употребительной в Англии и Америке, на шкалу Цельсия и обратно, следующие:

$$C = \frac{5}{9} (F - 32);$$

$$F = 32 + \frac{9}{5} C.$$

В этих формулах С есть температура, выраженная в градусах Цельсия, а F — в градусах Фаренгейта.

что знаменитый французский ученый Ле-Шателье (Le Chate-lier), так много сделавший в области экспериментальной металлургии и металлографии, в то же время явился и одним из виднейших деятелей на поприще научной и практической пирометрии, едва ли не более всех способствовавшим внедрению и распространению методов точного измерения высоких температур в лабораториях и на заводах.

Следует отметить, что хотя пирометрия, как и термометрия, по характеру своему составляет часть области физических знаний, но в силу исторически сложившихся обстоятельств измерение высоких температур производится преимущественно для целей техники, вследствие чего методы измерения, а также приемы и приборы, служащие для этого, не находят для себя достаточно места в курсах общей физики.

В настоящее время измерение высоких температур с желаемой степенью точности является делом относительно легким и осуществляется оно с помощью различных, основанных на самых разнообразных принципах приборов, известных под общим названием пирометров. Пирометры бывают разных типов в зависимости от условий работы и назначения, но, в общем, они по способу употребления разделяются на следующие 2 обширных класса:

- 1) пирометры для измерения температуры на расстоянии, без введения в нагретую среду,
- и 2) пирометры для измерения температуры соприкосновением с исследуемым нагретым телом.

Каждый из этих 2-х основных классов в свою очередь подразделяется на несколько отдельных групп, различающихся между собою тем, что в основу измерения температуры положены разные физические свойства тел, изменяющиеся с температурой по вполне определенным законам.

К числу подобных физических свойств, практически используемых современной пирометрией, относятся следующие:

- 1) тепловое расширение или сжатие газообразных, жидких и твердых тел;

2) изменение электрических свойств тел (электропроводность, термоэлектрические явления);

3) изменение лучистой энергии раскаленных тел (световые лучи, общее лучеиспускание).

Пирометры, измерение с помощью коих основано на первом из перечисленных свойств, носят общее название дилатометрических пирометров, т.е. пирометров теплового расширения. Пирометры второй группы, или электрические, делятся на две подгруппы или разновидности: пирометры электрического сопротивления и пирометры термоэлектрические. Наконец, пирометры третьей группы, известные под общим названием оптических, также включают две подгруппы или разновидности: пирометры оптические фотометрические и пирометры оптические радиационные.

Кроме всех названных пирометров, существуют еще некоторые другие, как, например, калориметрические пирометры и пироскопы, основанные на явлении плавкости металлов, их сплавов или солей, а равно и огнеупорных глиноземисто-силикатных материалов. Нижеследующая таблица 2 дает сжатую схему исторического развития научной пирометрии.

Т А Б Л И Ц А 2.

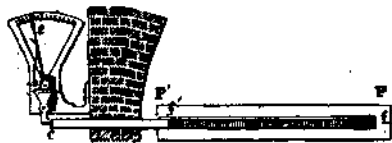
Дата изобретения (год).	Первые пирометры разных систем (в хронологическом порядке).
1782	Глиняный пирометр Веджвуда.
1822	Платиновый пирометр теплового расширения Даниэля с циферблатом и движущейся стрелкою.
1828	Газовый пирометр Принсепса с золотым резервуаром.
1862	Калориметрический пирометр Бистрэма.
1871	Платиновый электрический пирометр сопротивления В. Сименса.
1886	Термоэлектрический пирометр Ле-Шателье с платина-платинородиевою термопарою.
1892	Оптический пирометр Ле-Шателье.
1902	Радиационный пирометр Фери.

История зарождения и постепенного развития пирометрии представляет весьма поучительный пример непосредственной и ближайшей связи науки с задачами и запросами промышленной заводской техники. Так, уже великий английский математик и естествоиспытатель Исаак Ньютон сделал первую попытку определения температуры пламени в нагревательной печи путем отсчетов времени охлаждения раскаленного докрасна куска железа определенной величины и формы, предварительно нагретого в пламени данной печи. Результаты этих замечательных опытов, относящихся к самому началу XVIII столетия, были опубликованы Ньютоном в 1701 году. Первый пирометр, сконструированный в конце XVIII столетия англичанином Иосией Веджвудом, был основан на равномерном и пропорциональном температуре уменьшении объема пластической глины определенного состава ¹⁾ при ее обжигании. Установив точно путем предварительных опытов величину этого сжатия для глины данного состава, возможно затем, измеряя происходящую с нею при обжиге усадку, судить о температуре обжига по соответствующим составленной эмпирической шкале. Около полу столетия спустя француз Броньяр предложил для измерения температуры в печах на фарфоровых заводах пирометр совершенно другого устройства, нежели пирометр Веджвуда, и притом основанный на свойстве неодинакового расширения разных тел, а именно — довольно заметного расширения железа и почти незаметного, совершенно ничтожного расширения фарфора, которым практически возможно в условиях опыта пренебречь. Схема остроумного прибора Броньяра, являющегося родоначальником дилатометрического пирометра, представлена на фиг. 1. В неподвижно укрепленной фарфоровой доске PP' сделана выемка, в которую помещается железная полоса ff', конец которой f упирается в дно выемки. Фарфоровая пластинка cf' проходит сквозь стенку печи и упирается точкою c в нижний конец рычага, движение которого передается стрелке, движущейся по

¹⁾ Состав употреблявшейся Веджвудом массы был следующий: 47,35% SiO₂, 44,29% Al₂O₃ и 8,36% H₂O.

градуированной части окружности. Стрелка эта прижимается пружиной таким образом, чтобы полоса sf' всегда находилась в соприкосновении с железной полосой ff' . Эта последняя, расширяясь от действия теплоты, производит давление на фарфоровую полосу $f's$ и таким образом заставляет стрелку перемещаться по указателю.

Уже на этих немногих примерах выявляется характерная особенность методики измерения температур, обусловленная тем обстоятельством, что температура не принадлежит к разряду физических величин, доступных непосредственному измерению, ибо температура, как известно, не подчиняется закону аддитивности.



Фиг. 1. Дилатометрический пирометр Броньяра.

В то время, как для измерения аддитивных величин достаточно лишь остановиться на выборе подходящей единицы измерения, при определении температур приходится сделать выбор сразу четырех величин:

- 1) явления, лежащего в основе измерения;
- 2) вещества, на котором явление фиксируется;
- 3) нулевого положения шкалы измерения
- и 4) подходящей единицы измерения.

Отсюда становится понятным большое разнообразие типов приборов, могущих служить для измерения высоких температур, и возможное существенное различие в шкалах измерения пирометров неодинакового типа.

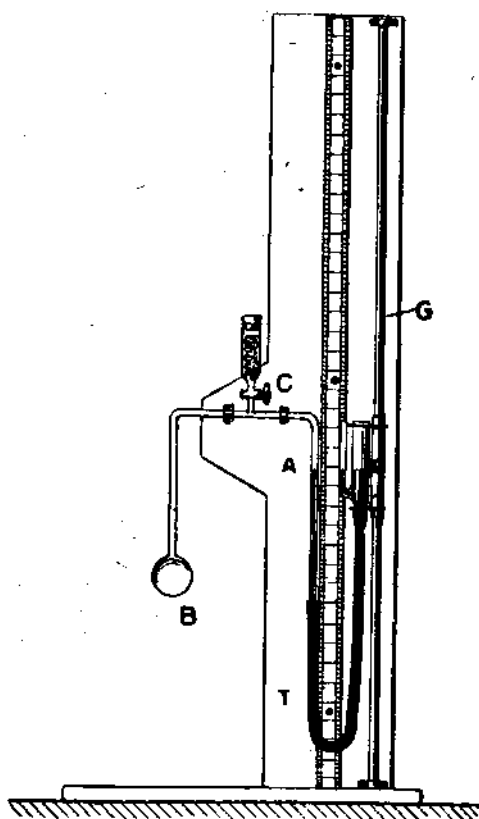
Для измерения температуры при металлургических производствах из пирометров для измерения на расстоянии наиболее пригодны оптические фотометрические и радиационные, а из пирометров контактных — т. наз. электрические пирометры сопротивления и термоэлектрические. Выбор того или иного типа пирометра в каждом частном случае определяется всецело обстановкой и условиями обслуживаемого производства. Кроме того, руководящее значение имеют и конструктивные особенности пирометра и принцип устройства его, а также

требуемые условия обращения и степень подверженности пирометра порче или износу. Выяснение всего этого составляет содержание последующих глав.

ГЛАВА II.

Дилатометрические пирометры.

В пирометрах этого типа в качестве явления, лежащего в основе измерения температур, принимается тепловое рас-



Фиг. 2. Газовый пирометр с постоянным объемом.

ширение твердых, жидких и газообразных тел. Газы расширяются сильнее жидкостей и твердых тел и потому, естественно, первыми привлекли на себя внимание, и первые термометрические приборы были наполнены газом. Изобретение первого такого прибора принадлежит знаменитому флорентийскому ученому Галилею. Прибор состоял из стеклянного шарика с длинным отростком в виде трубочки; шарик слегка подогревался, и трубочка опускалась в жидкость, которая по охлаждению шарика несколько поднималась в трубке, расположенной открытым концом книзу. При нагревании шарика уровень жидкости в трубке понижался, при охла-

ждении же, наоборот, повышался, и его высота давала возможность судить о температуре внутри шарика. Этот

примитивный, сравнительно грубый и несовершенный прибор тем не менее явился прототипом изобретенного много лет спустя газового — воздушного или водородного и еще позднее — азотного пирометра, и поныне служащего нормальным эталоном для проверки других измерительных приборов. Однако, в настоящее время вместо непосредственного отсчета расширения объема газа при постоянном давлении предпочитают обратный метод измерения температуры газа при постоянном объеме по изменению давления, определяемому при помощи ртутного манометра. Общий вид газового пирометра изображен на фиг. 2; детали устройства его следующие: В — шаровой сосуд из стекла, фарфора, платины или кварца служит резервуаром для нагреваемого газа; посредством соединительной трубки С, снабженной сосудом для поглощения влаги, резервуар В сообщается с двухколенным ртутным манометром Т, в котором ртуть поддерживается на определенном уровне А передвижением гибкого правого колена вверх и вниз по направляющей G. Температура определяется по известной формуле: $P_t = P_0 (1 + bt)$, где t — искомая температура, P_0 — давление газа при 0° , P_t — давление газа при t° , а b — постоянная величина, зависящая от выбранного газа. При всех своих достоинствах в смысле точности показаний и универсальной пригодности для измерения температур, как очень высоких, так и чрезвычайно низких (пределы измерения при соответствующем выборе материала для газового сосуда составляют, с одной стороны, почти $+2000^\circ \text{Ц.}$, и, с другой стороны, весьма низкую температуру, близкую к абсолютному нулю, а именно — $271,5^\circ$ ниже нуля по шкале Цельсия), газовый пирометр по причине своей громоздкости и неприспособленности для переноски не находит себе применения в заводской обстановке, являясь зато незаменимым стандартным прибором, обращение с которым, впрочем, весьма сложно и требует большого навыка и осторожности.

Но зато заводская практика использует в довольно широкой мере пирометры, основанные на расширении жидкостей и приспособленные для измерения более высоких температур, чем обыкновенные ртутные термометры. Из отно-

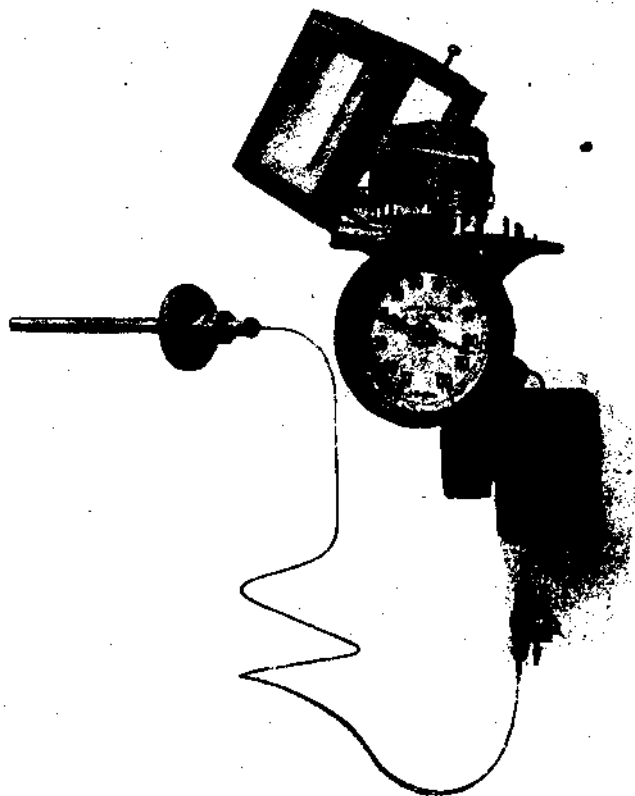
сящихся сюда термометрических приборов для измерения высоких температур особенно подходящими во многих случаях являются перечисленные в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3.

Термометры расширения разных конструкций.			Верхний предел измерения. (°Ц.).
Расширяющееся тело.	Оболочка термометра.	Среда.	
Ртуть.	Стекло.	Безвоздушное пространство.	350
Ртуть.	Стекло.	Азот.	550
Ртуть.	Кварц.	Азот или углекислота.	700
Олово.	Кварц.	Азот или углекислота.	1.000
Олово.	Графит.	Азот или безвоздушное пространство.	1.500

Для заводских целей часто предпочтительнее манометрические или механические ртутные термометры, снабженные циферблатами со стрелкою и не требующие стеклянных прозрачных частей. Чувствительным воспринимающим органом является тогда стальной шарик-резервуар, соединенный со стальной же капиллярною трубкою и, наконец, со стальною пружиною, передающей давление на стрелку. Преимущества этих термометров в том, что показания могут передаваться на длинные расстояния, а также могут автоматически записываться. Инструменты, основанные на передаче показаний при помощи упругой жидкости, используют повышение упругости нагреваемой жидкой среды. Так, например, расширяющийся объем ртути сжимает некоторую передаточную жидкость, иногда также ртуть, которая уже приводит в действие чувствительную стрелку или перо записывающего механизма. В таком случае нагревать приходится только лишь стальной баллон, а ртуть в соединительной трубке, которая большею частью делается гибкою, находится

при обыкновенной температуре. К числу таких именно приборов, снабженных к тому же механизмом для вычерчивания кривых на разграфленной бумаге, надетой на вращающийся от часового механизма барабан, относится изображенный на фиг. 3 пневматический ртутный пиrometer фирмы



Фиг. 3. Пневматический пиrometer „Штейнле и Гартунг“ с записывающим механизмом.

„Штейнле и Гартунг“ в Германии. В качестве указателя температуры в данном приборе служит манометр с трубкою в форме спиральной пружины. Механизм для регистрирования температуры устроен совершенно подобным же образом, как регистрирующий аппарат для давлений у обычных манометров. Означенный пиrometer, позволяющий измерять

температуры до 500° Ц., представляет собою весьма удобный тип паровозного пирометра, для контроля температуры перегретого пара.

Термометры для ванн с расплавленными металлами или минеральными солями имеют наружный стержень из никелевой стали, а сосуд для ртути из чугуна. Пространство между наружною оболочкою и внутренним сосудом заполняется обычно медными опилками. Подобные термометры употребляются весьма часто для наблюдения за температурою расплавленного свинца или расплавленных солей при отпуске закаленных металлов, при подогревании их, равно как и при лужении, оцинковывании и при работах по гальванопластике. Они применимы вплоть до температуры 400° Ц.

Если вместо ртути, расплавленного олова и т. п. металла в шарике термометра заключен газ или жидкость, которая может быть при нагревании обращена в пар, то давление в приборе возрастает значительно быстрее. Пользуясь передачей этого давления какою-нибудь жидкою средою, можно достигнуть более значительных изменений давления и, следовательно, большей точности измерения температуры. Однако необходимость в таком случае больших сравнительно баллонов и притом замечающаяся часто неравномерность расширения паров помешали распространению этого типа термометров в заводской практике.

К числу лучших по точности пирометров, основанных на расширении твердых тел, относится сравнительно недавно сконструированный и в самое последнее время усовершенствованный Шевенаром (P. Chevenard) пирометр, известный под названием дилатометра, в котором главными составными частями являются, с одной стороны, трубка из плавленого кварца и металлический стерженек с одним заостренным концом, приготовленный из особого сплава под названием „пирос“, закон расширения коего в настоящее время точно изучен. По своему химическому составу „пирос“ представляет хромо-никелевый сплав с примесью небольшого количества вольфрама или молибдена. Как все высокохромистые сплавы, „пирос“ не окисляется даже при про-

ИНСТИТУТ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО
БИБЛИОТЕКА БССР

должительном и многократном нагревании, и заостренный эталон может подвергаться действию высоких температур (до 1.000° — 1.100° Ц.) без риска его притупления, так как он обладает также значительным сопротивлением механическим воздействиям в сильно нагретом состоянии. Особенно важным является то обстоятельство, что, как показали опыты, сплав „пирос“ при всех температурах выше (-200°) Ц. совершенно немагнитен и лишен термических превращений и что температурное расширение его точно реверсивно и с течением времени после многократного употребления расширяемость его остается неизменною.

Действие дилатометра Шевенара заключается в том, что расширяющийся при нагревании эталон из сплава „пирос“, находящийся в кварцевой трубке и упирающийся заостренною своею частью в глухой конец трубки, толкает примыкающий к нему с другой стороны кварцевый стержень, причем расширение эталона передается через посредство рычагов специальному приспособлению, которым улавливается и измеряется.

Дилатометр Шевенара может быть применяем при нагревах до 1.100° Ц. и даже до 1.200° Ц., если нагрев вести быстро. При более высоких нагревах трудно избежать прилипания эталона к кварцевой трубке. Пирометр этот обладает драгоценным свойством особенно высокой чувствительности как в отношении способности указывать более или менее незначительные изменения температуры, так и в отношении быстроты, с которою он воспринимает температуру окружающей его среды и обнаруживает происходящие в ней перемены. При всех своих достоинствах дилатометр Шевенара представляет прибор не заводского, но лабораторного употребления по преимуществу и применяется пока почти исключительно для термического анализа металлов и их сплавов, о чем подробнее будет речь в главе VII. По основной идее своего устройства дилатометр Шевенара следует рассматривать как усовершенствованный идеальный пирометр Броньяра, явившийся первым грубым воплощением того же самого принципа измерения температуры по расширению металлического эталона.

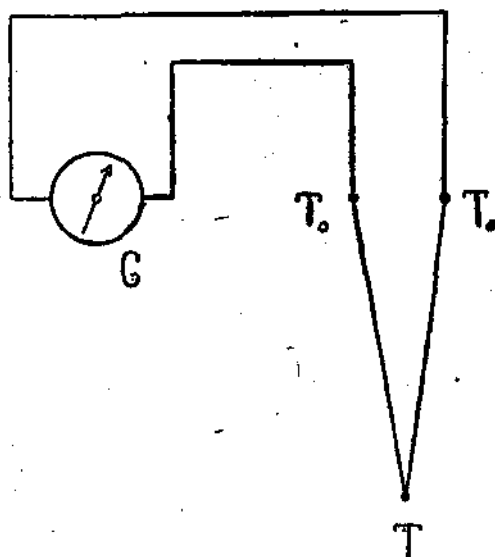
РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

Де

ГЛАВА III.

Термоэлектрические пирометры.

Пирометры этого типа основаны на свойстве двух разнородных металлов при соприкосновении друг с другом служить источником электрического тока, электродвижущая сила которого зависит от температуры металлов в точке касания и от природы соприкасающихся металлов. Возни-



Фиг. 4. Схема термоэлектрического пирометра Ле-Шателье с прямым методом измерения.

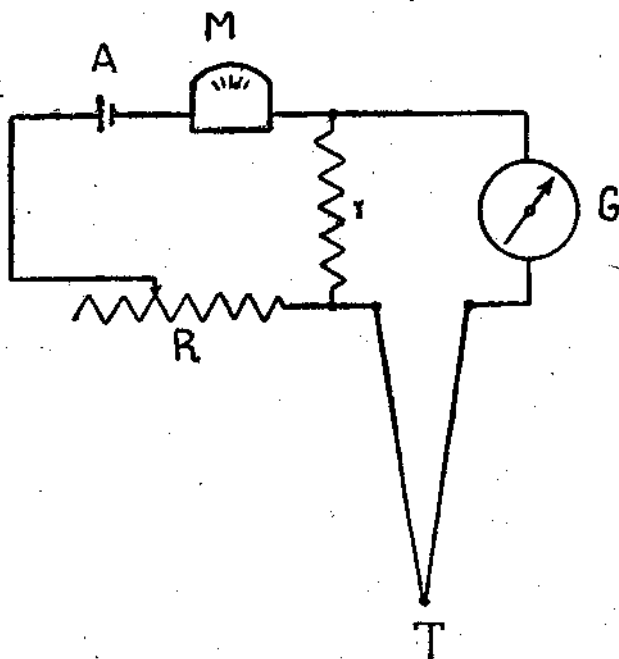
кающий при этом электрический ток получил название термоэлектрического, а сочетания металлов, развивающие заметную электродвижущую силу при нагревании, носят теперь название термопар или термоэлементов. Идея применения открытого Зеебеком в 1822 году термоэлектрического тока для измерения высоких температур впервые была высказана Беккерелем еще в 1830 году. Однако прошло с того времени больше полувека, прежде чем названная идея была осуществлена в форме пирометра, пригодного для

практических целей. Заслуга усовершенствования термоэлектрического пирометра и выработки надлежащего метода измерения температуры всецело принадлежит Ле-Шателье, в виду чего термоэлектрический пирометр известен более под названием пирометра Ле-Шателье.

Пирометр Ле-Шателье (термопара, термоэлемент) состоит из 2 спаянных между собой в одной точке и электрически изолированных друг от друга на всем остальном протяжении разнородных металлических проволок, место спая которых служит для помещения в исследуемую нагретую среду. Развивающаяся в спае термоэлемента электродвижущая сила измеряется непосредственно гальванометром, к двум зажимам которого приключаются свободные концы термоэлемента при помощи соединительных медных проводов. Схема пирометра Ле-Шателье изображена на фиг. 4. Здесь T представляет спай термоэлемента, G — гальванометр и T_0 — свободные концы термоэлемента, к которым присоединены идущие от гальванометра медные провода. Как видно, схема данного пирометра чрезвычайно проста и искомая электродвижущая сила термоэлемента находится простым отсчетом по гальванометру; при этом, конечно, должно быть принято во внимание электрическое сопротивление проволок термоэлемента и соединительных проводов.

Существует еще другой способ измерения электродвижущей силы термоэлемента путем сравнения этой последней с некоторой точно регулируемой разностью потенциалов. Такой метод измерения носит название потенциометрического; соответственная схема показана на фиг. 5. В приведенной схеме A представляет аккумулятор, служащий источником тока, R — реостат для регулировки силы тока, M — миллиамперметр, G — гальванометр, T — термоэлемент и g — небольшое постоянное сопротивление, разность потенциалов на концах которого сравнивается с искомой электродвижущей силой термоэлемента. При измерении последней сила тока регулируется реостатом R до тех пор, пока стрелка гальванометра не установится на нуль, что возможно лишь при равенстве электровозбудительной силы термоэлемента и разности потенциалов на концах сопротивления g ; по

показываемой в этот момент миллиамперметром силе тока легко вычислить напряжение на концах сопротивления r , а следовательно и искомую электродвижущую силу термоэлемента, на основании закона Ома: $e = i \cdot r$, где e — известная электродвижущая сила термоэлемента, i — известная сила тока, а r — сопротивление. Гальванометр в этом случае применяется как нуль-инструмент; следовательно он не тре-



Фиг. 5. Схема термоэлектрического пирометра с потенциометрическим методом измерения.

бует калиброванной шкалы, механически может быть более прочным, так как нет нужды повышать чувствительность подвесною установкою, применением уровня и т. д.; постоянные магниты в нем становятся также излишни, а самое главное — изменение сопротивления во внешней цепи уже не оказывает никакого влияния на точность показаний прибора. Как бы ни изменялось сопротивление проволок термоэлемента или сопротивление соединительных проводов, электродвижущая сила у контактов остается постоянною.

Однако, несмотря на все отмеченные преимущества потенциометрического метода измерения, в виду большей сложности измерения температуры при пользовании потенциометрическим методом последний сравнительно реже применяется, и для технических целей измерение чаще всего производится прямым методом по схеме, изображенной на фиг. 4.

Зависимость между электродвижущей силой термоэлемента и температурой выражается следующей параболической формулой Тэта и Авенариуса: $E = a(t - t_1) + b(t - t_1)^2$. В приведенной формуле E представляет электродвижущую силу термоэлемента, a и b — две константы, зависящие от физических свойств обоих металлов термоэлемента, t — температуру спая этих металлов, а t_1 — температуру в местах приключения свободных концов к соединительным медным проводам. Если поддерживать места стыка свободных концов термоэлемента с соединительными проводами при температуре таяния льда ($t_1 = 0^\circ$), вышеозначенная формула примет более простой вид: $E = at + bt^2$. Таким образом по электродвижущей силе термоэлемента легко может быть вычислена температура при условии, что значение величин a и b для соответственной пары металлов известно и что названные величины от температуры совершенно не зависят; последнее условие требует, чтобы физические свойства проволок термоэлемента, выражаемые константами a и b , оставались строго неизменными при всех температурах.

Для улучшения контакта между холодными концами термоэлемента и соединительными проводами и для уменьшения сопротивления в местах соприкосновения эти провода припаивают к свободным концам термоэлемента. В виду этого в термоэлементе приходится различать один горячий и два холодных спая, причем последние два спая во время работы пирометра необходимо поддерживать при постоянной температуре, лучше всего при нуле. Если температура холодного спая термоэлемента не нуль, а какая-нибудь другая, более высокая, то развиваемая термоэлементом электродвижущая сила оказывается несколько пониженной: таким образом в зависимости от температуры холодного спая термоэлемент дает различную электродвижущую силу,

как это следует из приведенной выше формулы. Поэтому в тех случаях, когда почему-либо не оказывается возможным держать холодный спай термозлемента во время изменения температуры при нуле, необходимо вводить в получаемые результаты особую поправку на температуру холодного спая. В виду того, что электродвижущая сила термозлемента изменяется с температурой не прямолинейно, но изменение это выражается уравнением второй степени, точное вычисление поправок на температуру холодного спая требует довольно сложного расчета.

Согласно данным Фогеля, поправка на температуру холодного спая выражается формулою: $T = t + kt_1$, где:

T — температура горячего спая, считая от 0°C .

t — температура, показываемая непосредственно прибором,

t_1 — температура холодного спая,

k — поправочный коэффициент, изменяющийся в зависимости от T и от природы образующих термопару металлов. Так, например, для указанной ниже термопары Ле-Шателье величина k изменяется при разных значениях T согласно приведенным в таблице 4 числам.

ТАБЛИЦА 4.

Температура T .	Коэффициент k .
0	1,00
100° Ц.	0,89
200 .	0,76
300 .	0,65
400 .	0,59
500 .	0,56
600 .	0,54
700 .	0,52
800 .	0,51
900 .	0,50
1.000 .	0,49

В качестве материала для изготовления термоэлементов могут применяться различные чистые металлы и сплавы. Весьма большим распространением в виду значительных преимуществ перед другими пользуется термопара, предложенная Ле-Шателье, одна из проволок которой состоит из чистой платины, а вторая — из сплава платины и родия, сокращенно называемого платинородием и содержащего 90% Pt и 10% Rh. Термоэлемент из платины и платинородия пригоден для измерения температур в весьма широком интервале — от 0° до +1600° Ц., причем точность измерения может быть очень велика. Длина проволок термоэлемента бывает различная в зависимости от назначения последнего, но в большинстве случаев она колеблется от 1 до 2 метров. Наименьшая допустимая длина термоэлемента составляет 0,5 метра; при меньшей длине термоэлемента им очень затруднительно пользоваться, так как в большинстве случаев заводской практики трудно и даже невозможно поддерживать холодный спай при 0° на столь близком расстоянии от горячего спаю. Кроме того, при пользовании коротким термоэлементом пришлось бы вводить очень значительную поправку на изменение электрического сопротивления термоэлемента с температурой. Диаметр проволок составляет 0,6 мм; более тонкие проволоки менее пригодны в виду незначительной прочности их и более высокого электрического сопротивления. Спаи термоэлемента из платины и платинородия получается путем сплавления между собой обеих проволок его в струе кислородного пламени, причем образующийся на сплавленном конце коралек имеет форму шарика диаметром около 1 мм. Припайвание свободных концов термоэлемента к медным соединительным проводам производится в пламени обыкновенной бунзеновской горелки также непосредственным сплавлением друг с другом, без употребления каких-либо припоев. Иногда вместо сплавления свободные концы термоэлемента присоединяются к медным проводам простым скручиванием или при помощи медных зажимов.

Кроме платина-платинородиевой термопары для измерения температуры применяются также и другие, служащие

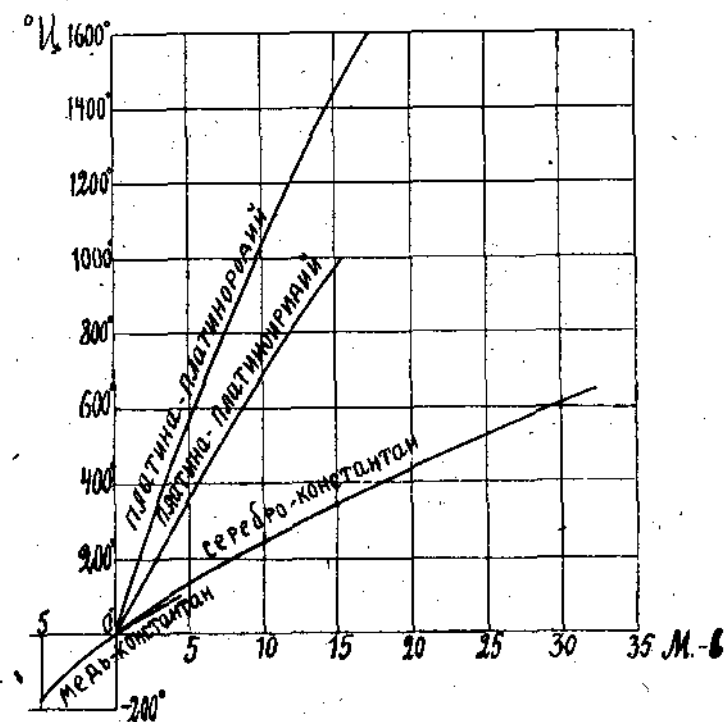
для измерения не столь высоких температур, за исключением термопары из чистого иридия и сплава иридия с 10% рутения, которая может служить для измерения температур даже до +2000° Ц. ¹⁾ Верхние пределы измерения для различных употребляемых в настоящее время сортов термопар приводятся в таблице 5, из которой явствует, что для среднего интервала температур от 600° до 1000° Ц., более всего используемого при тепловой обработке железа и стали, имеется значительный выбор термопар самого разнообразного состава.

ТАБЛИЦА 5.

Название термопары.	Верхний предел измерения температур.
Иридий — сплав из 90% Ir + 10% Ru	2.000° Ц.
Платина — сплав из 90% Pt + 10% Rh	1.600 „
Никкель — сплав из 90% Ni + 10% Co	1.300 „
Платина — сплав из 90% Pt + 10% Ir	1.200 „
Никкель — уголь	1.200 „
Никкель — нихром	1.100 „
Никкель — железо	1.000 „
Никкель — константан	900 „
Нихром — константан	900 „
Никкель — серебро	900 „
Никкель — медь	800 „
Железо — константан	800 „
Серебро — константан	700 „
Медь — константан	500 „
Манганин — константан	300 „

¹⁾ В виду значительных затруднений при волочении проволоки из столь хрупкого материала, как иридий, означенные термопары изготавливаются из прокатанных проволок 4-угольного сечения толщиной 0,8 мм.

В нижеследующих таблицах 6 и 7 приводятся цифры, характеризующие изменение развиваемой различными термопарами электродвижущей силы в зависимости от температуры. Графически эта зависимость между температурой и электродвижущей силой изображена на фиг. 6. Как



Фиг. 6. Температурные кривые изменения электродвижущих сил некоторых термопар.

явствует из данных таблицы 6, термопара медь — константан весьма удобна для измерения температур ниже 0° вплоть до (-187°) по шкале Цельсия; для этой же цели может служить термопара медь — нейзильбер, с помощью которой можно измерять температуры вплоть до (-131°) по шкале Цельсия.

ТАБЛИЦА 6.

Платина—плати- нородный.		Платина—плати- ноиридий.		Серебро— константан.		Медь— константан.	
Град. Цельсия.	Милли- вольты.	Град. Цельсия.	Милли- вольты.	Град. Цельсия.	Милли- вольты.	Град. Цельсия.	Милли- вольты.
200	1,4	200	2,3	100	3,7	-187	-5,2
400	3,2	400	5,8	200	8,0	-80	-2,6
600	5,2	500	7,2	300	12,9	0	0
800	7,3	600	8,7	400	18,1	100	4,1
1000	9,6	700	10,4	500	24,0	—	—
1200	11,9	800	12,0	650	30,0	—	—
1400	14,2	900	13,6	600	32,3	—	—
1600	16,6	1000	15,2	—	—	—	—

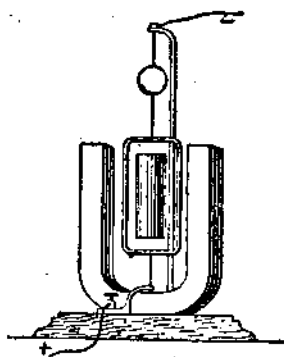
ТАБЛИЦА 7.

Никкель—уголь.				Никкель—нихром.			
Град. Цельсия.	Милли- вольты.	Град. Цельсия.	Милли- вольты.	Град. Цельсия.	Милли- вольты.	Град. Цельсия.	Милли- вольты.
100	1,8	700	15,3	100	3,1	700	23,2
200	4,2	800	18,3	200	6,2	800	27,0
300	6,5	900	21,8	300	9,3	900	30,9
400	8,4	1.000	25,6	400	12,5	1000	34,7
500	10,3	1.100	29,8	500	15,9	1100	38,6
600	12,5	1.200	34,3	600	19,5	—	—

Приведенные в таблицах 6 и 7 цифровые данные имеют, однако, лишь относительное, а не абсолютное значение, и при самых незначительных изменениях в составе проволок термоэлемента получаются другие, немного отличающиеся цифры. В виду этого каждый термоэлемент перед употреблением должен быть тщательно проградуирован по нескольким постоянным точкам. Способ градуировки термоэлементов описан ниже.

Применяемые для измерения электродвижущей силы термоэлементов прямым методом гальванометры бывают двух типов: зеркальные и стрелочные. Первые применяются сравнительно редко, преимущественно для научных измерений, а вторые пользуются большим распространением и в виду своей простоты весьма удобны для технических надобностей. По способу закрепления указательной стрелки различают гальванометры с подвешенной стрелкой и гальванометры со стрелкою, расположенною на опоре; в последнем случае стрелка гальванометра укреплена на оси, имеющей ход на камнях.

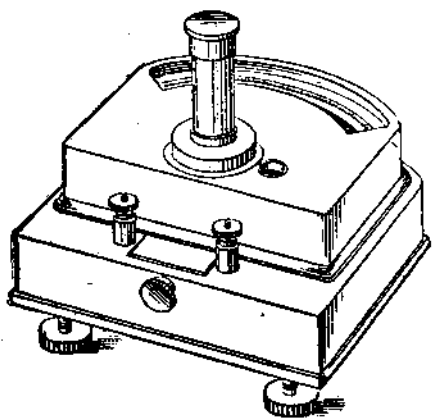
Как стрелочные, так и зеркальные гальванометры для измерения электродвижущей силы термоэлементов построены по принципу Дебрэ-д'Арсонваля и различаются между собою лишь по конструкции. Сущность устройства их явствует из фиг. 7. Между двумя полюсами сильного магнита вращается легкая плоская катушка из тонкой проволоки. Чтобы придать катушке устойчивое положение, к ней приделана пружинка вроде волоска от часов. Катушку ставят так, что ее плоскость параллельна линии, соединяющей оба полюса магнита; при пропускании тока она поворачивается и стремится стать перпендикулярно к этой линии. Однако, благодаря сопротивлению волоска, этого не происходит, и катушка лишь отклоняется от начального положения на некоторый угол, пропорциональный силе протекающего в ней тока, поступающего от термоэлемента. Таким образом главными составными частями гальванометра являются неподвижная магнитная система и подвижная катушка, получающая под действием развиваемого термоэлементом тока некоторое отклонение и вращающаяся в поле постоянного магнита. В зеркальном гальванометре вращательное колебание подвижной системы сообщается прикрепленному к последней зеркальцу, и измерение угла поворота последнего произво-



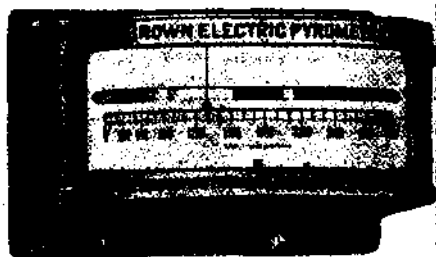
Фиг. 7. Схема гальванометра Дебрэ-д'Арсонваля.

дится т. наз. объективным методом — путем отражения светового луча от освещаемого специальным фонарем зеркальца на шкалу с делениями, устанавливаемую на некотором расстоянии от гальванометра. В гальванометрах же стрелочного типа вместо зеркальца к подвижной системе прикреплена алюминиевая стрелка, перемещающаяся по циферблату, снабженному шкалой милливольт или температур, или той и другую вместе.

На фиг. 8 изображен стрелочный гальванометр конструкции Сименс и Гальске. Гальванометр снабжен 2 зажимами для приключения проводов, идущих от термоэлемента, арретиром, приспособлением для установки стрелки на ну-



Фиг. 8. Стрелочный гальванометр конструкции „Сименс и Гальске“ настольного типа с подвесною стрелкою.



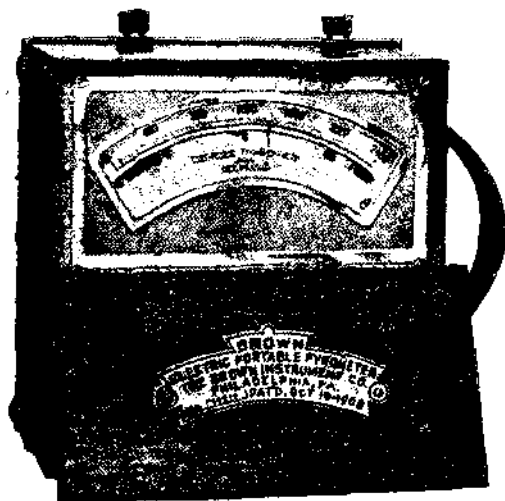
Фиг. 9. Стрелочный гальванометр конструкции „Броун“, стенной, с фронтальным расположением шкалы.

левое деление шкалы и небольшим ватерпасом. Как показывает снимок, гальванометр этот предназначается для установки на горизонтальной плоскости, например — на столе. Иногда стрелочный гальванометр изготавливается в виде стенного аппарата, прикрепляемого к стене. Такой именно гальванометр конструкции Броун (Brown) с фронтальным расположением шкалы изображен на фиг. 9.

Более удобным для заводских целей является переносный гальванометр конструкции Броун, изображенный на фиг. 10. Этот прибор легко переносится с места на место и имеет особенно прочное устройство, значительно повы-

шающее его способность противостоять тяжелым заводским условиям работы. Деревянная крышка, устроенная на шарнирах, служит для защиты шкалы, когда прибор не работает. При закрывании крышки последняя, кроме того, надавливает на особый рычажок, и стрелка гальванометра автоматически арретируется.

Внутреннее сопротивление гальванометра для платина-платинородиевых термоэлементов составляет обыкновенно



Фиг. 10. Переносный гальванометр конструкции „Броун“ с автоматическим нажимным арретирующим приспособлением.

150—300 омов, повышаясь в редких случаях до 500 омов и еще выше. Предпочтительными являются гальванометры с возможно большим внутренним сопротивлением, так как при большом внутреннем сопротивлении гальванометра можно пренебречь сопротивлением самого термоэлемента и соединительных проводов, а равно и изменениями температуры окружающей атмосферы вдоль линии проводов. Обыкновенно для не очень чувствительных гальванометров точно указывается допустимое предельное сопротивление внешней цепи.

При хорошей конструкции гальванометра стрелка его почти моментально следует за колебаниями температуры

и устанавливается почти аperiodически. Гальванометры с подвешенной стрелкой вследствие отсутствия трущихся частей несколько чувствительнее, но зато они также более чувствительны к сотрясениям; гальванометры же со стрелкою, расположенною на опоре, гораздо удобнее в обращении и не требуют точной установки по ватерпасу. Поэтому для помещения в мастерских, где гальванометр может подвергаться частым сотрясениям, следует безусловно отдать предпочтение гальванометрам последней конструкции.

Термоэлементы перед употреблением в дело должны быть заключены в специальную арматуру, состоящую из изоляционных и предохранительных трубок. Надеваемые на термоэлемент трубки имеют своим назначением изолировать электрически друг от друга обе проволоки термоэлемента и защитить их от механических и химических влияний окружающей нагретой среды. С этой целью применяются трубки разного диаметра из огнеупорного фарфора, кварцевого стекла и специальной трудноплавкой массы, известной под названием Марквардтовской. Предохранительные трубки из Марквардтовской массы очень хорошо противостоят действию весьма высоких температур вплоть до 1400°C .; эти трубки имеют, однако, тот недостаток, что не выдерживают резких изменений температуры и при нагреве выше 1100°C . начинают несколько прогибаться, так что в этом случае их можно употреблять только при заделке термоэлемента на опорах или в подвешенном состоянии. Трубки из кварцевого стекла, которые в виду ничтожного коэффициента расширения кварца выдерживают самые резкие колебания температуры, обладают зато тем крупным недостатком, что при температуре выше 1000°C . становятся проницаемыми для газов. Для защиты термоэлемента от механических повреждений применяют наружные трубки из железа, никкеля или никкелированного железа, а также из силита, графита и других материалов. В окончательно собранном виде термоэлемент Ле-Шателье большею частью имеет вид жезла, устройство которого может быть самым разнообразным в зависимости от назначения термоэлемента.

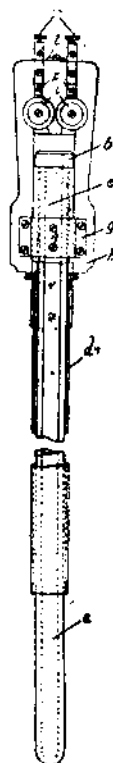
Крайней простотой устройства отличается жезл Пеллена, изображенный на фиг. 11. Пеллен для уменьшения тепловой



Фиг. 11. Жезл конструкции „Пеллен“ для монтировки термоэлементов.

инерции пирометра и теплообмена лучеиспусканием между ним и стенками печи оставляет самый спай открытым. Оправа жезла состоит из никкелевой трубки, к которой прикреплена деревянная рукоятка, составленная из двух соединяющихся шарниром половинок. Проволоки термоэлемента для изоляции друг от друга пропущены через каналы в коротких цилиндрических столбиках из огнеупорной массы, заполняющих всю трубку. В рукоятке концы проволок присоединены к зажимам, а избыток каждой проволоки накручивается на особую катушку. В случае порчи спаев легко вытянуть наружу некоторое количество проволоки из запаса и привести пирометр в полный порядок.

Несколько отличается от предыдущего жезл конструкции Сименс и Гальске. Термоэлемент, как это видно на фиг. 12, продет в трубку из огнеупорного материала а, закрытую снизу и защищенную в верхней своей части железной трубкой d. К последней припаяна соединительная часть e, служащая для закрепления разборной деревянной ручки h. В полость ручки входит верхний конец ручки e, оканчивающийся флянцем b. На ручке закреплены зажимы k, к которым присоединяются концы термоэлемента, проходящие по направляющим эбонитовым роликам i. Запас проволочек для возобновления спаев в случае его поломки намо-



Фиг. 12. Термоэлектрический жезл конструкции „Сименс и Гальске“.

тан на особых катушках. При сборке и разборке означенного жезла поступают следующим образом: отвернув винты, находящиеся в верхней части ручки, снимают пластинку 1; затем освобождают винты на нижней поверхности и отодвигают кольцо п, после чего легко можно разобрать ручку h.

К числу особенно несложных конструкций пирометрических жезлов принадлежит также американская конструкция Броун: электрически изолированный определенным способом термоэлемент включен в металлическую оправу, причем в месте холодного спая термоэлемента, к концу металлической оправы, привинчена фарфоровая рукоятка, снабженная двумя зажимами; катушек для наматывания запаса прово-



Фиг. 13. Способ изоляции проводов термоэлемента в жезлах конструкции „Броун“.

локи не имеется. Способ изоляции проволок термоэлемента, применяемый в этом случае, показан на фиг. 13. Проволоки термоэлемента пропущены через небольшие столбики из огнеупорной массы, снабженные двойными внутренними каналами, не сообщающимися друг с другом.

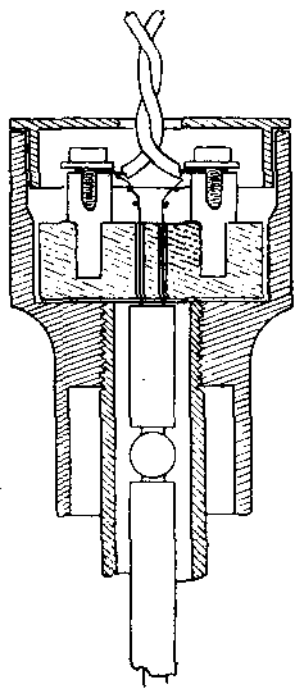
Во всех только что описанных конструкциях жезлов для термоэлементов рукоятки устроены таким образом, что проволоки термоэлемента должны быть выпущены наружу и присоединены к имеющимся здесь 2 медным зажимам. Подобный способ закрепления задних концов термоэлемента представляет, однако, значительные неудобства и увеличивает изнашиваемость последнего вследствие частых поломок выведенных наружу концов. Гораздо более практичной в этом отношении представляется рекомендуемая автором на основании многолетнего опыта рукоятка для жезлов термоэле-

ментов, схематически изображенная на фиг. 14¹⁾). Рукоятка имеет вид цилиндрической коробки с немного суженным отростком и снабжена посредине внутренней резьбой для привинчивания к железной трубке. Внутри коробки помещается кружок из фибры, закрепляющийся на винтах; кружок этот снабжен 2 медными зажимами для приключения холодных концов термоэлемента и соединительных проводов. Для защиты контактов от резких колебаний температуры все свободное пространство коробки заполняется асбестовой ватой или волокном. При помощи плоской крышки с отверстием в центре для пропуска идущих к гальванометру проводов коробка на все время работы жезла плотно закрывается.

Способ установки пирометров в разного рода нагревательных печах может быть самый разнообразный в зависимости от назначения печей, и никаких общих правил на этот счет не существует. Обыкновенно пирометры помещаются в печах для термической обработки изделий или вертикально, в подвешенном состоянии, или же в горизонтальной плоскости, при введении через боковые стенки.

На фиг. 15 изображена печь, в которую вставлены 2 термоэлектрических пирометра — один в вертикальном положении, а другой — в горизонтальном; кроме того, второй пирометр примечателен еще тем, что арматура его изогнута, образуя прямой угол. Подобная коленчатая форма пирометра является менее распространенной и никаких преимуществ перед нормальной конструкцией не представляет.

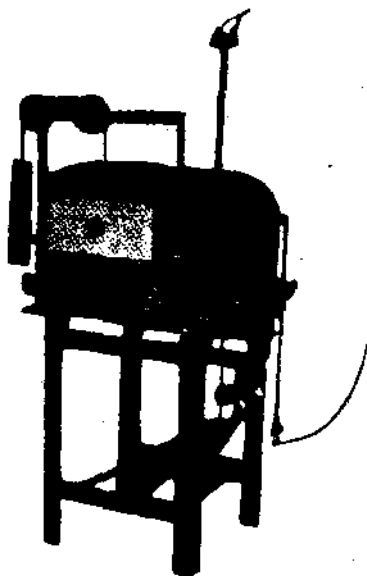
¹⁾ Изготавливается по предложению автора Металлографической Лабораторией завода „Красный Путиловец“.



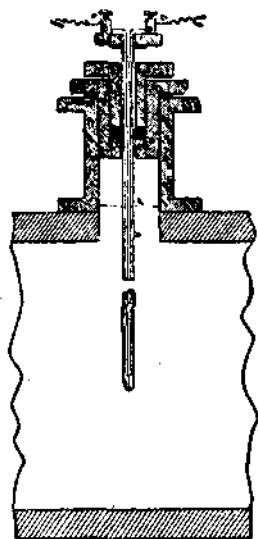
Фиг. 14. Способ изоляции и монтировки холодных концов термоэлемента в жезлах конструкции Металлографической Лаборатории завода „Красный Путиловец“.

Заделка внешней части арматуры при помещении пирометров в печь бывает весьма разнообразная; в качестве примера закрепления термоэлектрического пирометра при подвеске в вертикальном положении может служить изображенный на фиг. 16 чертеж.

Особенное внимание во всех случаях введения жезлов с термоэлементами в печное пространство для стационарного



Фиг. 15. Способы вставления термоэлектрических жезлов в нагретое пространство печи.



Фиг. 16. Детали расположения и закрепления термоэлектрического жезла в вертикальном направлении.

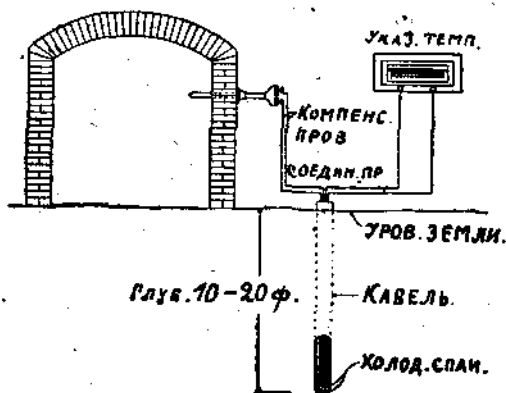
измерения температур следует обратить на недопущение прогибания жезлов под действием высокой температуры и собственного веса; прогиб жезлов очень опасен, вызывая разрыв проволок термопары, и поэтому для недопущения прогиба должны быть принимаемые соответствующие меры, как, например, устройство огнестойких подпорок, особых направляющих труб, желобов и т. д., а равно и повертывание жезлов на угол в 180° , если жезл расположен горизонтально. При обнаруженном прогибе жезла необходимо тотчас же

вынуть его из печи и перемотировать термоэлемент в новую внешнюю арматуру.

Во всех упомянутых конструкциях арматуры термоэлектрических пирометров соединение свободных концов термоэлемента с идущими от гальванометра медными проводами производится путем приключения тех и других к общим зажимам; в виду этого спайки холодных концов термоэлемента с проводами не производится. Равным образом не соблюдается при пользовании подобными жезлами условие, что температура холодного спая должна составлять 0° — в виду затруднительности осуществления этого в заводских условиях. Вместо этого термоэлементы и гальванометры для технических измерений градуируются для температуры холодного спая 20° Ц. Для того, чтобы при этом показания гальванометра отвечали истинной температуре, необходимо соблюдение условия, что температура холодного конца термоэлемента составляет 20° Ц. Этого можно достигнуть применением холодильников с постоянно циркулирующей водой или применением специальных; автоматически регулируемых термостатов. Однако существует еще более простой способ, состоящий в применении так называемых компенсационных проводов; последние приготовлены из таких материалов¹⁾, которые при контакте с проволоками платина-платинородиевого термоэлемента не вызывают в последнем добавочного термоэлектрического тока, пока температура в местах соприкосновения не превосходит 100° Ц. Происходит это вследствие того, что в местах соприкосновения обоих разнородных по своему составу компенсационных проводов с соответственными проволоками платина-платинородиевого термоэлемента при данных условиях возникают электродвижущие силы, одинаковые по величине, но разного знака, взаимно друг друга уничтожающие и поэтому не оказывающие никакого влияния на действительное показание составного термоэлемента в целом. Таким образом составной термоэлемент с присоединенными к нему отрезками компенсационных проводов по обнаруживаемому эффекту оказывается

1) Чаще всего из сплавов меди и никкеля различной концентрации.

совершенно равноценным более длинному платина-платинородиевому термоэлементу, состоящему из цельных однородных проволок. Указанное простое средство легко позволяет значительно удлинить термоэлемент, не изменяя его свойств и, главное, не удорожая сильно его стоимости, так как компенсационные провода изготавливаются из очень дешевого материала. По отношению же к медным соединительным проводам компенсационные провода ведут себя совершенно так же, как проволоки термоэлемента. Вставляя между холод-



Фиг. 17. Схема установки термоэлектрического пирометра с применением компенсационных проводов.

ными концами термоэлемента и медными проводами отрезки компенсационных проводов определенной длины, можно холодный спай термоэлемента перенести на далекое расстояние от горячего спаев без какого-либо изменения электродвижущей силы последнего. Если теперь места скрепления компенсационных и медных проводов зарыть глубоко в землю, как показано на фиг. 17 — на глубину 3,5—7,0 метров, холодный спай термоэлемента окажется в условиях, где круглый год стоит постоянная температура, очень близкая к 20 Ц°. Наконец, в настоящее время применяются иногда термоэлектрические пирометры, в которых поправка на температуру холодных спаев термоэлемента получается автоматически с помощью особых, регулирующих показания прибора приспособлений, описанных в главе VII.

От продолжительной работы при очень высоких температурах физические свойства проволок термоэлемента могут несколько измениться. Поэтому необходимо время от времени проверять термоэлементы путем градуировки по температурам плавления чистых металлов, а также по некоторым другим постоянным точкам.

Градуировка термоэлементов по температурам плавления металлов основана на общеизвестном явлении, что температура химически чистого металла во время плавления и обратного затвердевания из расплавленного состояния остается строго постоянной благодаря скрытой теплоте плавления или затвердевания. Плавление производят в небольшом графитовом или шамотовом тигельке вместимостью около 100—200 грамм, в который погружают по возможности глубже, но не до самого дна, вынутый из оправы испытуемый термоэлемент, защищенный от непосредственного соприкосновения с металлом помощью тонкостенного фарфорового колпачка. Во избежание окисления металла плавление необходимо производить под слоем размельченного угля или расплавленного шлака, так как доступ воздуха существенно влияет на температуры застывания металлов, понижая их иногда на довольно значительную величину (10° — 20° Ц.). Градуировку удобнее производить при остывании металла, так как в этом случае процесс протекает гораздо спокойнее и более равномерно, чем при расплавлении. После расплавления металл не следует сильно перегревать, так как он при высоких температурах скорее окисляется; кроме того, последующее охлаждение его до температуры застывания потребует много времени, вследствие чего бесполезно удлинится самое определение.

При градуировке термоэлемента поступают следующим образом. Когда металл расплавлен и слегка перегрет, в тигелек вводят испытуемый термоэлемент и прекращают дальнейшее нагревание тигля. При охлаждении расплавленного металла тщательно следят за показаниями соединенного с термоэлементом гальванометра, и через одинаковые промежутки времени записывают наблюдаемые температуры. В первые моменты охлаждения перегретого жидкого ме-

талла показания гальванометра непрерывно убывают, затем на некоторое время останавливаются и, наконец, начинают снова убывать. При этом показания при остановке соответствуют температуре плавления металла. В случае несовпадения определяемой при градуировании термоэлемента температуры остановки с истинной температурой плавления металла алгебраическая разность этих двух величин представляет погрешность испытуемого термоэлемента при соответственной температуре.

Иногда вместо сравнительно дорогих металлов для градуировки термоэлементов применяются некоторые химически чистые соли, температура плавления которых точно известна и также представляется величиной постоянной. Наконец, градуируют термоэлементы и по другим постоянным точкам, каковыми являются, например, температуры кипения металлов и разных других веществ. В последнем случае, однако, испытание несколько усложняется необходимостью применять специальные сосуды для кипячения, снабженные двойными стенками и отверстием для отвода паров, и в то же время следить за тем, чтобы спай термоэлемента все время находился в парах кипящего вещества и ни в коем случае не соприкасался с кипящей жидкостью. В таблице 8 приводятся точные температуры плавления некоторых металлов и солей, а также температуры кипения металлов и веществ, употребляемых для градуирования термоэлементов.

Градуировать термоэлементы необходимо по нескольким точкам, числом не менее 3. При этом точки следует выбирать такие, чтобы 2 из них лежали вблизи нижнего и верхнего пределов температурного интервала, в котором испытуемый термоэлемент предназначен постоянно работать; третья же точка должна лежать внутри данного интервала. Конечно, чем больше точек внутри этого интервала будет проверено, тем лучше. На основании найденных при градуировке цифр вычерчивается градуировочная кривая, представляющая полную характеристику испытуемого термоэлемента. Кривая вычерчивается таким образом, что по оси ординат откладывают истинную температуру, а по оси абсцисс — температуру, определяемую непосредственным отсчетом по

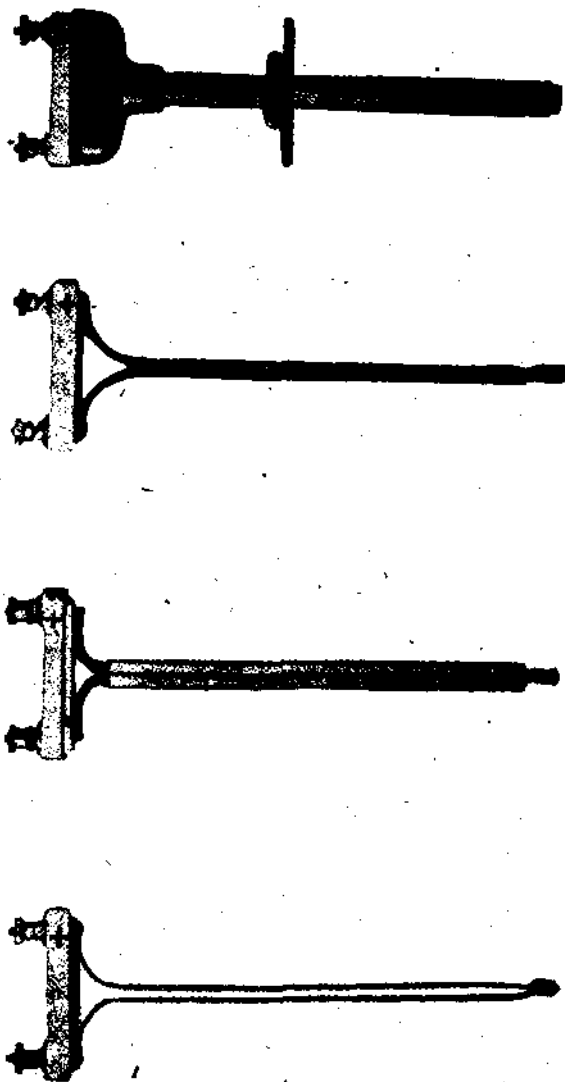
ТАБЛИЦА 8.

Постоянные точки.	Температура (град. Цельсия). P=1 атм.
Точки плавления:	
1) Металлы:	
Олово	231,9
Кадмий	321,0
Цинк	419,4
Сурьма	630,0
Серебро	960,5
Медь	1.083,0
Кобальт	1.490,0
2) Соли:	
Хлористый калий	775
Хлористый натрий	800
Сернокислый натрий	900
Хлористый барий	955
Точки кипения.	
Вода	100
Нафталин	218
Ртуть	357
Сера	445
Цинк	930

гальванометру, или же соответствующую электродвижущую силу термоэлемента.

Кроме перечисленных выше различных термоэлементов из тонких, гнущихся проволок, для заводских целей употребляются во многих случаях гораздо более практичные и притом сравнительно дешевые жесткие термоэлементы из толстых проволок, составленные из неблагородных металлов и сплавов; обыкновенно такие термоэлементы составляются из сплавов Cr-Ni и Ni-Mn , или из сплавов

Cr—Ni и Ni—Al; диаметр проволок этих термоэлементов, особенно распространенных в Америке, колеблется



Фиг. 18. Способы изоляции и монтировки термоэлементов, состоящих из толстых жестких проводов.

от $\frac{1}{8}$ до $\frac{1}{4}$ дюйма. Эти термоэлементы пригодны для измерения температур до 1100° Ц., при чем точность измерения довольно значительная. Внешний вид означенных термоэле-

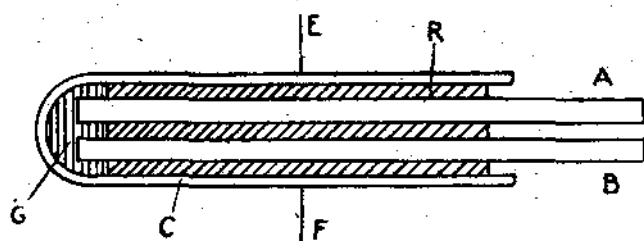
ментов и способ изоляций и монтировки их изображен на фиг. 18; для изоляции обеих проволок, или, вернее, обеих стержней термоэлемента друг от друга, их покрывают слоем азбеста или особой вулканической массы; в качестве внешней арматуры употребляется железная или никкелевая трубка с фарфоровой или деревянной рукояткой, снабженной зажимами для приключения проводов от гальванометра.

При выборе сорта термоэлементов для измерения температур при каком-нибудь производстве необходимо сообразоваться с тем, какой интервал температур подлежит наиболее тщательному измерению, а также, какая точность измерения требуется. При этом во всех тех случаях, когда предел измерения весьма широк и необходима большая точность, следует отдать предпочтение термоэлементам из платины-платинородия, как наиболее универсальным, точным и постоянным, т. е. не изменяющим своей электродвижущей силы в течение весьма продолжительного времени при надлежащем за ними уходе.

Как общее правило, при измерении очень высоких температур удобнее пользоваться термопарами, развивающими не особенно большую электродвижущую силу, так как в противном случае может оказаться недостаточною обычная шкала милливольтметра вследствие значительного отклонения стрелки, и пришлось бы градуировать милливольтметр на слишком узкий интервал температур. Для измерения же невысоких температур предпочтительнее применяются термопары с возможно большею электродвижущей силой, так как в этом случае можно обойтись без особо чувствительных приборов в качестве указателей температуры.

Для изготовления термоэлементов могут служить не только металлические проволоки или стержни разного химического состава, но и пары, составленные из металла в сочетании с неметаллическим веществом, как, например, уже упоминавшаяся выше пара никкель—уголь, пригодная для измерения температур вплоть до 1200°C . и имеющая уже в настоящее время некоторое практическое применение, несмотря на свою несравненно более быструю изнашиваемость. С другой стороны, возможно сконструировать термопары,

в которых одно или оба ее составляющих вещества находятся при работе в расплавленном капельно-жидком состоянии. Из термопар последнего типа заслуживает внимания конструкция, разработанная Дарлингом применительно к составной паре металл X—уголь—металл Y. Существеннейшие детали этой конструкции, пока еще не имеющей сколько-нибудь широкого практического значения и применения, но представляющей все же большой теоретический интерес, изображены схематически на фиг. 19. Брусок в форме стержня из огнеупорной массы R снабжен двумя просверленными в продольном направлении параллель-



Фиг. 19. Конструкция термоэлемента, составленного из расплавленных металлов (по Дарлингу).

ными сквозными каналами, изолированными друг от друга достаточно толстою стенкою; через эти каналы пропускаются прутки А и В из двух разных металлов, составляющих термоэлемент. Нижние концы прутков А и В входят в снабженный глухими отверстиями кусок графита G, который своею верхнею стороною соприкасается и закреплен неподвижно с бруском R. В качестве внешней оболочки термоэлемента служит трубка из огнеупорного материала С, защищенная еще снаружи сменным металлическим кожухом F. Возникающий в данной термопаре ток не нарушается при расплавлении одного или обоих металлических прутков, так как он проходит через прослойку графита G, назначение которой в недопущении размыкания тока между расплавленными металлами и в воспрепятствовании смешения их друг с другом при расплавлении. Само собою понятно, что каналы в бруске R и отверстия в графите G должны быть по величине своей таковы, чтобы свободно допускать расширение

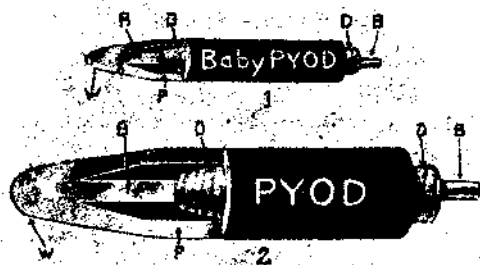
металлических элементов термопары, происходящее при их плавлении.

Кроме термопар обычного типа, составленных из двух скрепленных на одном конце, чаще всего спаянных, параллельно расположенных проволок или прутков, в настоящее время практикою разработаны и вошли во всеобщее употребление и некоторые другие формы, более удобные в тех или иных специальных условиях работы. Так, например, для придания термопаре большой механической прочности и компактности при значительной чувствительности и восприимчивости к внезапным частым переменам температуры употребляют термоэлементы трубчатой формы, один из элементов которого, в виде электрически изолированной проволоки или стержня, пропущен в трубку из второго, составляющего термоэлемент металлического вещества, причем конец стержня впаян в дно этой трубки, образующее таким образом место горячего спая термопары. Подобные термоэлементы трубчатой формы, более известные под названием пиодов, могут быть употребляемы в дело без дополнительной наружной оболочки, если измеряемая температура и прочие условия нагретой среды не вызывают окисления металла, из которого изготовлена трубчатая составная часть термоэлемента. В противном случае пиод должен быть защищен, как и обычный термоэлемент, футляром из огнеупорного вещества. Пиоды изготавливаются исключительно из недорогих металлов, причем трубчатая часть делается чаще всего из железа или меди и реже — из никкеля или нихрома. На фиг. 20 изображены в натуральную величину части двух американских пиодов, прилегающие к горячему спаю: здесь В представляет центральную проволочную часть термопары, D — ее изоляцию в виде асбестовой обмотки, P — трубчатую часть термопары и W — место электрической спайки проволоки и трубки термопары, т.е. горячий чувствительный спай пиода.

В форме пиода обычно изготавливают термопару никкель — уголь, причем в этом случае трубчатую оболочку является угольная трубка диаметром около 15 мм, внутри которой находится изолированная посредством трубочки из огне-

стойкого фарфора никкелевая проволока толщиной 2—3 мм. В этом случае соединение угля с никкелевой проволокой производится чисто механическим способом при посредстве вставного металлического дна, скрепляемого резьбою; длина такого пиода составляет около 80 см.

В тех случаях, когда термоэлемент предназначается для измерения температур на поверхностях раскаленных тел, являющихся дурными проводниками теплоты, ему придают в части, прилегающей к горячему спаю, форму спирали для уменьшения потери теплоты вследствие теплопровод-



Фиг. 20. Детали устройства термоэлектрических жезлов — пиодов, состоящих из стержневого и трубчатого проводов.

ности ненагретых частей проволок термоэлемента; форма спирали, способствуя нагреванию прилегающей к горячему спаю части термоэлемента, повышает таким образом точность показаний пирометра при измерении температуры на поверхности тел контактным способом. Так соответственным видоизменением формы и взаиморасположения частей термоэлемента, а равно и надлежащим выбором материала для внешней оболочки последнего достигают наилучших результатов работы термоэлемента сообразно с условиями и обстановкою испытания.

Из числа употребляемых в качестве внешних оболочек термоэлементов в настоящее время многочисленных материалов, отчасти уже поименованных и описанных выше, наиболее практичные в условиях металлургических про-

изводств и в особенности — при термической обработке металлов, сопоставлены и охарактеризованы в таблице 9.

ТАБЛИЦА 9.

Материалы для внешних оболочек термоэлементов.

Название материала.	Предельная температура устойчивости при продолжительной службе (°C).	Примечание.
Железо обыкновенное	700	—
Железо калоризованное	900	Обработ. Al по способу Рудера.
Железо алитированное	1100	Обработ. Al по способу завода Крулла.
Железо никкелированное	1000	—
Никкель	1200	—
Нихром	1100	80% Ni + 20% Cr.
Фарфор огнестойкий	1250	Не менее 26% Al_2O_3 .
Марквардтова масса	1400	30—40% Al_2O_3 .
Алунд	1600	95% Al_2O_3 .
Силит	1200	Хим. соед. Si и C.
Кварцевое стекло	1500	Плавненное.

При употреблении простых железных или стальных труб в качестве внешних оболочек термоэлектрических жезлов полезно время от времени смазывать их наружную поверхность графитом или алюминиевым порошком. При продолжительном погружении жезлов в свинцовые ванны лучше всего употреблять графитовые внешние трубки, в особенности же следует избегать употребления сварных металлических труб.

Не следует, однако, упускать из виду, что даже при наличии надежных внешних оболочек термоэлементы с течением времени подвержены более или менее сильному износу

как вследствие газопроницаемости и опасности размягчения, растрескивания и разрушения самой оболочки, так и вследствие своеобразных явлений старения, претерпеваемых веществом термопары под влиянием продолжительного пребывания в области высоких температур, оказывающих существенное влияние на структуру и физико-механические свойства металлов. Так, например, установлено, что никкель после многократных нагревов выше 900°C . становится чрезвычайно хрупким и легко ломается. На платиновую проволоку весьма вредно действует присутствие углерода, серы и водорода в условиях нейтральной или восстановительной атмосферы, что как раз имеет место в печах для термической обработки металлов, отапливаемых каменным углем или нефтью. Сколько-нибудь радикальные меры борьбы с этим злом пока еще не выработаны, однако применением надлежащих мер защиты термоэлементов от вредных влияний удастся значительно удлинить срок их службы.

В гораздо более благоприятных условиях работы находятся гальванометры, которые с помощью соответствующей электрической проводки могут быть удалены на значительное расстояние от тех предметов, температура которых подлежит измерению термоэлектрическим пирометром. Поэтому при надлежащем уходе со стороны обслуживающего персонала указатели температуры типа милливольтметров в состоянии работать очень продолжительное время, не нуждаясь в каком-либо ремонте. В этих целях надлежит руководствоваться следующими правилами обращения с ними:

Прежде чем присоединить термопару к милливольтметру, необходимо установить последний в горизонтальном положении, за исключением гальванометров, предназначенных к подвешиванию в вертикальном положении; последние прикрепляются к стене по отвесу строго вертикально. Наиболее чувствительные милливольтметры горизонтального типа снабжены в качестве ножек особыми установочными винтами и имеют на верхней крышке прибора небольшой привинченный ватерпас. При не вполне точно урегулированном положении милливольтметра стрелка его теряет способность плавно двигаться и может совсем не отклоняться

или отклониться недостаточно сильно даже при значительном нагреве термопары. В более грубых приборах заводского типа установочных винтов и ватерпаса не имеется; для них приблизительная горизонтальность положения прибора достигается только на глаз путем выбора достаточно горизонтальной на вид поверхности, на которой устанавливается прибор. В горизонтально установленном приборе стрелка при незамкнутой цепи должна находиться в нулевом положении шкалы. Чтобы убедиться в этом, отпускают винтовой арретир, которым во многих милливольтметрах бывает прижата стрелка, и дают ей установиться неподвижно, что требует известного непродолжительного времени. Если стрелка при этом установится не против нулевого деления шкалы, ее переводят на нуль с помощью того или иного приспособления, всегда имеющегося для этой цели в милливольтметрах; это — или особая головка сверху его стойки, или рычажок сбоку прибора, или, наконец, простой винт, вращаемый в ту или иную сторону с помощью отвертки.

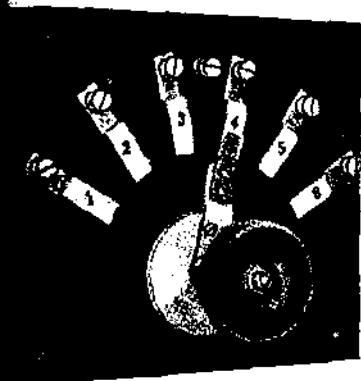
Когда милливольтметр, согласно вышесказанному, надлежащим образом установлен, присоединяют к двум его клеммам концы медных проводов, идущих от термоэлемента, и путем нагревания горячего спая последнего убеждаются в правильности присоединения полюсов. При правильном присоединении стрелка милливольтметра начинает плавно двигаться от нуля в положительную сторону и доходит до некоторого наивысшего положения, соответствующего температуре нагрева спая термоэлемента. В противном случае стрелка милливольтметра начинает двигаться от нуля в отрицательную сторону, тогда необходимо переключить провода термопары к противоположным клеммам прибора, т. е. наоборот. Если при нагревании свободного конца термопары совсем не наблюдается отклонения, то причину этого следует искать или в разрыве какой-либо из проволок термопары или соединительных проводов, или в коротком замыкании их, или, наконец, в неправильной установке милливольтметра. После устранения этих причин пирометр, дающий при нагреве спая термопары плавные отклонения стрелки, готов к употреблению.

При установке гальванометров в заводских помещениях нужно выбирать для них место, недоступное для проникновения металлической пыли и не находящееся в ближайшем соседстве с большими массами железа, стали и других ферромагнитных металлов, могущих оказать нежелательное влияние на создаваемое прибором магнитное поле. Равным образом по этим же соображениям нельзя ставить гальванометры на железные или стальные плиты, а при установке в ряд нескольких приборов следует оставлять между двумя соседними гальванометрами достаточное расстояние, приблизительно 25—30 см; при слишком близком расположении приборов друг к другу неминуемо взаимное влияние их магнитных систем друг на друга. Наконец, гальванометры должны быть хорошо защищены от местного нагревания их частей; в виду большого температурного коэффициента гальванометров, последние не должны находиться в помещении, температура в котором значительно выше нормальной комнатной. Равным образом гальванометры нельзя держать в сырых помещениях, где они быстро портятся.

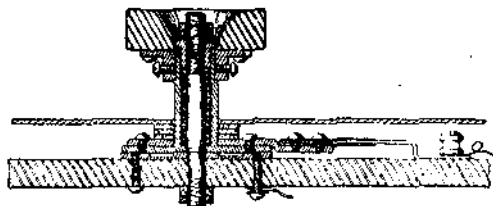
При большом числе термоэлементов одинакового сорта можно пользоваться для отсчета температур всего одним гальванометром или небольшим числом их, включая один и тот же гальванометр поочередно в цепь различных термоэлементов; для этой цели приходится пользоваться многополюсными переключателями. Подобный переключатель, позволяющий обслуживать до шести термоэлементов с помощью одного гальванометра, изображен на фиг. 21; детали устройства переключателя хорошо видны на фиг. 22 и не требуют особых пояснений. Наконец, изображенная на фиг. 23 схема присоединения переключателя к пирометрической установке из 4 термоэлементов дает ясное представление о способе действия переключателя. Для более удобного пользования переключатель может быть смонтирован вместе с гальванометром в общий предохранительный пыленепроницаемый ящик.

Иногда гальванометры стрелочного типа снабжаются механизмом для автоматической регистрации температуры. Глав-

ной принадлежностью таких приборов является точный часовой механизм, приводящий в движение цилиндрический барабан, сбегаящую плоскую ленту или круговую диаграмму. Во всех этих случаях регистрация может быть непрерывная и периодическая. Непрерывная запись производится

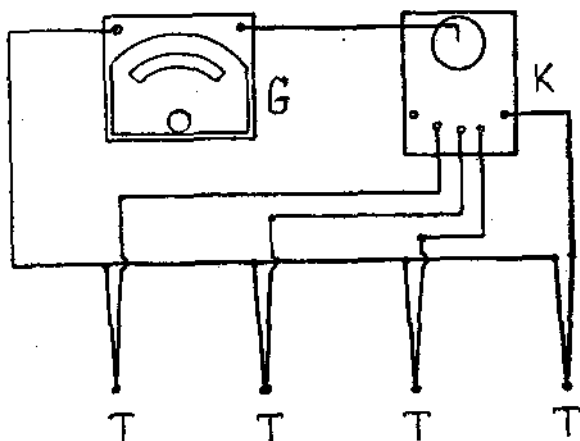


Фиг. 21. Переключатель для присоединения нескольких термоэлементов к общему указателю температуры.



Фиг. 22. Детали конструкции переключателя.

иногда при помощи самопишущего пера или карандаша, скользящего по бумаге, или же фотографическим путем;



Фиг. 23. Схема пирометрической установки из нескольких термоэлементов при одном гальванометре.

последний способ регистрирования наиболее удобен для лабораторных приборов. При периодической регистрации

запись осуществляется посредством ударяющего штифта или дуги, прижимающей острие стрелки к бумаге через определенные промежутки времени (от $\frac{1}{2}$ до 1 минуты), в результате чего получается прерывистая пунктирная линия. Гальванометр с непрерывной регистрацией не может служить для работы с несколькими термоэлементами. Существует, однако, удобный способ одновременной регистрации температур нескольких термоэлементов, основанный на автоматическом действии особого переключателя, включающего и выключающего термоэлементы поочередно. Кривая, записываемая для каждого термоэлемента, состоит в этом случае из отдельных прерывистых участков, которые затем уже от руки соединяют в непрерывную линию. Пирометры с регистрирующими механизмами описаны подробнее в главе VII.

ГЛАВА IV.

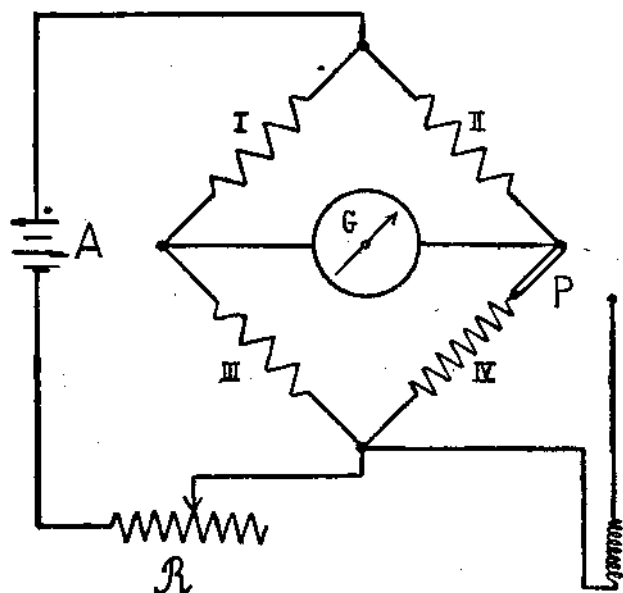
Пирометры электрического сопротивления.

Электрические пирометры сопротивления предназначаются исключительно, подобно термоэлектрическим пирометрам, для помещения внутрь нагретого пространства и для приведения в непосредственное соприкосновение с объектами, температура которых подлежит измерению. Пирометры указанного типа основаны на изменении сопротивления платиновой проволоки электрическому току в функции температуры. В виду того, что электрическое сопротивление платиновой проволоки может быть измерено с весьма большой точностью, данный метод измерения температуры принадлежит к числу наиболее надежных.

Область применения электрического пирометра сопротивления простирается на интервал температур между -200° и $+900^{\circ}$ Ц. При более высокой температуре означенные пирометры подвержены сильному износу и, кроме того, электрическое сопротивление платиновой проволоки после многократных нагревов выше 900° Ц. существенно изменяется.

Главными составными частями электрического пирометра сопротивления представляются следующие две: собственно

пирометр, или термометр, как его принято называть в виду некоторого внешнего сходства конструкции с обыкновенными ртутными термометрами, и указатель температуры, представляющий собою комплект приборов для точного измерения электрического сопротивления. Кроме того, необходимую принадлежность электрического пирометра сопротивления составляет источник постоянного тока. Самое измерение электри-

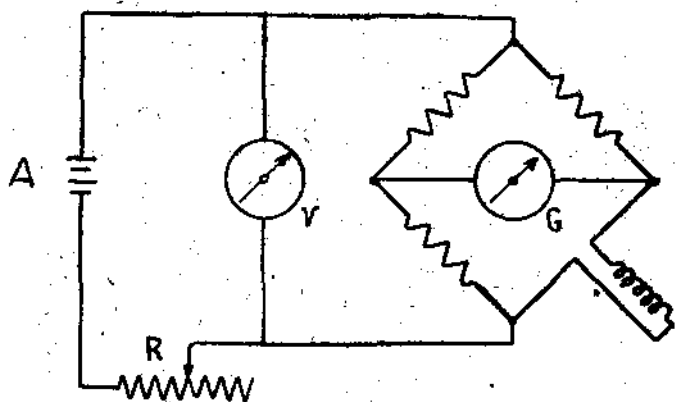


Фиг. 24. Схема пирометра электрического сопротивления с принадлежностями.

ческого сопротивления осуществляется при посредстве так называемого мостика Витстона. В качестве источника тока большею частью служит аккумуляторная батарея; однако можно присоединять пирометрическую установку к любой сети постоянного тока; в последнем случае необходимо только включить в сеть особый компенсатор для уравнивания могущих наблюдаться колебаний напряжения.

На фиг. 24 изображена простейшая схема измерительной установки к электрическому пирометру сопротивления, осуществляемая в конструкции Гереуса. На означенной схеме А

представляет источник постоянного тока, T — самый пирометр и G — гальванометр, снабженный температурной шкалой. Сопротивление трех ветвей моста I, II и III подобрано так, что оно точно соответствует сопротивлению самого пирометра при 0° . При этой температуре, следовательно, стрелка гальванометра стоит на нулевом делении. При всякой же другой, более высокой температуре электрическое сопротивление пирометра возрастает, и стрелка гальванометра получает некоторое отклонение, указывая таким образом соответствен-



Фиг. 25. Схема пирометра электрического сопротивления (другой вариант).

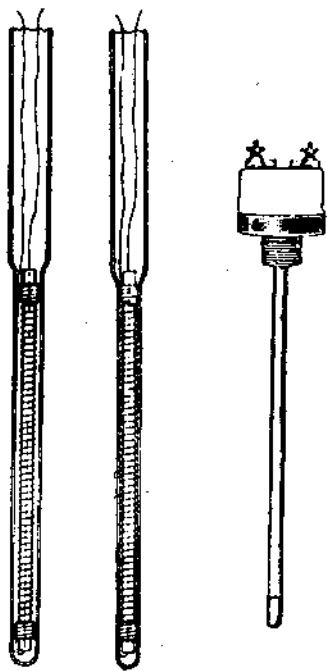
ную температуру. Обязательным условием правильного показания температуры является строгое постоянство напряжения в мостике. Для контроля и регулировки последнего служат контрольное сопротивление IV и регулировочный реостат R. Сопротивление IV строго отвечает таковому пирометра при некоторой определенной температуре, отмеченной на шкале гальванометра красной чертой. Самая проверка напряжения состоит в том, что при включении контрольного сопротивления в сеть мостика на место пирометра стрелка гальванометра должна стать на красную черту. Если этого не происходит, приходится подрегулировать напряжение в сети помощью реостата R, снабженного скользящим контактом.

Вместо описанного устройства для более удобного контроля напряжения можно применять несколько видоизмененное, схема которого изображена на фиг. 25. Здесь роль контрольного сопротивления заменяет точный вольтметр.

При помощи реостата со скользящим контактом R напряжение тока в сети регулируется так, чтобы стрелка вольтметра стояла все время против определенного деления на шкале, обозначенного красной чертой. Установка по этой схеме представляется особенно удобной в том случае, когда к одному указателю температуры приключается параллельно несколько платиновых термометров сопротивления.

Самый термометр сопротивления, вводимый в нагретую среду, состоит из тонкой платиновой проволоки, намотанной на слюдяной крест или на трубку из кварцевого стекла. В очень практичной конструкции Гереуса, изображенной на фиг. 26, платиновая спираль вплавлена в трубочку из кварцевого стекла и таким образом вполне защищена от

действия вредных паров и газов. В то же время, благодаря незначительной толщине кварцевой оправы, пирометр чрезвычайно быстро воспринимает температуру окружающей среды. Кроме того, кварцевая оправа, как известно, хорошо переносит самые резкие и внезапные колебания температуры. Для защиты от механических повреждений кварцевая трубка вставляется в металлический футляр, при этом, однако, несколько понижается восприимчивость прибора к небольшим колебаниям температуры. Нормальная длина кварцевого термометра составляет 200 мм, металлической арма-



Фиг. 26. Измерительный жезл конструкции „Гереуса“ к пирометру электрического сопротивления.

туры — 500 мм. Длина платиновой спирали обыкновенно составляет 60 мм, а диаметр проколоки — около 0,3 мм: сопротивление пирометра при 0° не превосходит 50 омов. Для соединения платиновой спирали пирометра с наружными зажимами в его оправе служат тоненькие серебряные или золотые проволоки.

Среди довольно многочисленных конструкций электрических пирометров сопротивления особенно выделяется пирометр Каллендера, общее представление о котором дает фиг. 27. В этом пирометре принято во внимание также и изменение с температурою электрического сопротивления проводников, соединяющих платиновую спираль с наружными контактными зажимами. Для устранения вызываемой этим погрешности Каллендер снабдил свой пирометр добавочным уравнительным проводом, сопротивление которого точно соответствует сопротивлению упомянутых проводников. Добавочный уравнительный провод включается в одну из ветвей мостика Витстона. Для точной подгонки сопротивления уравнительного провода служит небольшое регулировочное приспособление в виде дополнительного реостатика, включаемого последовательно с первым.

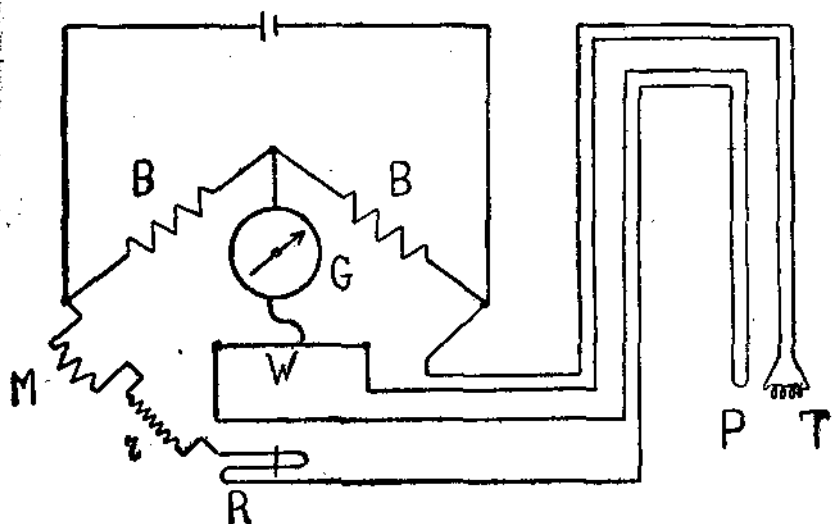


Фиг. 27. Измерительный жезл конструкции Каллендера к пирометру электрического сопротивления.

В конструкции Каллендера платиновая спираль намотана на две слюдяных пластинки, расположенные в форме креста; спираль помещается в фарфоровой трубке. Все 3 проволоки, соединяющие спираль с внешними зажимами — платиновые. Измерение электрического сопротивления пирометра, отвечающего разным искомым температурам, производится по схеме мостика Витстона так называемым нулевым методом. Все манипуляции при этом способе измерения сводятся к тому, чтобы подобрать в магазине такие сопротивления и найти такое положение подвижного контакта, при котором стрелка гальванометра сохраняет одно и то же подо-

жение при замыкании и размыкании соответственной ветви моста.

Схема мостика Витстона в том виде, как она осуществлена в пирометре Каллендера, представлена на фиг. 28. Две ветви *B* обладают одинаковым сопротивлением, в третью же ветвь включены так называемая нулевая катушка *г*, магазин сопротивлений *M* и уравнивательный провод *P* с последовательно присоединенным реостатом *R*. Четвертую ветвь

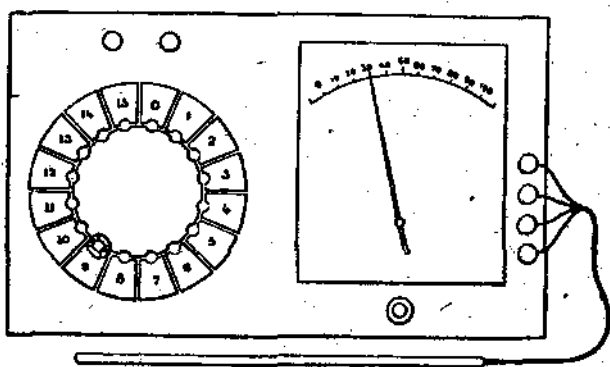


Фиг. 28. Схема пирометра электрического сопротивления системы Каллендера.

моста образует самый платиновый термометр *T* вместе с соединительными проводами. Третья и четвертая ветви соединяются между собою при помощи провода *W*, по которому движется ползунок, введенный в ветвь, занимаемую гальванометром. Все остальные соединения моста обычные. Сопротивление нулевой катушки равно сопротивлению платинового термометра при 0° . Магазин *M* содержит ряд сопротивлений, кратных приращению сопротивления платинового термометра при нагревании; калиброванный провод *W* также снабжен делениями, соответствующими величинам, кратным тому же приращению сопротивления. В виду этого оказы-

вается возможным находить искомую температуру непосредственным отсчетом на шкале прибора.

Кроме означенного пирометра Каллендером построено несколько упрощенный и потому более пригодный в заводской практике прибор. Последний изображен схематически на фиг. 29. Он состоит из платинового термометра описанной выше конструкции, гальванометра и кругового магазина сопротивлений, содержащего 15 катушек сопротивлением в 1 ом каждая. При измерении температуры необходимо произвести 2 отсчета на гальванометре при двух соседних



Фиг. 29. Упрощенный тип пирометра системы Каллендера.

положениях ручки магазина сопротивлений. Из соответственных данных интерполированием определяют действительное сопротивление термометра, а по нему и температуру с практически достаточной точностью.

— При помощи пирометра Каллендера температура измеряется не в общепринятых градусах газовой шкалы, но в так наз. градусах платинового термометра. Для перехода от платиновой шкалы к обычной, Каллендер дает следующую формулу: $t - Pt = k \left[-\frac{t}{100} + \left(\frac{t}{100} \right)^2 \right]$, где t выражает истинную температуру, Pt — температуру в градусах платинового термометра, а k есть коэффициент, зависящий от применяемого материала; для чистой платины $k = 1,5$. Формула Каллендера справедлива в пределах температур

от -80° Ц. до $+1100^{\circ}$ Ц., как это явствует из данных, приведенных в таблице 10.

Т А Б Л И Ц А 10.

Сравнительные показания температуры в шкалах платинового и газового пиromетров.

Температура.		Разность температур $t - Pt$
Платиновый пиromетр Pt	Воздушный пиromетр $t (^{\circ}\text{C})$	
- 100	- 97,1	+ 2,9
+ 50	+ 49,6	- 0,04
100	100	0
200	203,1	3,1
300	309,8	9,8
400	420,2	20,2
500	534,9	34,9
600	654,4	54,4
700	779,4	79,4
800	910,7	110,7
900	1.049,4	149,4
1.000	1.197,0	197,0
1.100	1.355,0	255,0
1.200	1.526,7	326,7
+ 1.300	+ 1.716,0	- 416,0

Пиromетр Каллендера часто снабжается регистрирующим приспособлением для автоматического вычерчивания температурных диаграмм. Запись производится особым регистрирующим пером, которое механически связано с ползунком, движущимся по калиброванному проводу моста. Получающаяся в результате диаграмма вычерчена в прямоугольных координатах, причем температуры отвечают платиновой шкале.

Платиновые термометры сопротивления необходимо время от времени проверять и с этой целью их градуируют по двум

или трех постоянным точкам; в качестве последних лучше

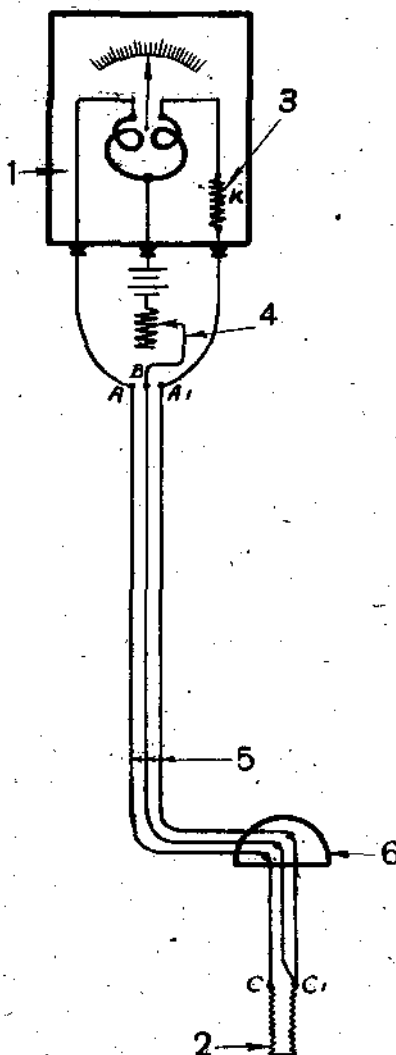
всего остановиться на точке таяния льда (0°) и точках кипения воды (100°) и серы (445°). Градуировка производится простым погружением пирометра в соответствующую среду и отсчетом температуры по указателю.

С целью удешевления стоимости электрических пирометров сопротивления платиновую спираль иногда заменяют спиралью из никкелевой проволоки, являющейся к тому же почти вдвое более чувствительной, чем платиновая проволока. Однако, никкелевая спираль может служить для измерения температур не выше $300^{\circ} - 350^{\circ} \text{C}$, так как при более сильном нагревании закон нарастания электросопротивления с температурой резко нарушается из-за полиморфного превращения никкеля.

На фиг. 30 изображена схематически одна из новейших моделей американского заводского пирометра электрического сопротивления, изготовляемая как с платиновым, так и с никкелевым проволочным термометром.

Фиг. 30. Схема пирометра электрического сопротивления с дифференциальным гальванометром.

На данном рисунке цифрой 1 обозначен указатель температуры, изготовляемый по требованию и с самозаписывающим механизмом; цифра 2 обозначает платиновую или никкелевую

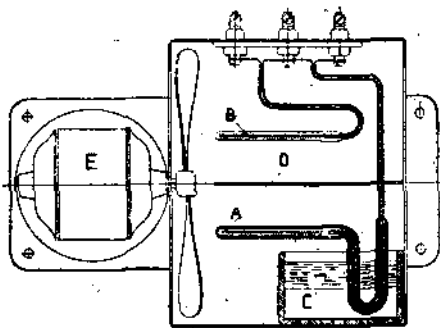


спираль сопротивления, 3 — постоянную катушку сопротивления, 4 — источник тока с регулятором напряжения, 5 — проводку, соединяющую термометрическую спираль сопротивления с дифференциальным гальванометром, и 6 — соединительную коробку для подключения спирали сопротивления к сети указателя температуры. Последний снабжен двумя параллельными обмотками, из коих одна соединена последовательно с постоянным реостатом 3, а вторая — со спиралью сопротивления 2, причем обе обмотки питаются от общего источника тока — батареи сухих элементов. Постоянное сопротивление 3 подобрано так, что оно равно сопротивлению термометрической спирали 2, приобретаемому последней при температуре, в $1\frac{1}{2}$ раза превышающей верхний предел шкалы указателя. Таким образом при охлаждении спирали, когда сопротивление ее уменьшается, через нее проходит более сильный ток, чем через вторую обмотку гальванометра, и стрелка указателя движется вниз по шкале; при нагревании же спирали сопротивление ее увеличивается, через нее проходит ток меньшей силы, чем через вторую обмотку, и стрелка указателя движется вверх по шкале прибора. Общая же сила тока, проходящего через гальванометр, должна оставаться все время неизменною, и с этой целью иногда приходится подрегулировать напряжение питающей батареи с помощью имеющегося при ней реостата.

Представляя в общем чрезвычайно чувствительный прибор, термометр электрического сопротивления может быть использован в технике и для измерения различных других физических величин, так или иначе связанных с изменениями температуры. Так, например, исходя из принципа термометра электросопротивления и несколько усложненной схемы мостика Витстона, в настоящее время удалось сконструировать приборы для измерения степени влажности (гигрометры), степени разрежения атмосферы (вакуумметры) и для быстрого определения состава топочных и генераторных газов (электрические газоанализаторы). В виду того, что как раз эти области применения термометров сопротивления имеют значение и при металлургических процессах и произ-

водствах, не лишне будет, хотя бы в беглых чертах, их рассмотреть.

Как известно, обычный волосной гигрометр, употребляемый для определения степени влажности в помещениях, обладает, в числе других, и тем существенным недостатком, что показания его не могут передаваться на расстояние, и это делает невозможным применение его в тех случаях, когда требуется определить влажность в недоступных прямому наблюдению воздушных каналах. Изображенный на фиг. 31 электрический гигрометр системы Констанц-Шмиц, представляющий собою не что иное, как комбинацию двух



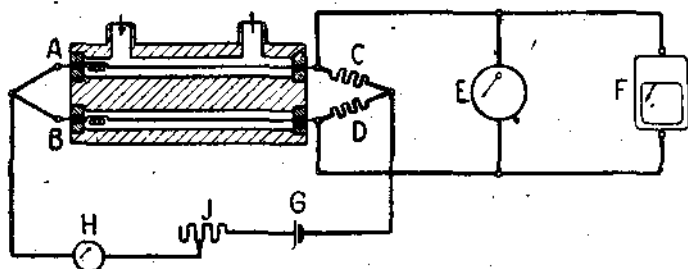
Фиг. 31. Схема электрического гигрометра системы Констанц-Шмиц.

обычных термометров сопротивления, легко позволяет передавать показания на любое расстояние путем установки в соответствующем месте электрически соединенного с термометрами сопротивления особого дифференциального гальванометра, проградуированного непосредственно в цифрах относительной влажности. На фиг. 31

через А обозначен мокрый термометр сопротивления, через В — сухой термометр сопротивления, через С — сосуд с водой, в который опущена всасывающая влагу материя, через D — перегородка между обеими камерами и, наконец, через E — вентилятор, усиливающий скорость испарения воды в помещении с небольшою скоростью движения воздуха. Разность показаний сухого и влажного термометров, известная под названием психометрической разности, непосредственно определяется прибором и служит для вычисления относительной влажности; однако является возможным проградуировать шкалу указателя непосредственно в цифрах искомой влажности.

Измерение степени разрежения воздуха с помощью термометра сопротивления основано на том явлении, что сопротивление нагретой металлической проволоки пропускаемому через нее току в сильно разреженной атмосфере (например, сопротивление танталовой нити в лампе накаливания) заметным образом возрастает по мере уменьшения давления от 0,1 до 0,001 мм. ртутного столба; это интересное свойство металлического проводника и может быть использовано для изготовления соответствующего прибора — электрического вакуум-метра, конструкция которого, впрочем, довольно сложная.

Наконец, существуют электротермические приборы для газового анализа, основанные на том, что теплопроводность



Фиг. 32. Схема электрического газоанализатора для определения содержания CO_2 в продуктах горения.

газов разного химического состава настолько отличается друг от друга, что путем сравнения условий охлаждения двух одинаково нагретых платиновых или платиноиридиевых проволок, находящихся в закрытых сосудах, при пропускании через них двух различных газов, неизвестного и стандартного, можно определить состав неизвестного газа по изменению электросопротивления платиновой или платиноиридиевой проволоки, вызываемому неодинаковыми условиями теплопередачи. Так, например, если теплопроводность воздуха приравнять 100, то теплопроводность углекислого газа выразится числом 60, а теплопроводность водорода — 700. Это обстоятельство дает возможность с помощью видоизмененного термометра сопротивления быстро и точно определять процентное содержание какого-либо одного газа —

например, водорода или углекислого газа — в данной газовой смеси. На фиг. 32 изображена схема устройства газоанализатора для определения содержания CO_2 в дыме, из коей, не входя в рассмотрение деталей, можно заключить, что метод измерения общеупотребительный для электрических термометров сопротивления согласно схеме мостика Витстона. Здесь две накаливающиеся спирали сопротивления А и В пропущены через измерительные камеры: А — для анализируемого газа и В — для воздуха, С и D — две другие ветви моста; Е — гальванометр со шкалою, градуированною непосредственно на процентное содержание CO_2 ; F — параллельно с ним включенный регистрирующий прибор; G — источник тока в сети; I — регулировочный реостат и H — прибор для измерения силы тока.

ГЛАВА V.

Оптические пирометры фотометрические.

Хотя уже с давних пор цвет и спектр тел, нагретых выше температуры начала их самоевечения, служили качественным и отчасти количественным показателем степени нагрева, однако начало фотометрической пирометрии, основанной на измерении силы света, испускаемого нагретым телом, было положено лишь после ряда блестящих открытий законов лучеиспускания, сделанных Кирхгофом, Стефаном, Больцманном и Вином.

Оптические фотометрические пирометры применимы только для измерения температуры раскаленных докрасна, или выше, самосветящихся тел. В основе этих пирометров лежит зависимость между температурою и лучистой энергией, испускаемою светящимися раскаленными телами, или, иначе говоря, зависимость между абсолютной температурой T и интенсивностью излучения J при определенной длине световой волны λ ¹⁾. Математически связь между данными

¹⁾ Длиною волны называется расстояние между двумя соседними гребнями ее. Длина видимых световых волн, посылаемых солнцем, электрическою лампою, стеариновою свечою или любым раскаленным

величинами выражается формулой Вина: $J = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$, в которой c_1 и c_2 представляют константы, определяемые опытным путем, а e — основание натуральных логарифмов. Таким образом измерение температуры просто сводится к измерению силы света.

Дело в том, что с повышением температуры раскаленного тела интенсивность испускаемых им световых лучей возрастает в той же последовательности, что и в спектре, т. е. от красного цвета к фиолетовому. С другой стороны, при наблюдении одних определенного цвета лучей спектра, даваемого раскаленными телами, например красных, установлено, что интенсивность этих лучей также возрастает по мере повышения температуры и при том настолько быстро, что если интенсивность их при 1000°C . принять за единицу, то при 1200°C . она выразится через 804 и при 2000°C . — через 2134. Вследствие такого сильного увеличения интенсивности самые незначительные изменения температуры, даже десятые доли градуса, вызывают заметную и точно измеримую разницу в силе света, так что это изменение силы света является весьма чувствительным показателем температуры.

Необходимо, впрочем, оговориться, что предыдущее справедливо лишь по отношению к так называемым „абсолютно черным“ телам; под последними разумеют такие идеальные тела, которые при всякой температуре полностью поглощают все падающие на них лучи, не отражая никаких. По закону Кирхгофа абсолютно черное тело наряду с максимумом лучепоглощательной способности обнаруживает и максимум лучеиспускающей способности; следовательно такое тело в состоянии свечения испускает лучи с любой длиной волны. К идеальному абсолютно черному телу по своим свойствам всего больше приближаются гра-

самосветящимся телом и воспринимаемых человеческим глазом, заключается между $0,8 - 0,4$ микрона. Для красных лучей, которыми чаще всего пользуются в оптических фотометрических пирометрах, длина волны составляет $0,65$ микрона или $0,00065$ мм.

фит с шероховатую поверхность и обыкновенная сажа. Блестящие и мало окисляющиеся на воздухе тела, как, напр., платина, отражая много света, поглощают его крайне мало и в виду этого стоят очень далеко от идеального абсолютно черного тела. Железо и сталь при обыкновенных условиях нагревания в заводских печах покрываются слоем темной окалины и в таком виде по своим свойствам довольно близко подходят под понятие абсолютно черного тела. По Кирхгофу под это же понятие подходит и всякое закрытое пространство, окруженное со всех сторон одинаково нагретыми стенками, мало проводящими тепло и способными отражать все падающие на них лучи. Поставленным требованиям вполне удовлетворяют различные металлургические печи, и рабочее пространство последних представляется почти абсолютно черным телом. Если сделать в стенке печи небольшое наблюдательное отверстие, то лучеиспускание изменится лишь на неизмеримо малую величину, и внутреннее пространство по-прежнему можно считать почти идеальным абсолютно черным телом.

Так как не существует абсолютных единиц для непосредственного измерения интенсивности света, на практике приходится пользоваться методом сравнения друг с другом двух интенсивностей, одна из которых является величиной заранее известной и играет роль эталона, а другая характеризует тело или пространство, температура которого подлежит измерению. Если сила света в обоих случаях окажется одинаковой, температура эталона и исследуемого тела совпадают. Таким образом для нагретых тел или пространств, находящихся при температурах T_1 и T_2 , вообще говоря, получается следующее соотношение сил света:

$$\frac{J}{J_2} = e^{-\frac{c_2}{\lambda} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)},$$

откуда

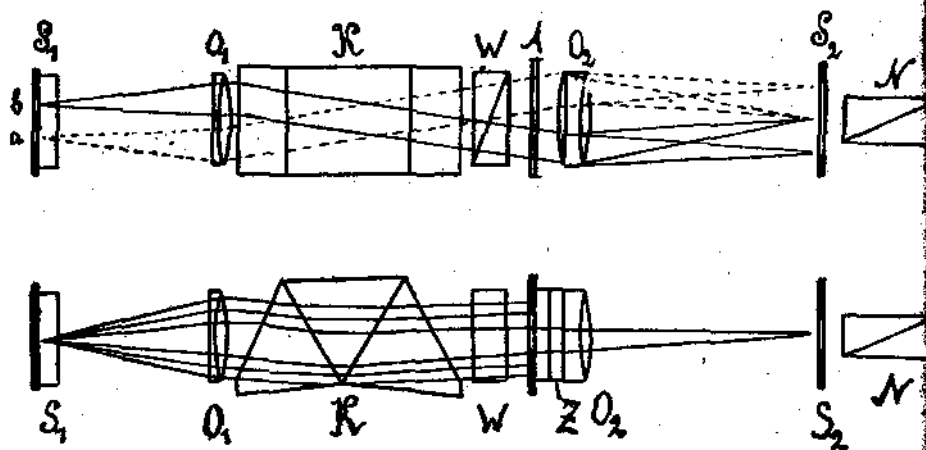
$$\log \frac{J_1}{J_2} = -\frac{c_2}{\lambda} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right).$$

Сравнивая фотометрически при помощи оптического пирометра излучение тела, температуру которого нужно узнать, с излучением эталона, непосредственно находим не истинную температуру данного тела, но лишь „черную температуру“ тела, т.-е. ту температуру, которую имело бы абсолютно черное тело, если бы его излучение было такое же, как и излучение данного тела. Полученную непосредственным измерением температуру нужно исправить, для чего необходимо знать, насколько данное физическое тело отличается от идеального абсолютно черного тела, или чему равно отношение лучеиспускательной способности данного тела к лучеиспускательной способности абсолютно черного тела, принимаемой за единицу. Отношение это носит название коэффициента поглощения данного тела и выражается дробью, меньшею единицы. Зная этот коэффициент и пользуясь формулою Вина, можно вычислить истинную температуру всякого раскаленного тела, так как коэффициент поглощения от длины волны световых лучей, выбираемых для измерения температуры, не зависит.

В качестве эталона для сравнения обычно служит электрическая лампочка накаливания, сила света которой или постоянна, или регулируется с любой степенью точности. Что же касается рода лучей, более всего пригодных для наблюдения, то таковыми, несомненно, являются красные лучи, по причине того, что они испускаются телами при наиболее низкой температуре, вообще доступной измерению оптическими пирометрами; следовательно при выборе красных лучей в качестве объекта наблюдений расширяется нижний предел измерения температур оптическими пирометрами. Верхняя же граница применимости оптических пирометров обуславливается прежде всего степенью яркости лампы сравнения и при употреблении электрической лампочки накаливания составляет приблизительно 1800° Ц. Однако для большей сохранности калильной нити температуру ее не следует повышать за 1500° или даже за 1200° ; поэтому при измерении весьма высоких температур, превосходящих допустимую температуру накаливания нити, пользуются приспособлением для ослабления яркости света

исследуемого источника при помощи вставных дымчатых стекол. В таком случае измерению становятся доступны самые высокие температуры, примером чего может служить произведенное Ле-Шателье при помощи построенного им оптического пирометра определение температуры солнца с весьма удовлетворительным результатом.

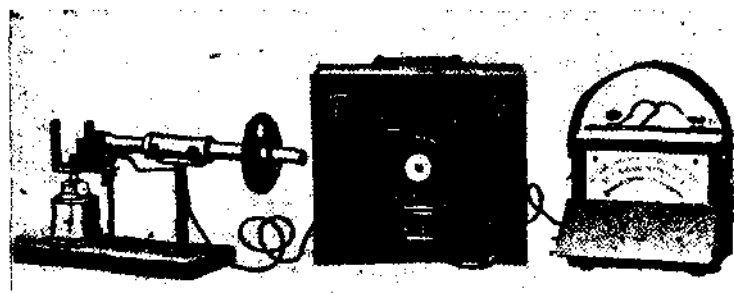
Из оптических пирометров наиболее распространенными являются пирометры Ваннера и Гольборн-Курльбаума. Пирометр Ваннера представляет собою переносный спектро-



Фиг. 33. Схема оптической системы фотометрического пирометра Ваннера.

фотометр, снабженный двумя щелями, одна из которых освещается исследуемым источником, а другая — нормальным эталоном. В качестве последнего служит шестивольтная электрическая лампочка накаливания с осмиевой нитью, помещающаяся в отрезке фотометрической трубки вблизи объективной щели. Весь аппарат имеет форму подзорной трубы длиной около 30 см. Сравнимые силы света уравниваются посредством особых поляризующих устройств, схематически изображенных на фиг. 33. Прилагаемая к аппарату градуированная таблица дает непосредственно температуру для прочитанного угла вращения анализатора. Как это явствует из представленных на фиг. 33 двух разрезов оптической части пирометра Ваннера, обе упомянутые выше

щели *a* и *b* расположены в фокусе линзы O_1 , превращающей расходящийся пучок лучей в параллельный. Затем в особой спектроскопической призме *K* пучки разлагаются на составные части, а по выходе оттуда поступают в поляризатор из известкового шпата *W*, где вторично разлагаются на обыкновенные и необыкновенные, поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях. При посредстве двойной призмы *Z* два из получившихся четырех пучков лучей приближаются к геометрической оси прибора, тогда как вторая пара отодвигается от этой оси. Пройдя затем через собирательную линзу O_2 , обе пары дают по 2 изображения



Фиг. 34. Внешний вид пирометра Вайнера с принадлежностями.

щелей *a* и *b* в плоскости окулярной щели S_2 ; из этих 4 изображений только 2 попадают в поле зрения анализатора *N*, а вторая пара заслоняется небольшими ширмочками. В качестве анализатора служит обыкновенная николева призма, при повороте которой происходит уравнивание видимой освещенности обеих щелей. При этом размер щели S_2 подобран так, что через окуляр прибора видна лишь одна красная часть спектра сравниваемых источников света, соответствующая фраунгоферовой линии *C*.

Общий вид пирометра Ваннера показан на фиг. 34. Для питания эталонной лампочки накаливания к прибору прилагается переносная аккумуляторная батарея, а для проверки напряжения прилагается точный вольтметр. Наконец, с целью проверки время от времени силы света эталонной лампочки, производится сравнение последней с особой

укусно-амиловой лампочкой, также прилагаемой к пирометру. Самое измерение температуры с помощью пирометра Ваннера производится следующим образом. Направив аппарат на светящийся предмет, наблюдают в трубку круглое красное пятно, состоящее из 2 половин, неодинаково ярко освещенных. Одна из них освещается исследуемым источником, а другая — эталонною лампочкою накаливания. При повороте окуляра на определенное число градусов яркость обеих половин поля легко приводится к полному совпадению. Произведя затем отсчет угла поворота окуляра, находят по таблице соответствующую температуру. В более новых моделях окуляр снабжен диском с круговою шкалою в градусах температуры непосредственно.

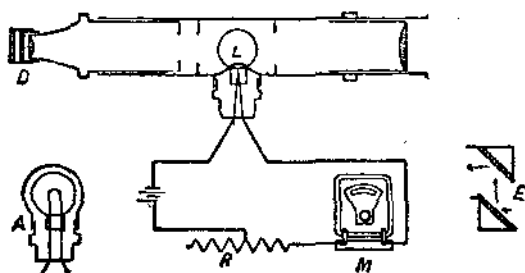
Прибор Ваннера является в высшей степени удобным при измерении особенно высоких температур в различных случаях заводской практики. Область применения этого пирометра захватывает громадный интервал температур от 900° до 2000° Ц.; если же перед объективом расположить дымчатое стекло, то представляется возможным измерять еще значительно более высокие температуры.

Точность показаний пирометра Ваннера при хорошем навыке наблюдателя довольно велика: при измерении температур до 1400° Ц. погрешность составляет не более 0,5—1,0%, при температурах выше 1400° Ц. она несколько возрастает, доходя до 3% при 2000° Ц.

Имеется в обращении и новейшая модель оптического пирометра Ваннера, предназначенная для измерения менее высоких температур, лежащих в интервале от 625° до 1000° Ц. В последней спектроскоп заменен простым красным стеклом. Расстояние прибора Ваннера от раскаленного источника должно быть таким, чтобы свет от последнего, попадая в прибор, покрывал собою все поле зрения. А именно, при расстоянии в 1 метр диаметр раскаленного тела должен быть не менее 80 мм., иначе при отсчете температуры возможны значительные ошибки, в особенности при малом навыке наблюдателя.

Пирометр Гольборн-Курльбаума, изображенный схематически на фиг. 35, представляет собою зрительную трубку,

через которую наблюдается исследуемый объект, изображение которого получается при посредстве особой линзы. В отличие от пирометра Ваннера здесь сравнение яркости производится изменением силы света эталона, что достигается соответственной регулировкой силы тока, питающего низковольтную эталонную лампочку накаливания. Таким путем регулируется яркость света лампочки, раскаленная нить которой проектируется на изображении исследуемого источника, наблюдаемом в окуляр. Эталонная лампочка *L* помещается внутри трубки в фокусе окуляра *D* и расположена так, что плоскость нити ее перпендикулярна к оси прибора, как это показано в разрезе *A*. Для питания лам-



Фиг. 35. Схема пирометра Гольборн-Курльбаума с принадлежностями.

почки служит переносная аккумуляторная батарея, а сила тока в лампочке регулируется при помощи реостата *R* и измеряется точным амперметром *M*. Наблюдения производятся через вставленные в окуляр красные стекла, поглощающие весь свет за исключением красных лучей спектра. Измерение температуры производится следующим образом: зрительную трубку прибора направляют на исследуемый предмет, стремясь получить наиболее резкое изображение этого предмета; заметив черную нить эталонной лампочки на освещенном поле зрения трубы, пропускают через лампочку ток от батареи и изменяют силу тока посредством реостата до тех пор, пока вершина накаливающейся нити не приобретает такой яркости, что совершенно сливается с окружающим полем и становится неразличимой для глаза. В этот момент исследуемый предмет и нить лампочки накаливания

имеют одинаковую температуру. Показания амперметра, включенного в цепь лампочки, определяют силу тока, а следовательно и температуру нити и исследуемого тела. Все составные части пирометра помещаются в небольшом переносном ящике, и в собранном виде пирометр представляется довольно компактным. При наличии в пирометре Гольборн-Курльбаума увеличительной оптики, облегчающей визирование отдаленных предметов, расстояние прибора от объекта измерения может в несколько раз превышать предельное расстояние, допускаемое для пирометра Ваннера. Это даёт возможность, пользуясь пирометром Гольборн-Курльбаума, измерять с достаточной точностью температуру предмета диаметром в 80 мм. на расстоянии до 8—10 метров.

Большим преимуществом пирометра Гольборн-Курльбаума перед пирометром Ваннера является также и то обстоятельство, что в первом наблюдатель видит действительное изображение предмета, температура которого измеряется, тогда как в пирометре Ваннера, благодаря вызываемому последним спектральному разложению света и отсутствию в нем линзы объектива, наблюдатель видит лишь более или менее яркое красное поле, но не различает очертаний светящегося источника. Кроме того, пирометр Гольборн-Курльбаума более удобен в обращении и не боится в такой мере механического повреждения и влияния жара окружающей среды, как крайне чувствительный к посторонним влияниям и к действию теплоты пирометр Ваннера, требующий весьма осторожного и бережного отношения.

Оптические фотометрические пирометры весьма удобны для измерения температур, развивающихся в металлургических плавильных печах при выплавлении, переплавке и рафинировке даже наиболее тугоплавких металлов и сплавов. Так, например, с помощью оптических фотометрических пирометров могут быть определяемы температуры печного пространства и жидкой ванны в мартеновских и электротермических сталеплавильных печах, где при детальном исследовании плавильных процессов необходимо знать с наибольшей точностью температуру металла и шлака в различные периоды плавки и при выпуске готового металла.

Самое измерение температуры при помощи оптических пирометров не представляет больших затруднений при некотором навыке наблюдателя, но только совсем недавно были более или менее точно установлены величины коэффициента поглощения для стали и шлака, знание которых позволяет находить искомые температуры с надлежащею точностью путем внесения соответствующих поправок в результаты непосредственного наблюдения. Эти поправки к показаниям пирометров Ваннера и Гольборн-Курльбаума, могущие достигать нескольких десятков и даже сотен градусов, приведены в таблице 11, а величины коэффициентов поглощения некоторых интересных для металлургов тел указаны в следующей таблице 12.

Т А Б Л И Ц А 11.

Поправки к показаниям оптических фотометрических пирометров при измерении по красным лучам ($\lambda = 0,65 \mu$).

Коэффициент поглощения.	Величина поправки при показаниях прибора от 900° до 2000° Ц.										
	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	2000
0,30	80	94	110	127	146	166	188	211	235	262	318
0,40	59	70	82	95	108	123	139	156	174	193	234
0,50	44	53	62	71	81	92	104	116	129	143	173
0,60	32	38	45	51	59	67	75	84	93	103	124
0,65	27	32	37	43	49	56	63	70	78	86	104
0,70	22	26	31	36	41	46	52	58	64	71	86
0,80	14	16	19	22	25	28	32	36	40	44	53
0,90	7	8	9	10	12	14	15	17	19	21	25

Из сопоставления этих данных следует, что, измеряя с помощью оптического фотометрического пирометра температуруковки, прокатки и т. п. горячей механической обработки стали, почти что не приходится считаться с поправкою к показаниям прибора, тогда как при измерении температуры струи жидкой стали во время разливки к непосред-

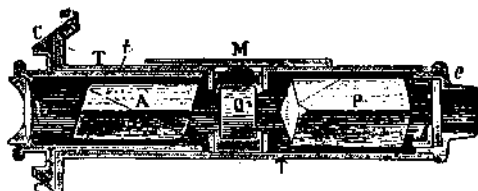
ТАБЛИЦА 12.

Коэффициенты поглощения различных тел.

Св е т я щ е е с я т е л о .	Коэффициент поглощения. —
Расплавленная сталь с чистой поверхностью .	0,35 — 0,37
Сталь при разливке с пленкою окислов . . .	0,40 — 0,45
Расплавленный мартеновский шлак	0,63 — 0,67
Железная окалина (Fe_3O_4) при $t = 800^\circ C$	0,98
Железная окалина (Fe_3O_4) при $t = 1000^\circ C$. . .	0,95
Железная окалина (Fe_3O_4) при $t = 1200^\circ C$. . .	0,92
Расплавленная закись-окись железа (Fe_3O_4) .	0,53
Графит	$> 0,95$

ственным показаниям пирометра приходится прибавить более или менее значительную величину. В виду затруднений, возникающих при измерении температуры разливки стали и других металлов вследствие покрывающей металл пленки окислов переменной толщины и консистенции, предпочтительнее измерять температуру разливки следующим хотя и косвенным, но более надежным способом, применяемым на многих американских заводах. В жидкий металл погружают графитовый стержень на короткое время, пока он не примет температуру металла, после чего, вытащив графитовый стержень на воздух, оптическим пирометром измеряют его температуру возможно скорее; опыт повторяют несколько раз, причем измерение температуры производят последовательно через 5, 10 и 15 секунд по вынутии графитового стержня из металлической ванны. Путем экстраполяции находят затем расчетом температуру его в момент вынутия из ванны, в точности совпадающую с температурою расплавленного металла. Достоинства этого способа заключаются в том, что жидкие металл и шлак не пристают к графиту и моментально стекают при его извлечении из ванны и что графит представляет собою почти абсолютно черное тело: таким образом к показаниям оптического пирометра в этом случае не приходится делать никаких поправок.

Кроме оптических пирометров с переносными световыми эталонами, сообщающими прибору некоторую громоздкость, существуют более простые приборы, так наз. пироскопы, позволяющие измерять температуру с меньшею точностью, но зато готовые в любое время к употреблению и весьма портативные. Из приборов этой категории на первое место по удобству и простоте обращения следует поставить пироскоп Мезюре и Нуэля. Принцип действия его состоит в том, что с помощью вызывающей поляризацию света оптической системы наблюдаемый в окуляре прибора цвет раскаленного источника всегда приводится к совершенно одинаковому по окраске состоянию, а угол поворота анализатора, требующийся для получения этого стандартного конечного цвета, служит показателем наблюдаемой температуры. Как показано на фиг. 36, прибор состоит из двух



Фиг. 36. Детали устройства пироскопа системы Мезюре и Нуэля.

прибор состоит из двух николевых призм *A* и *P*, между которыми помещен кусок кварца *Q*, вырезанный перпендикулярно к его кристаллографической оси. Лучи от светящегося источника, проходя через первый николю, поляризуются все в одной плоскости, но затем, при прохождении через кварц, оказываются поляризованными в разных плоскостях, в зависимости от длины волны. Цвет, наблюдаемый после прохождения через вторую николеву призму, служащую в качестве анализатора, зависит от угла между призмами *A* и *P*. Устройство внешней трубки прибора, состоящей из отдельных частей *M*, *T*, *C*, *t* и *e*, таково, что допускает круговое вращение трубки окуляра вместе с анализатором *A* в неподвижной оправе *T*. Наблюдая в окуляр *L* за цветом изображения, визируемого с помощью объектива *G*, поворачивают в ту или иную сторону вращающийся диск *C* с делениями, соединенный с анализатором, причем цвет изменяется от красного — при одном крайнем положении анализатора — до зеленого — при другом. Промежуточный цвет при переходе от красного к зеленому есть лимонно-желтый,

и задача наблюдателя в том и состоит, чтобы уловить этот момент перехода. Соответствующее появлению лимонно-желтого цвета положение анализатора дает по шкале прибора и углу поворота анализатора искомую температуру в градусах Цельсия. Главный недостаток этого прибора — большая зависимость результатов измерения от субъективных зрительных ощущений наблюдателя — в значительной мере искупается легкостью обращения с ним даже мало подготовленных лиц. Точность измерения колеблется в довольно широких пределах — от $\pm 60^\circ$ до $\pm 25^\circ$ Ц. в зависимости от навыка наблюдателя.

В стремлении к возможному устранению нежелательного влияния физиологических особенностей глаз разных наблюдателей на результаты измерения температуры оптическими пирометрами Б. П. Селиванов сконструировал прибор, основанный на свойстве клина из темноокрашенного цветного стекла при наблюдении через него точки погасания световых лучей, испускаемых раскаленными телами, допускать сравнение температур при помощи подвижной, каждым оператором для себя отдельно устанавливаемой относительной шкалы, проверяемой всякий раз при употреблении прибора по двум-трем постоянным температурам. Пироскоп Б. П. Селиванова настолько прост по своему устройству, что работа с ним доступна всякому и не требует большого навыка.

ГЛАВА VI.

Оптические пирометры радиационные.

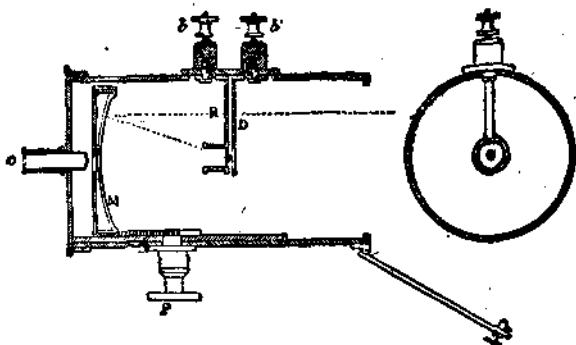
От только что рассмотренных фотометрических пирометров радиационные отличаются тем, что вместо световой энергии, составляющей лишь часть лучистой энергии, испускаемой нагретыми телами, они воспринимают всю излучаемую энергию — как световую, так и невидимую тепловую. Измерение общей энергии лучеиспускания совершается таким образом, что с помощью подходящей оптической системы лучистую энергию некоторой части поверхности нагретого тела концентрируют на расположенном в фокусе оптической

системы черном теле и по нагреванию последнего судят о температуре данного тела. Радиационные оптические пирометры, как и фотометрические, могут служить лишь для измерения высоких температур тел, и притом только тел „абсолютно черных“, для которых, согласно закону Стефана и Больцманна, зависимость между количеством излучаемой нагретым телом энергии E и температурами данного источника T_1 и приемника T_2 выражается формулой: $E = K (T_1^4 - T_2^4)$. Теоретически показания радиационного пирометра не зависят от расстояния прибора до излучающего тела, пока видимые размеры последнего не станут слишком ничтожными. Правда, что излучаемая в пространство энергия уменьшается с квадратом расстояния, но по мере удаления от источника увеличивается в той же степени часть излучающей поверхности, попадающая в объектив пирометра, и общее количество энергии, воспринимаемое прибором, остается при всех условиях постоянным. Однако вследствие несовершенств оптической системы показания радиационных пирометров от расстояния прибора до нагретого тела все же известным образом зависят.

Входящая в формулу $E = K (T_1^4 - T_2^4)$ константа K должна быть определена опытным путем. В виду того, что тепловые лучи начинают испускаться нагретыми телами гораздо раньше появления световых лучей, нижний предел измерения для радиационных оптических пирометров несколько шире, чем для фотометрических. В качестве приемника тепловой энергии может служить термометр любого устройства, достаточно чувствительный и быстро реагирующий на незначительные колебания температуры; большею частью для этой цели употребляется металлический термометр сопротивления или термоэлемент. Для направления тепловой энергии исследуемых объектов на эти приемники применяются специальные приспособления, так назыв. телескопы. При этом, вообще говоря, получаемые при помощи радиационных пирометров результаты будут тем точнее, чем меньше тепловой энергии поглощает промежуточная среда.

Из радиационных оптических пирометров более известны пирометры Фери, встречающиеся в нескольких, не-

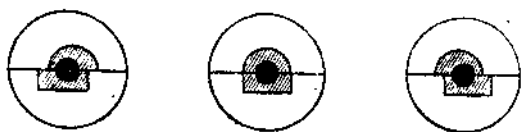
много отличающихся друг от друга разновидностях. Одна из конструкций пирометра Фери, изображенная схематически на фиг. 37, состоит из телескопической трубки, снабженной вогнутым зеркалом *M*, в фокусе которого помещается термоэлемент *DR* из медной и константановой проволоки. Свободные концы термоэлемента пропущены в зажимы *b* и *b'*, к которым, в свою очередь, приключаются и провода от переносного гальванометра системы Мейлан-д'Арсонваля. Таким образом принцип действия описываемого пирометра заключается в том, что тепловые лучи, испускаемые раска-



Фиг. 37. Схема радиационного пирометра системы Фери.

ленным телом, попадая на вогнутое позолоченное зеркальце прибора, концентрируются в фокусе зеркальца и повышают несколько температуру спая термоэлемента. На основании установленной экспериментально зависимости между повышением температуры термоэлемента, измеряемым при помощи гальванометра, и количеством излучаемой раскаленным телом тепловой энергии можно определить количественно эту энергию, а следовательно и истинную температуру тела. Обыкновенно прилагаемый к пирометру Фери гальванометр снабжается шкалою с непосредственным обозначением истинных температур, а не соответственных температур нагрева термоэлемента, так что простой отсчет положения стрелки на шкале гальванометра сразу же дает истинную температуру. Самый же термоэлемент нагревается лишь незначительно, и температура его спая во избежание повреждения оптической системы не должна превосходить 125°C .

При измерении пирометром Фери температуры рабочего пространства печи в наблюдательное отверстие печи для большей точности измерения вставляется предварительно цилиндрическая трубка из огнеупорного материала, так что излучаемое стенками печи тепло попадает на вогнутое зеркало пирометра, пройдя сначала сквозь эту трубку. Самое измерение температуры производится следующим образом. Наблюдая через окуляр, наводят изображение светящейся огнеупорной трубки точно на фокус вогнутого зеркальца, вызывая этим тепловое воздействие раскаленного источника на приемник тепловых излучений, т. е. на термоэлемент. При этом весьма важно, чтобы изображение светя-

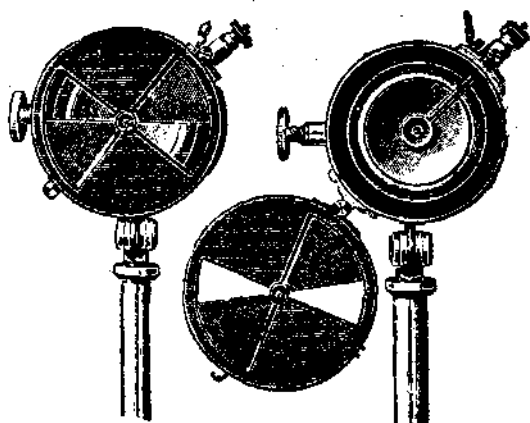


Фиг. 38. Схема визирования нагретого источника пирометром Фери.

щейся трубки покрывало равномерно со всех сторон спай термоэлемента, который наблюдателю представляется в виде черного кружка в средней части поля зрения. Следует отметить, что присутствие двух небольших неподвижно прикрепленных к термоэлементу зеркалец, служащих для отражения в окуляре изображения светящейся трубки, придает этому изображению такой вид, что все поле зрения кажется разделенным на 2 части, как показано на фиг. 38: при точной наводке края обеих частей совершенно совпадают, неправильная же наводка характеризуется расхождением краев изображения. В виду того, что термоэлемент с прикрепленными 2 зеркальцами неподвижен, наводка на фокус изображения светящегося тела достигается перемещением вогнутого зеркала M вдоль его оси, что производится поворотом винта P .

Наружный вид телескопической трубки Фери изображен на фиг. 39. Со стороны исследуемого объекта отверстие телескопа закрыто диафрагмой с 2 секторообразными щелями, как показано на фиг. 39 слева; справа изображена

эта же трубка с откинутой диафрагмой. Величина щелей может быть изменена путем надвигания подвижных ширмочек, закрывающих часть отверстий. Этим приспособлением приходится пользоваться при измерении очень высоких температур, и частичное закрытие щелей вызывает в таком случае пропорциональное уменьшение теплового потока, падающего на термоэлемент, чем устраняется возможность слишком значительного подъема температуры термоэлемента.



Фиг. 39. Общий вид телескопической трубки радиационного пирометра Фери.

В случае пользования ослабляющим приспособлением отсчет температур должен производиться по специально установленной новой шкале. Очень часто гальванометры с этой целью снабжаются 2 шкалами температур, одною — от 600° до 1300° Ц. и другою — от 1000° до 2000° Ц.

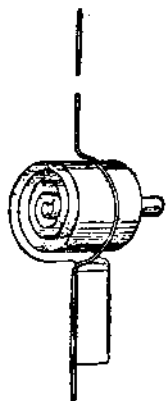
Пирометр Фери работает с довольно большой точностью (погрешность не больше 1%). Расстояние телескопической трубки от исследуемого объекта, по приведенным выше соображениям, оказывает известное влияние на результат измерения, но практически при температуре выше 1000° Ц. изменение этого расстояния в пределах от 1 до 20 метров почти не имеет значения, так как разница в показаниях пирометра при этом весьма незначительна.

Только что описанный пирометр Фери может служить как в качестве переносного прибора для разовых определений, так и для непрерывного контроля температуры печи; в последнем случае применяются иногда пирометры этого типа, снабженные регистрирующим приспособлением для автоматического вычерчивания температурных диаграмм.

В другой, более новой конструкции пирометра Фери термозлемент заменен особым металлическим термометром расширения, изображенным на фиг. 40. Термометр представляет собою не что иное, как спираль, составленную из 2 спаянных друг с другом металлов, обладающих неодинаковым температурным коэффициентом линейного расширения, причем для более полного поглощения тепловых лучей спираль зачернена. Один конец металлической спирали закреплен неподвижно; второй свободный конец снабжен легкой алюминиевой стрелкой, которая по мере развертывания или свертывания спирали движется по особой шкале, эмпирически градуированной на температуру. Эта чрезвычайно остроумная конструкция отличается значительной компактностью по сравнению с предыдущей и полным отсутствием вспомогательных принадлежностей. Зато этот пирометр является менее точным и может давать погрешность до 2%.

При производстве отсчетов прибор устанавливают сперва на фокус при помощи помещающихся сбоку зубчатой рейки с шестерней, после чего закрывают переднее отверстие прибора и особым приспособлением переводят стрелку на нулевое деление шкалы. Открыв затем объектив, следят за перемещением стрелки, которая первое время отклоняется очень быстро, а затем все медленнее и медленнее, пока не достигнет деления, дающего искомую температуру.

Прибор изготавливается с несколькими различными шкалами делений в пределах от 500° до 1900° Ц.



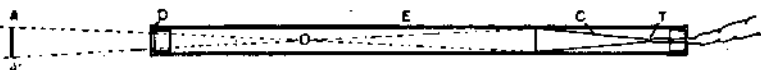
Фиг. 40. Термометрическая спираль, заменяющая термозлемент в видоизмененной конструкции радиационного пирометра Фери.

Кроме описанных, существуют еще и многие другие радиационные пирометры, из которых наибольший интерес для нас представляют телескопическая труба фирмы „Thwing“ в Америке и недавно сконструированный ардометр, изготавливаемый фирмой „Сименс и Гальске“ в Германии.

Фирму „Thwing“ в Америке изготавливаются радиационные пирометры своеобразной конструкции, существенной особенностью которой является чрезвычайная простота установки и большая чувствительность прибора при отсутствии необходимости визирования изображения нагретого источника теплоты, температура которого подлежит измерению. Данный пирометр, являющийся весьма портативным, имеет вид телескопической трубки длиной в 60 см и диаметром около 50 мм, устанавливаемой от руки в направлении движения тепловых лучей от нагретого источника на расстоянии, не превышающем восьмикратной величины диаметра последнего. Время, необходимое для получения правильного показания температуры, исчисляется всего лишь 5—6 секундами, причем особенно важно защитить прибор от нагревания, которое не должно быть значительнее того, чтобы нельзя было касаться голою рукою конца трубки, обращенного к нагретому источнику. Устройство и принцип действия прибора состоят в том, что лучи от нагретого объекта поступают в него первоначально в расширенный конец полого конуса и после многократного внутреннего отражения попадают в заостренный конец конуса, к вершине которого прикреплен спай миниатюрного термоэлемента, развивающий электродвижущую силу порядка 1 милливольт. На фиг. 41 схематически представлен радиационный пирометр подобного типа, но изготавливаемый английскою фирмою Поль (Paul). Здесь Е изображает телескопическую трубку с расположенным внутри ее, тщательно отполированным металлическим конусом С, в вершине которого находится термоэлемент Т. Лучи от источника теплоты АА' или ВВ' попадают в отверстие D и, будучи отражаемы от внутренней боковой поверхности конуса, концентрируются на спае термоэлемента, соединенного посредством обыкновенных гибких проводов с переносным гальванометром, шкала кото-

рого проградуирована прямо на температуру. Прибор этот весьма удобен в том отношении, что для работы с ним не требуется особо квалифицированного персонала и что он всегда готов к употреблению, не требуя за собою постоянного ухода. Однако он может употребляться лишь для одновременных, разовых наблюдений, так как весьма легко портится от слишком сильного нагревания и потому служит исключительно в качестве переносного прибора.

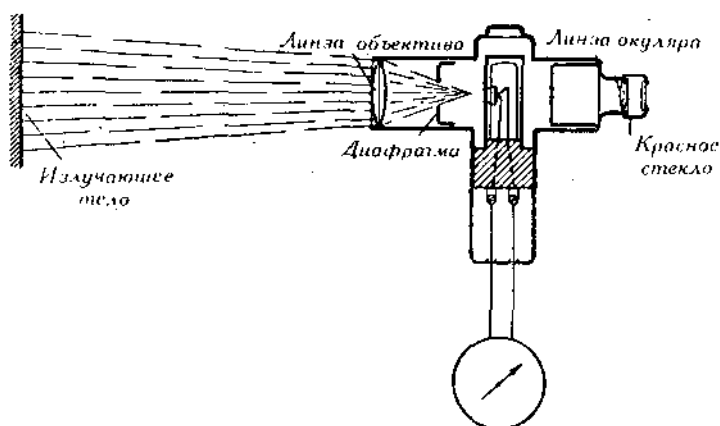
Полную противоположность означенному пирометру представляет сконструированный фирмой „Сименс и Гальске“ в Германии в сравнительно недавнее время оптический радиационный пирометр для стационарного употребления, который во многих случаях вполне может заменить собою



Фиг. 41. Схема телескопической трубки радиационного пирометра конструкции „Поль“.

термоэлектрический пирометр, допуская, как и последний, присоединение механизма для непрерывного или периодического автоматического регистрирования измеряемой температуры. Новый радиационный пирометр, имеющий название ардометра, представляет собою весьма совершенный во всех отношениях измерительный прибор, с изобретением которого сделан крупный шаг вперед в деле оптической пирометрии, последствием чего явилось значительное расширение области применения оптических пирометров в заводском деле. Обладая всеми достоинствами пирометров конструкции Фери, ардометр фирмы „Сименс и Гальске“ в то же время совершенно чужд и главнейшего недостатка последних, заключающегося в легкой подверженности порче, благодаря разного рода механическим и химическим влияниям, золоченного вогнутого зеркала, составляющего существенную часть оптической системы их. В ардометре вогнутое зеркало заменено системой лучесобирательных линз из оптического стекла специального качества. На фиг. 42 представлен схематический чертеж оптической системы ардометра, позволяющий сразу

же заметить превосходство устройства его перед прочими оптическими радиационными пирометрами в отношении отмеченной выше практичности прибора. Устройство ардометра в общем таково. В качестве объектива служит линза, имеющая диаметр в 25 мм и фокусное расстояние 50 мм и укрепленная неподвижно без приспособления для наводки по расстоянию, так как прибор допускает различное удаление от нагретого объекта. Линза, служащая в качестве окуляра, имеет также фокусное расстояние, равное 50 мм, но



Фиг. 42. Схема ардометра конструкции „Сименс и Гальске“.

снабжена установочным винтом для перемещения в горизонтальном направлении с целью наводки изображения по глазу наблюдателя. Окулярную линзу устанавливают при измерении температуры таким образом, чтобы наиболее отчетливо были видны точка пересечения и обе проволочки крестообразного термоэлемента из нихрома-константана, к точке пересечения коих припаян платиновый кружочек диаметром в 2—3 мм. из фольги толщиной 0,007 мм с зачерненной по направлению к объективу поверхностью. Термоэлемент для повышения чувствительности герметически заключен в стеклянную грушу с безвоздушным пространством¹⁾. Поверх этой груши надет металлический кол-

1) Русский физик П. Н. Лебедев впервые показал, что чувствительность термоэлемента значительно повышается (в 4 раза и более), если

пачок, снабженный прорезом как раз против местоположения зачерненной стороны платинового кружочка; через этот прорез попадают испускаемые нагретым источником лучи на чувствительный спай приемника, каковым является термоэлемент, как и в пирометре Фери. Самое наблюдение и измерение температуры с помощью ардометра производится чрезвычайно легко и просто: наблюдатель при помощи установочного винта передвигает окулярную трубку настолько, чтобы изображение освещенного источника в поле зрения прибора полностью покрыло зачерненный платиновый кружочек и даже несколько выдавалось кругом в виде светящегося ореола. Расстояние ардометра от измеряемого объекта может быть очень значительным, если объект велик, и не должно превосходить 20-кратной величины диаметра последнего в случае, если объект имеет диаметр от 50 до 200 мм. Если приходится измерять температуру небольших предметов, как, например, инструментов мелких калибров, находящихся в закалочных печах, то в таких случаях выбирают ардометр с меньшим диаметром платинового кружочка, чем обычно; однако с уменьшением величины зачерненной платиновой фольги уменьшается соответственно и развивающаяся в спае термоэлемента электродвижущая сила, вследствие чего, конечно, понижается чувствительность пирометра. Ардометры изготовляются обычно двух типов — для переносного и стационарного пользования и кроме того — с различными температурными шкалами для измерения до 1200° , до 1600° и до 2000° Ц. Ардометром с наивысшим пределом измерения не следует пользоваться для измерения не особенно высоких температур, так как по мере приближения к нижнему концу шкалы деления сильно суживаются, и точность измерения естественно падает. Температура нагрева спаев термоэлемента и платинового кружочка в ардометре не должна превосходить 250° Ц. во

поместить последний в безвоздушное пространство. Объясняется это интересное явление тем обстоятельством, что тепло, воспринимаемое термоэлементом, в данном случае несколько не уносится прилежащими частицами воздуха, как то имеет место при незащищенном термоэлементе.

избежание порчи зачерненной поверхности; поэтому в соответствующих случаях нахождения ардометра вблизи сильно излучающих объектов уменьшают поток поступающих в прибор лучей посредством имеющейся в нем диафрагмы.

Ардометром в настоящее время пользуются для измерения высоких температур во всевозможных нагревательных печах для горячей механической и термической обработки металлов в виде заготовок, полуфабрикатов и изделий. Возможность определить точнее образом температуру небольшого предмета, находящегося в печном пространстве, неодинаково нагретом в разных частях, выгодно отличает ардометр даже от термоэлектрического контактного пирометра, в особенности, если принять во внимание быстроту восприятия одной и той же температуры. Поэтому ардометр незаменим в небольших, быстро нагреваемых закалочных печах и, кроме того, с успехом может применяться во всех случаях, когда требуется продолжительная выдержка при заданной определенной температуре или в некотором интервале температур. С помощью соответствующего регистрирующего механизма ардометр может быть превращен в самопишущий пирометр и быть применяем как таковой во всех подходящих случаях.

ГЛАВА VII.

Общие принципы автоматического контроля и регулирования температуры с помощью пирометров.

В заключение остается сделать общий сравнительный обзор описанных в настоящем очерке пирометров с точки зрения их относительной практической ценности для различных металлургических и металлообрабатывающих производств, а также отметить новейшие усовершенствования в области пирометрической техники, направленные к достижению возможно большей точности измерения высоких температур и к облегчению способов пользования пирометрами путем замены субъективных отсчетов наблюдателя автоматическими показаниями прибора.

Оптические фотометрические и радиационные пирометры употребляются в тех случаях, когда электрические пирометры сопротивления и термоэлектрические пирометры не могут быть применяемы, а именно — если температура лежит выше пределов измерения пирометрами последних двух групп, или же если химические влияния быстро разрушают предохранительные оболочки последних; с другой стороны, оптическими, фотометрическими или радиационными пирометрами приходится пользоваться в том случае, когда объект, температура которого измеряется, мало доступен для установки пирометров сопротивления или термоэлектрических. Так обстоит дело при измерении температуры плавильных печей, температуры отливки металлов, а также при горячей механической обработке слитков и заготовок. Наконец, при измерении температуры пламени и раскаленных газов оптические пирометры заслуживают серьезного предпочтения перед контактными в виду известного отрицательного влияния материала оболочки последних на даваемые ими показания.

При выборе между оптическим фотометрическим и радиационным пирометрами следует принять во внимание, что вероятность допущения наблюдателем субъективной ошибки при измерении температуры гораздо меньше в случае применения радиационного пирометра, но зато оптические фотометрические пирометры незаменимы там, где по условиям производства необходимо промерять температуру не постоянно, но во многих местах сразу, и во всех случаях невозможности пользоваться стационарной установкой.

Во всех остальных случаях заводской практики пользуются услугами электрических пирометров сопротивления и термоэлектрических, позволяющих измерять температуру непрерывно и с чрезвычайно большой точностью, а в случае необходимости — и регистрировать температуру автоматически. В частности, для измерения и контроля температуры при термической обработке стали наиболее подходящим оказался термоэлектрический пирометр Ле-Шателье с платина-платинородиевой термопарой, который, благодаря достаточно широкому пределу измеряемого температурного интервала,

очень большой точности и постоянству его показаний, а равно и чрезвычайной простоте конструкции и обращения, является надежнейшим прибором для измерения температуры в печах для термической обработки металлов. Впрочем, оптические радиационные пирометры типа ардометра тоже вполне пригодны для стационарного употребления при некоторых операциях термической обработки металлов.

Для осуществления постоянного контроля температуры при затяжных термических операциях, как, например, при отжиге или цементации стали, особенно полезными оказываются регистрирующие термоэлектрические пирометры, каковые, записывая непрерывно — днем и ночью — состояние температуры, исключают всякие сомнения и догадки относительно поддерживавшейся во время процесса температуры и вместе с тем дают наглядную картину всего процесса.

На современных крупных американских заводах при оборудовании мастерских для массовой термической обработки металлов проводится принцип централизации пирометрических установок с применением широко развитой электрической сигнализации (световой или звонковой), благодаря чему ответственные руководители работ получают возможность следить из своего рабочего кабинета за состоянием температуры во всех печах мастерской, а рабочий персонал, находящийся при печах, может сосредоточить все свое внимание на надлежащем уходе за печами.

Наконец, к числу ценных завоеваний последнего времени в области пирометрии следует отнести изобретение так называемых „саморегулирующих пирометров“, т. е. приборов, служащих одновременно как для измерения температуры в печах, так и для автоматического регулирования последней в самых широких пределах. Существенную составную часть этих приборов, изготовляемых пока лишь для электрических и газовых печей, образует специальный регулировочный аппарат, состоящий из соленоида, действующего на релэ, и коммутатора; при помощи последних производится периодически замыкание и размыкание цепи, в которую включен распределительный механизм, поддерживающий питание печи.

Пока эти саморегулирующие пирометры находятся еще в стадии первоначальной разработки и совершенствования, но надо думать, что в недалеком будущем они найдут себе обширное практическое применение, главным образом при небольших печах для закалки и отпуска мелких изделий, где нужна особенная точность в соблюдении заданных температур.

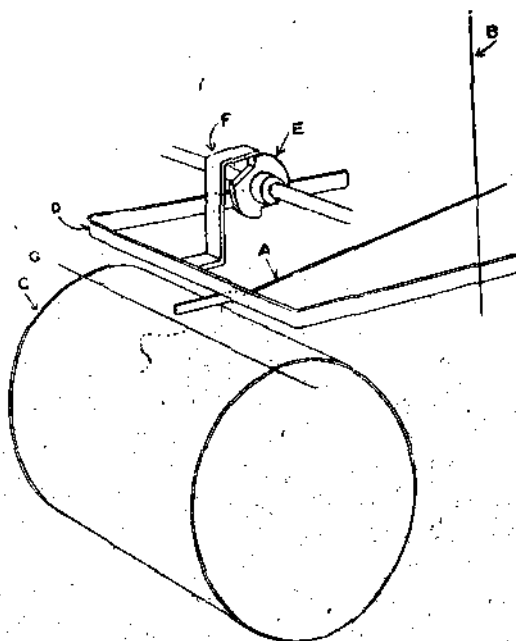
Наконец, кроме пирометров перечисленных категорий существуют еще специальные самопишущие приборы для лабораторного употребления, с помощью которых могут быть легко и вполне точно выявлены самые незначительные изменения температуры исследуемых тел. Подобными пирометрами пользуются при металлографическом анализе сплавов для изучения различных термических и иных физических и физико-химических свойств их, изменение которых зависит от температурных условий среды. Пирометры этого рода составляют необходимую принадлежность заводских лабораторий, так как изучение особенно важных для современной техники термических свойств промышленных сплавов и металлов возможно лишь с помощью наиболее чувствительных и независимых от субъективных погрешностей аппаратов.

Переходя теперь к краткому описанию типичных представителей саморегистрирующих пирометров, как заводского, так и лабораторного образца, следует прежде всего отметить, что автоматическая регистрация температуры по характеру своему бывает либо периодическая, либо непрерывная, а по способу своего осуществления — механическая, т. е. с помощью карандаша или пера, трущегося о бумагу, и оптическая — с помощью световых лучей, действующих на фотографическую пластинку или бумагу. При механическом способе регистрации запись температур совершается преимущественно периодически, т. е. в виде пунктирной линии, для того, чтобы ослабить силу трения карандаша или пера о бумагу. Световая запись наиболее удобна при необходимости непрерывной регистрации температур.

Пирометры заводского назначения почти исключительно снабжаются регистрирующими приспособлениями, дающими

периодическую прерывистую запись температур, так как в этом случае можно с помощью одного регистрирующего указателя температуры обслуживать несколько измерительных пунктов, что представляет известную экономическую выгоду в виду дороговизны точных регистрирующих приборов.

Наиболее универсальным периодически действующим регистрирующим механизмом, одинаково применимым как

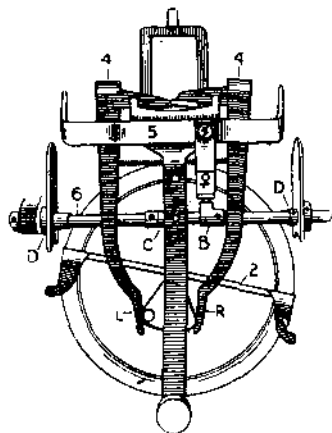


Фиг. 43. Схема регистрирующего прибора для пунктирной записи показаний температуры термоэлектрическим или радиационным пирометром.

в термоэлектрических, так и в радиационных пирометрах, является изображенный схематически на фиг. 43. У таких записывающих приборов стрелка гальванометра каждую минуту, или через некоторую определенную долю минуты, автоматически наклоняется к бумаге при помощи особого кулачка, действующего от часового механизма. Отметка на бумаге в виде точки получается от нажима твердого штифта, составляющего одно целое со стрелкою

гальванометра А и с его подвесною системою В на пишущую ленту G, пропитанную краскою одного или нескольких цветов. Нажим производится посредством удара линейки D, опускающейся под действием молоточка F, ударяющего по кулачку E. Лист графленой бумаги обернут вокруг барабана C, совершающего один или несколько оборотов

в сутки и приводимого в движение от находящегося внутри его часового механизма. Бумага разграфлена на клетки, причем горизонтальные деления соответствуют определенным температурам, а вертикальные — промежуткам времени. Многоцветная пишущая лента употребляется в приборах, предназначенных для одновременной записи нескольких кривых; последние приборы снабжаются автоматическими коммутаторами с соответствующим числом пар контактов. Во все время записи происходит постепенное вращение барабана с надетою бумагою, причем вычерчиваемые кривые постоянно доступны наблюдению. Кроме того, ударяющая линейка D, или особая, прикрепленная спереди параллельная ей пластинка, снабжена с лицевой стороны шкалою с делениями для субъективного отсчета температур по положению движущейся стрелки во время действия пирометра. Иногда конструкцию аппарата несколько видоизменяют таким образом, что бумага, употребляемая для записи кривых, в виде длинной ленты непрерывно сбегает с барабана, как это изображено, например, на фиг. 45.



фиг. 44. Схема регистрирующего прибора конструкции „Лидс и Нортруп“ для термоэлектрических потенциометров и пирометров электрического сопротивления.

Схематический чертеж другого весьма распространенного в Америке самопишущего прибора, изготовляемого фирмою Лидс и Нортруп, воспроизведен на фиг. 44. Этот самопишущий прибор употребляется при регистрирующих термоэлектрических пирометрах типа потенциометра и легко может быть приспособлен для регистрации температуры при пирометрах электрического сопротивления. Существенные детали устройства записывающего механизма, приводимого в движение, в виду значительных преодолеваемых усилий, небольшим электродвигателем, следующие. В верхней части рисунка изображена подвижная рама с обмоткою галь-

ванометра, качание которой при посредстве двух рычагов 4 и скобы 5 передается дисковому реостату потенциометра 6 с находящимся на нем движком 2. Помещающиеся на валу электродвигателя четыре кулачковых диска — два крайних больших — D и два средних B и C — при каждом обороте вала приводят в действие все прочие части регистрирующего механизма, совершающего в общем ряд сложных движений, но без прямого участия в этом стрелки нулевого гальванометра. Посредством данного механизма автоматически выполняются все манипуляции по балансированию нормального элемента и передвижению скользящего контакта на калиброванном проволочном дисковом реостате, составляющем вместе с нормальным элементом и нулевым гальванометром индикаторный инструмент пирометра, работающего по принципу потенциометрической установки. Перо, вычерчивающее на разграфленной бумаге с прямоугольными координатами кривую температур, при этом регистрирует передвижение ползунка на калиброванном проволочном реостате, деления шкалы которого прямо соответствуют измеряемым температурам. Запись может быть непрерывная — при одной кривой и прерывистая — при одновременном вычерчивании нескольких кривых, для отличия которых друг от друга особый штампель автоматически проставляет на каждой порядковый номер.

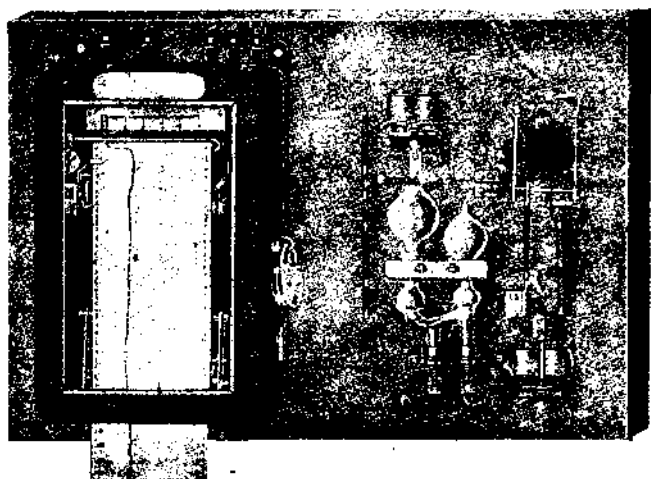
В числе других усовершенствований для автоматического выполнения разных манипуляций по обслуживанию пирометрических установок нельзя не отметить остроумного компенсирующего приспособления Дарлинга для термоэлектрических пирометров, устраняющего влияние температуры холодных концов термоэлемента посредством компенсатора, расположенного внутри гальванометра. Компенсатор этот представляет своего рода металлический термометр, аналогичный по идее термометру в новейшей модели пирометра Фери, но только иной формы и длины. Спираль, составленная из двух параллельных полосочек разных металлов, прикрепляется определенным образом к игле, образующей ось, на которую насажена стрелка гальванометра, так что при движении стрелки под влиянием тока,

развиваемого термоэлементом, последняя приобретает еще и добавочное отклонение в ту или другую сторону, смотря по натяжению спирали, зависящему от температуры внутри самого гальванометра. Длина спирали выбирается такою, чтобы при ее растяжении или стягивании стрелка гальванометра перемещалась на число градусов, соответствующее температурной поправке пирометра, при условии, что холодные спаи термоэлемента находятся внутри гальванометра у его зажимов. Этот способ компенсации, требующий значительного удлинения проволок термоэлементов, по чисто экономическим соображениям применяется лишь при измерении температур термопарами из наиболее дешевых металлов. Иногда роль компенсирующего приспособления играет особая никкелевая спираль сопротивления, присоединяемая к одному из холодных спаев термоэлемента и образующая как бы добавочный термометр, показывающий поправочную температуру, давая корректив к показаниям гальванометра во все время работы. Однако необходимость применения отдельного источника тока для питания заставляет все же предпочесть данному способу, как и предыдущему, употребление компенсационных проводов.

По мере развития индикаторных и регистрирующих приборов для показания температуры, давления и других свойств газов и жидкостей стала выясняться возможность установить автоматическое управление скоростью этих потоков в зависимости от температуры, давления и других связанных с этими факторами свойств. В особенности хорошо разработана в настоящее время автоматическая регулировка газовых и жидкостных потоков в зависимости от температуры. Группа термостатических регуляторов для химических и металлургических производств представляет особенно значительный интерес, и в настоящее время соответствующие аппараты пользуются большим распространением. Отсюда уже один лишь шаг до распространения принципа автоматического регулирования температур в нагревательных камерах на металлургические нагревательные печи, питаемые газообразным или жидким горючим или же электрической энергией. Почти все регистрирующие пирометры

сопротивления и термоэлектрические с потенциометрическими установками имеют отдельный источник электрической энергии в виде батареи гальванических элементов, аккумуляторов и т. д., а иногда снабжены также собственным небольшим электродвигателем, питаемым от общей осветительной сети. Это создает возможность использования вспомогательного тока для приведения в действие приспособлений для автоматического контроля температуры. Необходимо лишь в таком случае снабдить регистрирующие механизмы электрических пирометров соответствующими средствами для замыкания или размыкания, при некоторых заданных показаниях температур, особого электрического контакта для подачи светового или звукового сигнала. Такие автоматически сигнализирующие при наступлении определенных температурных условий в нагревательных печах пирометры представляют собою не более как пассивные регулирующие пирометры, ибо роль их ограничивается лишь, помимо непрерывного регистрирования температуры, подачей особых сигналов обслуживающему печи персоналу о необходимости того или иного изменения теплового режима печи. Но, кроме таких пирометров, в настоящее время изготавливаются регистрирующие измерители температуры, являющиеся вместе с тем и активными регуляторами температуры; последние отличаются от первых тем, что они при замыкании электрического контакта, вместо простой подачи какого-нибудь сигнала, приводят в действие тот или иной исполнительный механизм, оказывающий влияние на тепловой режим печи. При этом, в зависимости от конструкции и способа действия самой печи, заставляют работать клапаны или задвижки, регулирующие приток газа, жидкого топлива, распыленного угля или даже силу тяги на колосниковых решетках. Посредством соленоидных магнитов достигается открытие и запираание клапанов для газообразного и жидкого топлива. Само собою разумеется, что еще легче достигнуть автоматического регулирования температуры в печах, нагреваемых электрическим током, так как в этом случае регулировка может быть основана на зависимости, существующей между температурой нагрева

и электросопротивлением обмотки печи. В существующих регуляторах температуры в настоящее время используется принцип устройства релэ, заимствованный из электрического телеграфа. Весь прибор является весьма компактным и состоит из следующих трех частей: 1) измерителя температуры, 2) контактного приспособления и 3) исполнительного механизма. Внешний вид подобного регулятора температуры для электрических нагревательных печей сопроти-

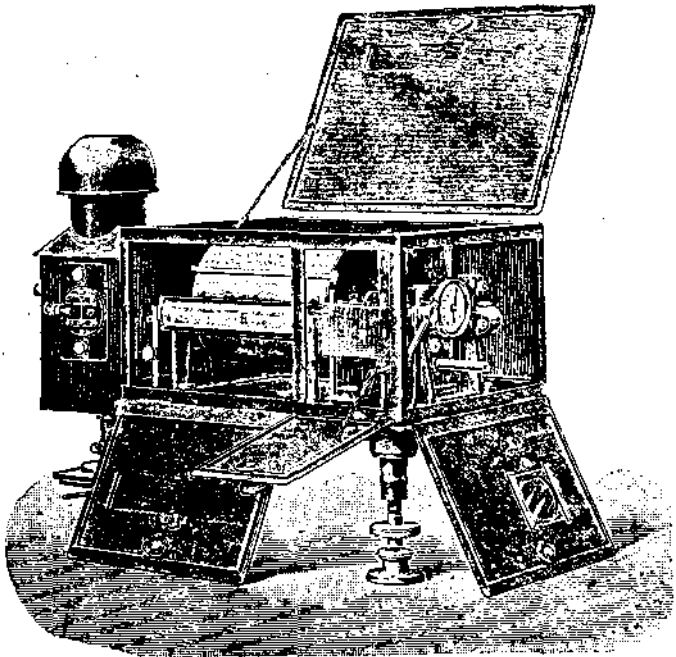


Фиг. 45. Общий вид регистрирующего пирометра с регулятором температуры для электрических печей конструкции „Гереус“.

вления изображен на фиг. 45; этого рода приборы изготовляют фирмы „Бристоль“ и „Броун“ в Америке и фирма „Гереус“ в Германии. Представленный на фиг. 45 автоматический регулятор температуры с записывающим аппаратом находится в электрическом соединении с контактным пирометром, который введен в регулируемую печь. При достижении максимальной заданной температуры и соответственного показания на шкале гальванометра приходит в действие, при помощи электрического контакта, релэ, которое выключает весь питающий печь ток или часть его. Продолжительность выключения тока может варьировать в широких пределах. Как только затем температура печи

настолько понижается, что стрелка гальванометра, или связанный с нею штифт, не достигает больше означенного контакта, ток в печи снова автоматически включается или усиливается и т. д.

Обратимся к рассмотрению наиболее интересных представителей другой группы регистрирующих пирометров,

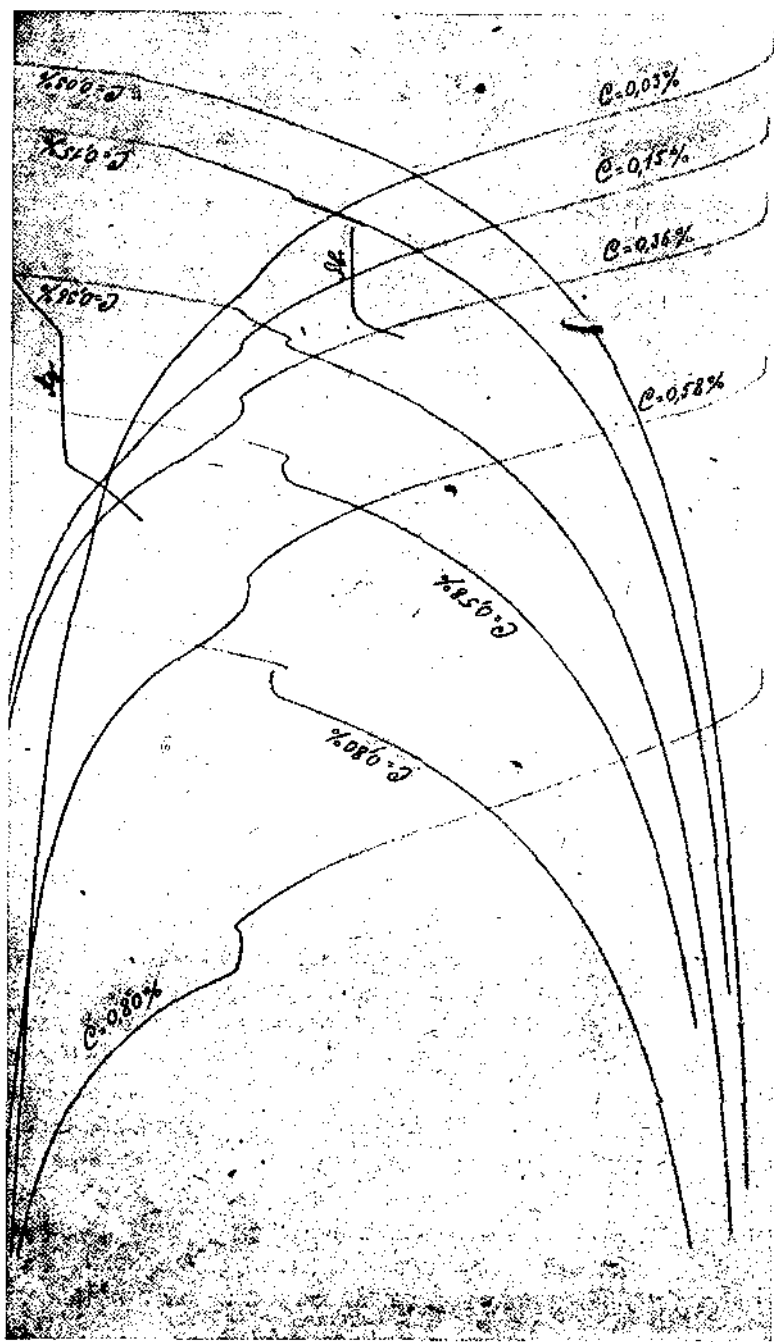


Фиг. 46. Саморегистрирующий пирометр акад. Н. С. Курнакова для непрерывной фотографической записи температур.

а именно — пирометров лабораторного типа. Из довольно многочисленной группы относящихся сюда приборов для целей металлургических лабораторий, как научно-исследовательских, так и заводских, особенно ценными являются термоэлектрический пирометр академика Н. С. Курнакова и дилатометрический пирометр французского ученого — Шевенара.

Одним из самых совершенных регистрирующих пирометров является саморегистрирующий пирометр акад. Кур-

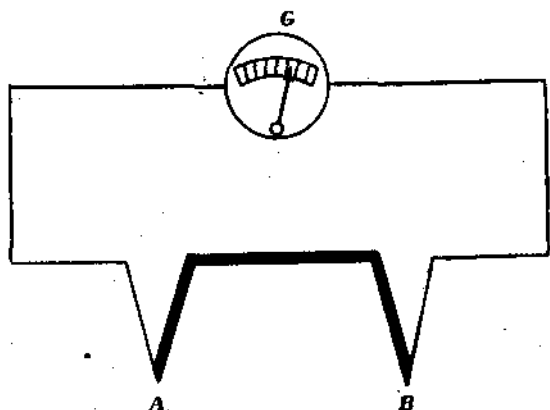
накова, предназначенный преимущественно для точных лабораторных исследований научного характера и являющийся наиболее чувствительным прибором для исследования кривых плавкости различных металлов и сплавов, а равно и критических точек стали и других сплавов. В пирометре акад. Курнакова кривые изменения температуры записываются зеркальным гальванометром Дебрэ и Арсонваля, от зеркальца которого луч света падает на фотографическую бумагу, надетую на цилиндрический барабан, вращающийся с равномерною скоростью; зеркальце гальванометра во время работы освещено лучом, падающим от электрического фонаря. Общий вид саморегистрирующего прибора с фонарем изображен на фиг. 46. В качестве иллюстрации работы пирометра акад. Курнакова на фиг. 47 представлена запись критических точек железа и стали при нагревании и охлаждении, произведенная прибором. Когда выделение или поглощение теплоты при критических точках незначительно, последние выражаются не особенно резкими перегибами на кривых. Значительно резче эти перегибы выступают при применении так называемого дифференциального метода записи. Сущность этого метода заключается в том, что наблюдают разность температур при охлаждении или нагревании изучаемого тела и не дающего критических точек эталона, находящихся в совершенно одинаковых условиях опыта. В каждое из этих тел вставляется по одному спаю двухспайной дифференциальной термопары, изображенной на фиг. 48, а задние холодные концы дифференциальной двойной термопары соединяются параллельно через весьма чувствительный второй гальванометр, который в таком случае показывает разность температур обоих тел. Пока оба тела охлаждаются или нагреваются равномерно, температуры их очень близки; когда же температура достигает критической точки, то изменение температуры изучаемого тела на некоторое время приостанавливается, температура же эталона продолжает безостановочно изменяться в прежнем направлении, в виду чего разность температур обоих образцов сразу и значительно возрастает. Вид дифференциальной записи, даваемой пирометром акад.



Фиг. 47. Образцы кривых нагревания и охлаждения железа и стали с разным содержанием углерода

Курнакова, изображен на фиг. 49, где для одного и того же образца стали представлены 2 кривые, записанные прибором одновременно: кривая непосредственных температур (1) и кривая разности температур или дифференциальная кривая (2).

Пирометр Н. С. Курнакова с большим успехом может быть употребляем для определения критических точек стали как углеродистой, так и специальных сортов, за исключением тех случаев, когда, вследствие значительного развития явления термического гистерезиса, исследование точек превращения должно производиться над весьма незначитель-

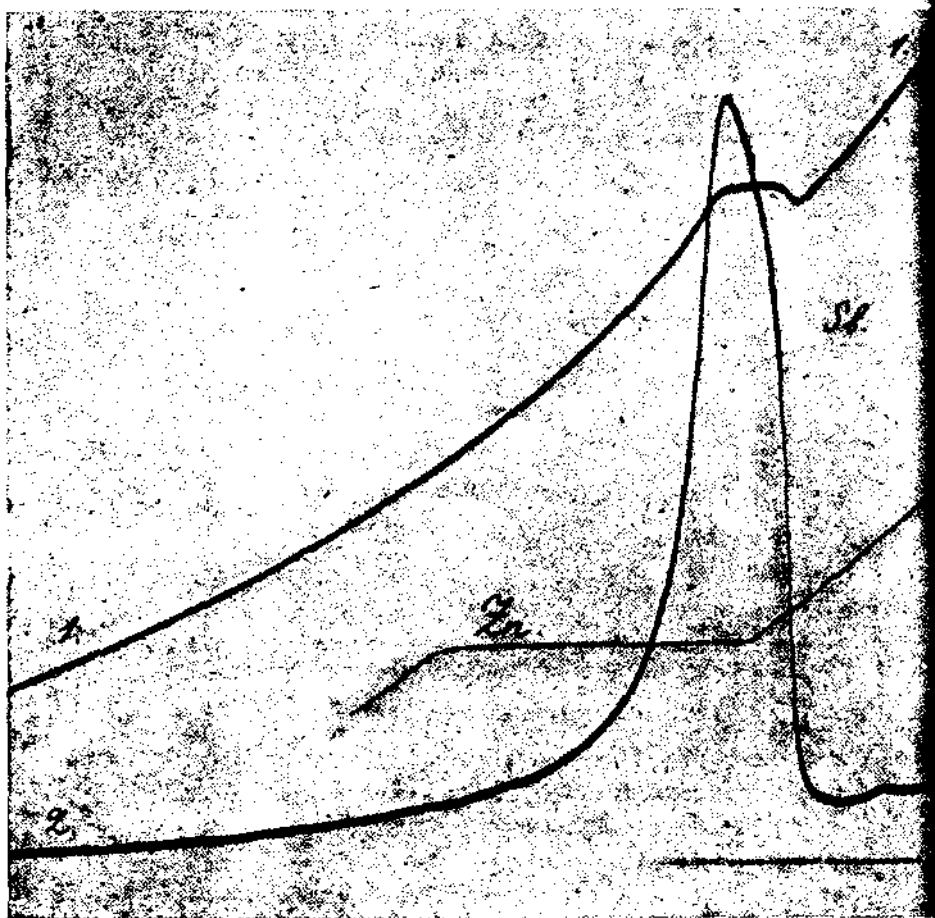


Фиг. 48. Схема двухспайной дифференциальной термопары.

тельными по своей массе объектами в обстановке быстро и равномерно регулируемой температуры последних. В этих условиях, а также в случае исследования сплавов, обнаруживающих превращения при низких температурах и при медленном охлаждении, более целесообразным является определение температур внутренних превращений дилатометрическим методом.

Основанный всецело на принципе дилатометрического пирометра (см. главу II) новый термический анализатор Шевенара ныне широко применяется для определения температур внутренних превращений стали и других металлических сплавов на основании изучения аномальных явлений в ходе температурных кривых расширения и сжатия исследуемых

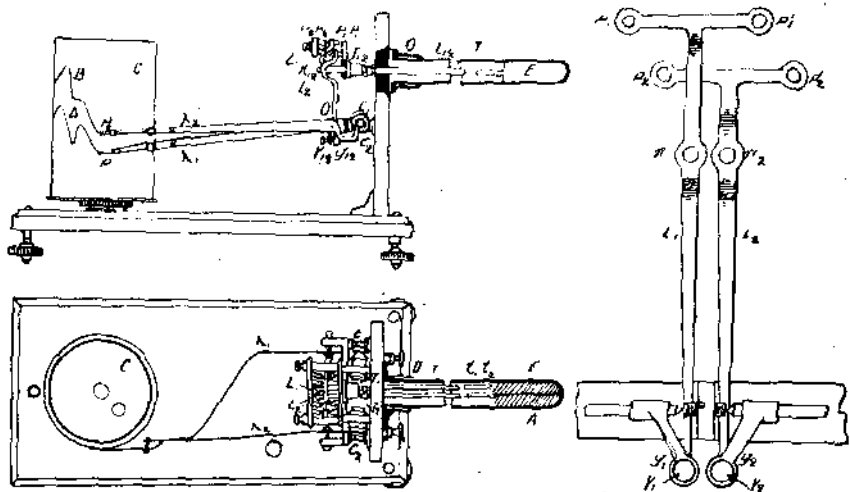
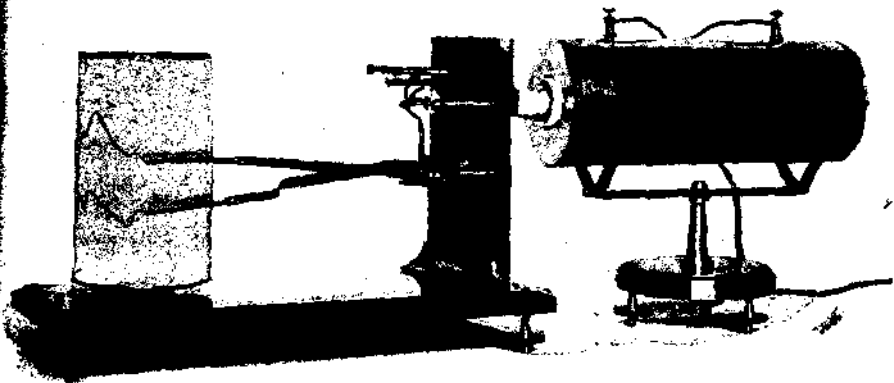
тел при их нагревании и охлаждении. Детали устройства и способ действия термического анализатора Шевенара явствуют из изображенных на фиг. 50 общего вида и схе-



Фиг. 49. Образец дифференциальной записи критических точек стали.

матического чертежа его. Исследуемый образец имеет форму цилиндрической трубки, во внутренность которой вставляется эталон из сплава „пирокс“ в форме стержня, плотно прилегающего к центральному каналу исследуемого образца;

такое взаимное расположение обеспечивает наиболее равномерные условия нагревания обоих складываемых друг с другом образцов, нагреваемых вместе в кварцевой трубке



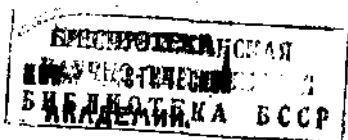
Фиг. 50. Внешний вид и схема устройства термического анализатора Шевенара.

с глухим дном. Происходящие при нагревании и охлаждении изменения длины исследуемого образца (обозначенного через E) и температурные показания эталона (обозначенного через A) регистрируются прибором самостоятельно в виде двух отдельных кривых Δ и H на верти-

кально расположенном вращающемся барабане. Части регистрирующего механизма, служащие для вычерчивания кривой расширения исследуемого образца, обозначены индексом 1, а эталона из „пироса“ — индексом 2. При посредстве кварцевых стерженьков t_1 и t_2 со стальными наконечниками τ_1 и τ_2 (из закаленной стали) изменения длины образцов передаются двуплечим рычагам L_1 и L_2 , которые в свою очередь передают их в увеличенном виде записывающим приспособлениям P_1 и P_2 . Плечи λ_1 и λ_2 обоих рычагов имеют одинаковую величину, вследствие чего точки обеих кривых, отвечающие одинаковым температурам, лежат на одной круговой ординате. Вторые же и более короткие плечи рычагов L_1 , L_2 имеют различную длину, и этим обуславливается неодинаковый масштаб удлинений на обеих кривых, а именно: масштаб удлинений берется меньший для исследуемого образца, чем для почти не изменяющего своих линейных размеров эталона. С помощью винтов V_1 и V_2 можно придать такое начальное положение каждому перу, чтобы вычерчиваемые прибором одновременно две кривые взаимно не пересекались.

В заключение нельзя не констатировать с удовлетворением, что в настоящее время все более заметно усиливающаяся связь теории с практикою служит стимулом для непосредственного применения данных научного исследования к разрешению чисто производственных задач в обстановке заводской цеховой работы. Так, например, не довольствуясь определением критических точек стали только лабораторным путем, американская техника открыла средство повысить качество термической обработки изделий, производя нагревание их в печах, работающих по принципу непосредственного выявления критических интервалов. Сущность работы по этому новому способу, известному под названием „Hump-Method“ (метод остановок), заключается в том, что печь обслуживается двумя регистрирующими пирометрами, из которых один измеряет среднюю температуру печного рабочего пространства, а другой, находясь постоянно в соприкосновении с нагреваемым изделием, регистрирует все время температуру последнего. В таком

случае по появлению „горба“ на кривой нагревания стального изделия при отсутствии этого же явления на кривой нагревания печи убеждаются в наступлении критического интервала для данной стали, переход через который точно указывает наиболее подходящий момент для последующей термической обработки путем закалки, воздушного охлаждения или изменения теплового режима печи, что немедленно над данным изделием и производится. Пользуясь только что описанным методом нагревания, достигают максимального оодообразия и равномерности термической обработки, что представляет особенно ценное преимущество перед обычными приемами нагревания при массовой обработке однотипных изделий.



БИБЛИОГРАФИЯ.

- 1) Burgess-Le Chatelier. — „Die Messung hoher Temperaturen“ 1913.
 - 2) Henning. — „Die Grundlagen, Methoden und Ergebnisse der Temperaturmessung“, 1915.
 - 3) Holborn, Scheel, Henning. — „Wärmstabellen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt“. 1919. (Berlin).
 - 4) Knoblauch-Hencky. — „Anleitung zu genauen technischen Temperaturmessungen mit Flüssigkeits- und elektrischen Thermometern“ 1919.
 - 5) Darling. — „The Pyrometry“. 1920. (London). Second edition.
 - 6) Foote, Fairchild, Harrison — „Pyrometric Practice“. Technologic Paper of the Bureau of Standards № 171. 1921. (Washington).
 - 7) Verein deutscher Eisenhüttenleute. Mitteilung № 37 der Wärmestellen 1922. (Düsseldorf).
 - 8) Леонтьев. — „Температура и ее измерение“. 1922. (Москва) 2-е издание.
 - 9) Keimath. — „Elektrische Temperatur-Messgeräte“. 1923.
 - 10) Griffiths. — „Pyrometers and Pyrometry“. 1924. (London).
-

ИЗДАТЕЛЬСТВО СЕВ.-ЗАП. ПРОМБЮРО ВСНХ

ВЫШЛИ И ПОСТУПИЛИ В ПРОДАЖУ СЛЕДУЮЩИЕ ИЗДАНИЯ ПО ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ:

- А. Вашиш.** — Подбор шестерен для нарезания винтов на токарных станках. 156 стр. с 19 рис. 1925 2.—
— Работы с деальтельной головкой. 148 стр. с 26 рис. 1926. 2.—
- А. Божок.** — Кузнечное дело. 2-ое дополненное и переработанное издание. 126 стр. с 239 рис. 1926. 1.50
- Г. Герсе.** — Технология металлов. 11-ое издание с дополнениями проф. И. М. Холмогорова. 395 стр. с атласом чертежей в 53 табл. 1926. 3.50
- М. Зигерист.** — Современная калькуляция на машиностроительных заводах. Руководство для расчета рабочего времени при работе на станках. 2-ое исправленное издание с 6 табл. и атласом чертежей. 152 стр. 1925. 3.—
- А. Кацкий и Д. Каров.** — Организация управления и серийное производство на заводе им. Гельда. 200 стр. с 104 рис. 1926. 5 р. 50 к., в перепл. 6.—
- С. Лауфер.** — Слесарное дело. 65 стр. с 97 рис. 1925. —60
- Г. Нессельштраус.** — Основы тепловой обработки стали. 118 стр. с 60 рис. 1926. 1.80
- Г. Трахтенберг.** — Тепловая обработка инструментов. 185 стр. с 121 рис. 1926. 2.40
- А. Флампшов.** — На заводах Германии и Чехо-Словакии. 162 стр. с 39 рис. 1925. 2.—
- А. Чалосткиш.** — Токарные станки, их устройство и работа. 145 стр. с 128 рис. 1926. 2.—
— Паспортизация станков. 75 стр. с таблицами. 1926. 1.50
- Шухард и Шютте.** — Справочник металлиста. Перевод инж. А. П. Знаменского, под ред. проф. А. Гатцука, проф. И. Холмогорова и Л. Исакова. 1926. 7.50

ПЕЧАТАЮТСЯ И ВЫЙДУТ В 1927 г.:

- Р. Смит.** — Работа на станках. Перевод с 8-го английского издания.
- Дауд и Кудтис.** — Новейшие приспособления для работы на станках.
- Юрте и Иичке.** — Фрезерование.
- П. Цитинг.** — Фрезы.
- В. Гинцлер.** — Токарное дело и токарные инструменты.

„НА РАБОЧЕМ ХОДУ“

БИБЛИОТЕКА МЕТАЛЛИСТА

А. Башки. — Как нарезать спираль на фрезерном станке	—15
— Нарезка шестерен на фрезерном станке	—35
С. Берштейн. — Нарезка винтов на токарном станке	—10
О. Виль. — Руководство для металлистов, начинающих работать на станке. 3-е изд.	1.—
В. Бумбаум. — Шлифование (печ.)	
В. Вейрих. — Как шлифовать инструменты и изделия	—75
К. Газа. — „Металлист“	1.50
Д. Г. Гусевич. — Как заточить инструмент	—25
— Как изготовить сверлальный кондуктор	—35
— Как приступить к разметке изделий	—50
— Как читать машиностроительные чертежи	—60
— Как работать метчиком	—40
— Как изготовить дузвечный штамп	—70
— Центра, оправки и поводки	—95
— Построение резьбового профиля	—45
— Метчик, его устройство, изготовление и работа (печ.)	
И. Динкебир. — Сверление	1.10
— Развертывание и зонкование	—90
В. Зеланин. — Техника волочения листового материала (печ.)	
Проф. А. Ф. Квасков. — Автогенная обработка металлов	—90
В. Майер. — Зубчатые колеса и их расчет	—30
В. Пехлебанов. — Практика токарного дела. 2-ое изд.	—90
Ш. А. Соколов. — Инструментальное дело. 2-ое переработанное и дополненное издание	1.75
— Закалка и цементация инструментов	—80
— Резцы, их изготовление и работа	—40
— Фрезы, их конструкция, изготовление и работа	—70
Д. Татарченко. — С чем работает металлист	1.30
Ф. Эйтель. — Путеводитель по заводу	—75

БИБЛИОТЕКА МЕТАЛЛУРГА

Проф. А. Ф. Квасков. — Доменное производство (печ.)	
И. Мартенс. — Чугунное литье (печ.)	
В. Прегер. — Формовка и литье. Вып. 1. Формовые материалы и ручная формовка по моделям	—50
— То же. Вып. 2. Машинная формовка	—55

23878

41388

Цена 1 р. 35 к.

Р
0-14

С ТРЕБОВАНИИ ОБРАЩАТЬСЯ:

- Ленинград — Книжный Торговый Сектор
Изд-ва — Просп. 25 Октября, 58; тел. 236-55
 - Ленинград — Книжный магазин Изд-ва —
Проспект Володарского, 53-а; тел. 161-75
 - Москва — Книжный склад Издательства —
Петровка, 7/18; телефон 389-39
-